

EL RETO ENERGETICO PARA EL SIGLO XXI

the 1990s, the number of people in the UK who are aged 65 and over has increased from 10.5 million to 13.5 million, and the number of people aged 75 and over has increased from 4.5 million to 6.5 million (Office for National Statistics 2000).

There is a growing awareness of the need to address the needs of older people, and the need to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people. The Department of Health (2000) has set out a strategy for the health care system to meet the needs of older people. The strategy is based on the following principles:

- To ensure that older people have access to the same range of health care services as younger people.
- To ensure that older people are able to live independently for as long as possible.
- To ensure that older people are able to participate in decisions about their care.

The strategy also sets out a number of key objectives for the health care system to meet the needs of older people. These objectives are:

- To reduce the number of older people who are admitted to hospital.
- To reduce the length of stay of older people in hospital.
- To reduce the number of older people who are admitted to care homes.

The strategy also sets out a number of key actions for the health care system to meet the needs of older people. These actions are:

- To improve the training of health care professionals to meet the needs of older people.
- To improve the recruitment of health care professionals to meet the needs of older people.
- To improve the support of health care professionals to meet the needs of older people.

The strategy also sets out a number of key indicators for the health care system to meet the needs of older people. These indicators are:

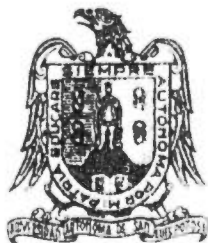
- The number of older people who are admitted to hospital.
- The length of stay of older people in hospital.
- The number of older people who are admitted to care homes.

EL RETO ENERGETICO PARA EL SIGLO XXI

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

1992

EX LIBRIS



333.79

R4

(5)

SISTEMA DE
BIBLIOTECAS
U.A.S.L.P.

No. DE REG.
FMM6435

ISBN-968-6194-45-2
0249-92004-A0036

Editorial Universitaria Potosina

EL RETO ENERGETICO PARA EL SIGLO XXI

COMITE EDITORIAL

Inq. David Atisha Castillo.
Inq. Ricardo Saldaña Flores.
Inq. Joel Milan Navarro.
M.en C. Raul Lugo Leyte.
M.en C. Alberto Valdes Palacio.

INDICE

Conservación de Energía en la Industria Siderúrgica. A. Delmar, M. Gutiérrez, H. Romero, J.J. Ambriz	1 / 7
Posibilidades de Ahorro de Energía en el Uso de Refrigeradores Domésticos. E. Campero L, A. Careaga M., J. Ortiz S., J. Vargas R.	9 / 13
Energía y Sociedad. M. del Mar Aguilar A., T. Esparza I.	15 / 21
El Rendimiento Exergético como Criterio de Eficiencia en Procesos Industriales. A. Sánchez C., N. Kemper V.	23 / 28
Consumo de Energía en Conjuntos Habitacionales. Un caso de Estudio. L. Rogríguez V.	29 / 33
Propiedades Termodinámicas de Gas Natural y Otras Mezclas. P. Alonso D.	35 / 42
Una Metodología Tendiente a Reducir Consumos de Vapor y Tiempos de Proceso Durante el Secado de Pigmentos Azoicos. A. Marino U., J.M. Zamora M.	43 / 48
Quemado de Cascarilla de Arroz en Lecho Fluidizado. J. F. Rodríguez G., B. Quintana D.	49 / 55
La Ingeniería en Energía y su Participación en los Programas para el Ahorro de Energía en la Industria. J.J. Ambriz G., H. Romero Paredes R.	57 / 62
Diseño y Construcción de un Sistema Electrónico Multicanal para Análisis de Demanda Eléctrica. SEMAD-1-IIE. P.A. Parkman, R.E. Borja, M.A. Borja.	63 / 69

Tres Métodos Sencillos para Estimar Información Salarimétrica e Higrotérmica para Diseños Ahorradores de Energía. A. Tejeda M., T. Zacarias C.	71 / 78
Estimación Preliminar del Potencial de Ahorro de Electricidad para Iluminación y Refrigeración en el Sector Residencial. R. Friedmann	79 / 84
Un Sistema Experto en Diagnóstico para la Sección de Calentadores de Baja Presión en una Central Nucleoeléctrica. J. Arellano, Y. Galicia, E. Ramírez.	85 / 90
Estudio de un Transformador Térmico Experimental. R.M. Barragán R., C.L. Heard, R. Best B., C.E. Mariano, B. Bacab, M.L. Domínguez, J.A. Cantellán.	91 / 97
Efecto de Flujo Transversal Sobre el Transporte de Fluidos en Ductos Cerrados. A. Díaz C.	99 / 102
Conservación de Energía en Destilación. J. F. Rodríguez G.	103 / 106
Estado Actual y Perspectivas de las Fuentes Alternas de Energía en México. J.A. Luviano L.	107 / 109
Diseño y Manufactura de una Miniturbina Hidráulica. F. Ferran R.	111 / 115
Diagnóstico de Problemas de Producción en Fozos del Campo Geotérmico Cerro Prieto. V.M. Arellano G., D. Nieva G., R.M. Barragán R., J. de León V.	117 / 122
Estudio Transitorio de Transferencia de Calor en la Roca Circundante al Pozo M-205. A. García	123 / 126
Transformación de Minerales Arcillosos en Sistemas Hidrotérmicos. G. Izquierdo M., E. Libreros.	127 / 130
Geoquímica de Isótopos Estables en la Exploración y Explotación de la Energía Geotérmica. M.P. Verma, E. Portugal, F. Tabaco, D. Nieva.	131 / 138
Cementos Geotérmicos Tixotrópicos para Sellar Zonas de Pérdida de Circulación. A. Baca A., S. Santoyo G.	139 / 141
Estudio de Factibilidad Técnica-Económica de una Bomba de Calor por Compresión Utilizando Fluidos Geotérmicos en los Azules, Mich. J. Siqueiros, J.L. Frías, U. Barragán, H. Fernández.	145 / 150
Modelo General de Productividad de Pozos Geotérmicos. Iglesias, E.I. Moya.	151 / 157 E.R.
Estado de la Tecnología de Perforación de Pozos Geotérmicos en México. S. Santoyo G., A. Baca A., M. Morales R.	159 / 164
State of the Renewable Energy Sources in Italy 1990. Carlo Mustachi.	165 / 168
Análisis de Costos en la Construcción de Pozos Geotérmicos. Parte I: Influencia en la Generación de Electricidad. J.M. Morales R., S. Santoyo G.	169 / 176

Elaboración de una Carta de Uso Potencial de la Energía Eólica en México. G. Pérez, R. Saldaña.	177 / 181
Aprovechamiento de Desechos Sólidos Urbanos para Generación Eléctrica. A.Ma. Martínez, J.L. Arvizu.	183 / 187
Infraestructura de un Laboratorio de Energía Solar Aplicada. M. Gordon, H. Solís, A. Díaz, J. Morales.	189 / 192
Avances en Concentración Solar en la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. A. Valdés, J.M. Zamora, E. Barrera, R. Lugo, R. Vázquez.	193 / 199
Distribución Geográfica de la Insolación en México. Ma. E. Hernández C., G. Pérez V.	201 / 206
Superficies Selectivas de Alta Temperatura. E. Barrera C., U. Morales.	207 / 211
Balance Térmico de una Planta Solar de Potencia. R. Lugo L., A. Valdés P.	213 / 217
Aplicación del Método de Sommerfeld para Establecer una Secuencia de Cálculo para la Simulación de un Ciclo Brayton. R. Vázquez R., .M. Zamora M.	219 / 223
Metodología para Determinar a los Parámetros Fundamentales de una Turbina de Gas (Ciclo de Joule). R. Lugo L., E. de María y Campos M.	225 / 232
Procedimientos Computacionales para el Manejo de la Información Empleada en el Modelado de la Dispersión Atmosférica de Contaminantes. R. Saldaña, M. Muriel.	233 / 238
Monitoreo de Emisiones Contaminantes en Centrales Termoeléctricas por Espectrometría LIDAR. R. Gómez M.	239 / 243
El Medio Ambiente Urbano y el Deterioro de Monumentos Históricos. I. Velasco A.	245 / 248
Ecosistema y sus Relaciones Energéticas. J.I. Delgado H., F. Flores E.	249 / 253
Carta de Dosimetría de Radiación para México. I. Velasco A.	255 / 260
Diseño de una Red de Monitoreo Ambiental en la Zona de Influencia de la Central Termoeléctrica Lerdo. M. Muriel, R. Saldaña.	261 / 264
Reflexiones Sobre el Papel de las Universidades para la Promoción del Uso de las Fuentes Alternas de Energía. J. Milan N.	265 / 267

the 1990s, the number of people in the UK who are aged 65 and over has increased from 10.5 million to 13.5 million, and the number of people aged 75 and over has increased from 4.5 million to 6.5 million (Office for National Statistics 2000).

There is a growing awareness of the need to address the needs of older people, and the UK Government has set out a strategy for the 21st century in the White Paper on *Ageing Better: Our Future as a Nation* (Department of Health 2000). This strategy is based on the principle of 'active ageing', which is defined as 'the process of optimising opportunities for health, participation in society and security in old age' (Department of Health 2000, p. 1).

The White Paper sets out a number of key objectives for the 21st century, including: 'to ensure that older people are able to live independently and actively in their own homes for as long as possible' (Department of Health 2000, p. 1). This objective is supported by a number of measures, including: 'to improve the quality of care and support for older people in residential care' (Department of Health 2000, p. 1); 'to improve the quality of care and support for older people in the community' (Department of Health 2000, p. 1); and 'to improve the quality of care and support for older people in their own homes' (Department of Health 2000, p. 1).

The White Paper also sets out a number of key objectives for the 21st century, including: 'to ensure that older people are able to live independently and actively in their own homes for as long as possible' (Department of Health 2000, p. 1). This objective is supported by a number of measures, including: 'to improve the quality of care and support for older people in residential care' (Department of Health 2000, p. 1); 'to improve the quality of care and support for older people in the community' (Department of Health 2000, p. 1); and 'to improve the quality of care and support for older people in their own homes' (Department of Health 2000, p. 1).

The White Paper also sets out a number of key objectives for the 21st century, including: 'to ensure that older people are able to live independently and actively in their own homes for as long as possible' (Department of Health 2000, p. 1). This objective is supported by a number of measures, including: 'to improve the quality of care and support for older people in residential care' (Department of Health 2000, p. 1); 'to improve the quality of care and support for older people in the community' (Department of Health 2000, p. 1); and 'to improve the quality of care and support for older people in their own homes' (Department of Health 2000, p. 1).

The White Paper also sets out a number of key objectives for the 21st century, including: 'to ensure that older people are able to live independently and actively in their own homes for as long as possible' (Department of Health 2000, p. 1). This objective is supported by a number of measures, including: 'to improve the quality of care and support for older people in residential care' (Department of Health 2000, p. 1); 'to improve the quality of care and support for older people in the community' (Department of Health 2000, p. 1); and 'to improve the quality of care and support for older people in their own homes' (Department of Health 2000, p. 1).

The White Paper also sets out a number of key objectives for the 21st century, including: 'to ensure that older people are able to live independently and actively in their own homes for as long as possible' (Department of Health 2000, p. 1). This objective is supported by a number of measures, including: 'to improve the quality of care and support for older people in residential care' (Department of Health 2000, p. 1); 'to improve the quality of care and support for older people in the community' (Department of Health 2000, p. 1); and 'to improve the quality of care and support for older people in their own homes' (Department of Health 2000, p. 1).

The White Paper also sets out a number of key objectives for the 21st century, including: 'to ensure that older people are able to live independently and actively in their own homes for as long as possible' (Department of Health 2000, p. 1). This objective is supported by a number of measures, including: 'to improve the quality of care and support for older people in residential care' (Department of Health 2000, p. 1); 'to improve the quality of care and support for older people in the community' (Department of Health 2000, p. 1); and 'to improve the quality of care and support for older people in their own homes' (Department of Health 2000, p. 1).

EL RETO ENERGETICO PARA EL SIGLO XXI

La energía representa en la actualidad uno de los principales pilares de la economía mundial, de hecho los recientes acontecimientos del Golfo Pérsico han demostrado una vez más la creciente vulnerabilidad del planeta a los cambios bruscos relacionados con el precio y suministro de los energéticos.

México es un país que depende fundamentalmente del petróleo como fuente primaria de energía, y en lo económico, este recurso representa una de las principales fuentes de divisas. Bajo un marco de demanda de hidrocarburos con alto crecimiento y sin exceder su límite técnico de explotación, la demanda y la producción se igualarían aproximadamente en el año 2006, mientras que con bajo crecimiento esto ocurriría en el 2015; en cualquier caso México pasaría a ser un importador de hidrocarburos. Sería imperdonable que fuéramos sorprendidos por esta situación sin antes haber desarrollado la capacidad de respuesta.

La crítica situación que padecen las grandes ciudades del país en materia de contaminación ambiental es una de las consecuencias que acarrea el uso irracional de la energía, en efecto, cada vez el costo ecológico de los energéticos convencionales es más alto. No debemos olvidar que un habitante de un país en vías de desarrollo consume aproximadamente una sexta parte de lo que consume uno de un país industrializado. Esto implica que la actual etapa de crecimiento y modernización que vive nuestro país demanda cada vez mayores recursos energéticos, los cuales, a su vez, deben ser explotados racional y eficientemente a fin de que nuestras reservas tengan mayor durabilidad y nuestro medio ambiente sea más sano.

Los sistemas energéticos no son simples. Los pasos y tiempos necesarios para llegar desde el conocimiento del recurso hasta su uso práctico son varios y complicados. Aún un recurso como la madera, usada como principal fuente energética por las sociedades menos desarrolladas, requiere de tiempo y procesos complicados. De momento se puede aseverar sin temor a equivocación alguna que la política de conservación activa de energía es la mejor forma de afrontar el reto; esto podrá dar un poco más de tiempo para madurar a las tecnologías alternativas.

En los países altamente industrializados, la relación entre el producto nacional bruto y la energía viene disminuyendo desde hace ya muchos años, si adoptamos en México las políticas apropiadas, esta relación tenderá a disminuir aún cuando el producto nacional bruto siga aumentando. Para conseguir eso será necesario efectuar un cambio gradual en la composición del suministro energético, que actualmente encierra más de un 90% de combustibles fósiles, de forma que la mezcla del futuro comprenda también cantidades notables de fuentes energéticas renovables, tales como las hidroeléctricas, las eólicas, las geotérmicas, las de biomasa y las solares.

En la actualidad hemos sido testigos de avances tecnológicos importantes, los carros han duplicado su rendimiento comparados con modelos de hace diez años, la eficiencia de los ciclos combinados de generación está por el orden del 45%, lámparas de halógeno que consumen el 10% de la energía que requiere una lámpara incandescente, bombas de calor que han duplicado la eficiencia de los sistemas de acondicionamiento climático convencionales, etc. Sin embargo, estos avances y muchos otros más nos hacen depender en gran medida de tecnología extranjera.

Los trabajos contenidos en este volumen muestran las respuestas que en diversas Instituciones se plantean ante este reto. Hacia esas instituciones y, sobre todo, para sus notables investigadores, nuestra más profunda gratitud y reconocimiento.

EL COMITE EDITORIAL

CONSERVACION DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA SIDERURGICA

ALEJANDRO DELMAR; MIGUEL GUTIERREZ; HERNANDO ROMERO; JUAN JOSE AMBRIZ.

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA IZTAPALAPA
AV. MICHUACAN Y PURISIMA, IZTAPALAPA, CP 09340,
MEXICO, D.F. AP 55-532. TEL. 686 03 22 Y 686 16 11.

En el presente trabajo se muestra a la industria siderúrgica en el contexto de los consumos energéticos industriales de nuestro país. La siderúrgica es el sector más importante de consumo de energía, de ahí el interés de establecer las técnicas y mecanismos para disminuir sus consumos energéticos. Ahora bien siendo una industria tan grande sus procesos son variados de modo que se presenta un análisis somero de sus consumos energéticos. Se realiza una comparación entre las eficiencias de altos hornos nacionales y los estándares de consumo internacional. Esta comparación se hace respecto al consumo de coque. Se presenta la estrategia general para establecer un programa de energía en esta industria y por último se destacan algunas de las medidas que se pueden incorporar a los principales procesos, para lograr un mejor aprovechamiento de la energía. Se hace incapié en la necesidad de incorporar técnicas modernas de evaluación energética para optimizar la operación de los procesos.

INTRODUCCION

La industria siderúrgica es uno de los pilares económico-industriales de cualquier país, es una rama industrial que se caracteriza por sus altos consumos energéticos, sus productos normalmente encierran un gran valor con base a la energía invertida en ellos. En nuestro país las principales ramas consumidoras de energéticos han sido por tradición la petroquímica básica, la siderúrgica, la azucarera, la química, la de cemento, de celulosa y papel, minera, del vidrio, de fertilizantes, aluminio etc..

Durante las últimas dos décadas la industria siderúrgica se había adueñado del segundo puesto en el uso intensivo de energía, sólo después de la petroquímica básica, por ejemplo en 1981 presentó un consumo de 58.6 billones de kilocalorías cantidad comparable a las 62.2 billones de kilocalorías de energía eléctrica generadas por el total de la industria eléctrica en México en 1982.

En los países en desarrollo como el nuestro, la industria siderúrgica ha mostrado un crecimiento mayor que en los industrializados, esto junto con algunos otros factores, como un uso más racional de la energía en la industria petroquímica básica, originó que la industria siderúrgica se convirtiera en 1988 en el principal consumidor nacional de energía con el 19.2% dejando a la petroquímica básica en el segundo puesto con 19.1%, dicha situación se repitió para el año de 1989 con 20.8% y 20.1% respectivamente, es decir, aunque ambas industrias crecen, el consumo de energía en la industria siderúrgica lo hace de forma más marcada, 17.2%, con respecto al año anterior contra 13.9% de la petroquímica básica.

En 1989 la industria siderúrgica consumió 1.9 veces más energía que la industria química, 2.24 más que la de cemento, 2.36 más que la azucarera y 1.32 veces más energía equivalente que la producida por el parque eléctrico nacional para uso industrial.

Todas estas cifras nos dan una idea de la importancia de esta rama industrial, misma que va en aumento. Como puede visualizarse, todo esfuerzo encaminado a lograr un óptimo uso de la energía en esta industria, favorecerá notablemente a la industria, economía y muchas otras áreas del quehacer nacional.

PROCESOS SIDERURGICOS

La industria siderúrgica emplea una variedad de materias primas y procesos para la producción del acero, a partir del cual se obtiene una amplia gama de productos. Actualmente la industria mexicana utiliza 4 procesos para producir acero de diferentes características:

- 1.- Alto horno-horno de hogar abierto
- 2.- Alto horno-convertidor al oxígeno
- 3.- Reducción directa-horno eléctrico
- 4.- Chatarra-horno eléctrico

En los dos primeros procesos las materias principales son: el mineral de hierro que sufre una aglomeración a través de sinterizado o pelletizado, el carbón a partir del cual se produce coque y la piedra caliza. Los tres productos así obtenidos, son las materias primas con las que se alimenta el alto horno del cual se obtiene arrabio o hierro de primera fusión. Este se lleva al horno de hogar abierto o al convertidor al oxígeno para producir el acero.

En el tercer proceso se efectúa la reducción del mineral de hierro en forma directa empleando para ello gas natural y obteniendo como producto el hierro esponja, con el cual se alimenta el horno eléctrico y se produce acero.

El último proceso emplea la chatarra como materia prima la cual alimenta el horno eléctrico para producir el acero.

A partir de la elaboración del acero, el proceso de producción siderúrgica continúa con la adopción de dos técnicas alternativas de vaciado, conocidas como de colada continua y por lingotes, para la obtención de planchón, tocho o palanquilla. Estos se pasan por hornos de recalentamiento y posteriormente en laminadores donde se transformarán en nuevos productos.

El laminado en frío o en caliente completan los procesos de transformación del acero así como de otras aleaciones.

Actualmente, las plantas siderúrgicas integradas prefieren la combinación alto horno y convertidor básico al oxígeno (AH/CBO), la que está desplazando aceleradamente al proceso en base al horno Siemens-Martin (AH/HSM) por su mayor productividad y menor consumo de energía. Las miniplantas integradas (proceso de reducción directa-horno eléctrico RD/HEA) se han convertido en fuertes competidoras de las plantas integradas de mayor tamaño para los productos de acero de calidad común. En poco tiempo, estas plantas podrán producir también productos planos al desarrollarse la tecnología en el campo de la colada continua de planchones delgados.

Los diferentes procesos se pueden apreciar en la tabla 1. La fabricación de hierro primario es por mucho la etapa que consume mayor energía en los procesos de AH/CBO Y RD/HEA, pues ésta es la responsable de entre el 58 y 72% del consumo total de energía.

Tabla 1
CONSUMOS DE ENERGIA POR PROCESOS
(Gcal/ton de Acero Bruto)

	AH/CBO	AH/HSM	RD/HEA	TA/HEA
FABRICACION DE HIERRO PRIMARIO				
Planta de sinter y pellet	0.7	0.7	—	—
Hornos de coquización	0.4	0.4	—	—
Alt. Hornos de Reducción	3.2	3.0	3.4	—
FABRICACION DE ACERO				
CBO/HSM/HEA	0.2	0.5	1.4	1.4
Laminado en caliente	1.0	1.0	1.0	1.0
Central Eléctrica y Otros	0.5	0.5	0.1	0.1
TOTAL	5.8	5.7	5.9	2.5

ESTRUCTURA ENERGETICA DE LA SIDERURGIA NACIONAL

La actual industria siderúrgica mexicana está formada por cinco plantas integradas las cuales son ALTOS HORNOS DE MEXICO, FUNDIDORA MONTERREY, SICARTSA, HYLSA y TAMSA las cuales son capaces de transformar el mineral de hierro a productos terminados. Por otro lado tenemos 26 plantas semintegradas que operan a partir de chatarra y pueden producir desde acero a productos laminados (Tabla 2).

Tabla 2

EMPRESA	PRODUCCION DE ACERO %	PRODUCCION DE LAMINAOS %
AHMIA	32.3	28.6
SICARTSA	11.2	10.1
FMSA	13.9	13.1
HYLSA	22.2	24.1
TAMSA	5.4	4.6
NO INTEGRADAS	15.0	19.5

La estructura del consumo energético de la rama en 1989 estuvo conformada como se muestra en la gráfica 1. El gas natural, el coque y la electricidad representaron el 88.1% del consumo total de esta industria, el restante 11.9% lo aportaron el combustible, el diesel, las kerosinas y el gas licuado. La cantidad de gas natural representó el 16.2% del gas requerido por el sector industrial, así mismo, el consumo de coque representó el 95.1% equivalente a 2'415,072 toneladas. En cuanto a electricidad la siderúrgica consumió el 9.9% de la energía utilizada por todo el sector industrial.

Consumo de Energía

Distribución de los Energéticos en la Siderurgia Nacional

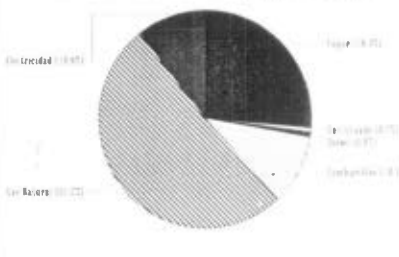


Gráfico 1

Los procesos pueden ser divididos en etapas cada una de las cuales tiene un consumo específico de energía por tonelada de producto obtenido. Los más destacados se presentan en la tabla 3.

Tabla 3
INDICES ENERGETICOS DE LOS PRINCIPALES PROCESOS
(Gcal/ton de Acero)

PROCESO	CONSUMO ENERGETICO
Coquización	0.4
Pelletización	0.17
Sinterización	0.75
Reducción Directa	3.038
Horno de Arco	0.56
Horno de Inducción	0.56
Convertidor Básico al Oxígeno	0.07
Horno de Hogar Abierto	1.25
Alto Horno	5.8

La planta coquizadora tiene como objetivo producir coque es decir carbón de alta resistencia y bajo en impurezas a partir de carbón todo uso, el cual es una mezcla variable que contiene azufre, cenizas, oxígeno, nitrógeno, agua, etc. Para hacerlo se lleva a cabo una destilación alrededor de los 1100 K.

La pelletización es una forma de aglomeración de minerales que se realiza en dos etapas, la primera es la formación de aglomerados esféricos con la mena húmeda de 10 a 20 mm, por desmenuzamiento y adición de agua y cal en un tambor giratorio. La segunda es el endurecimiento de esos aglomerados por subsiguiente cocimiento en horno de cuba.

La sinterización es una forma alternativa de aglomeración de partículas finas y sueltas en una masa compacta y porosa, mediante una fusión incipiente originada por el calor producido por combustión dentro de la misma mena. El material que se ha de sinterizar, junto con el combustible sulfu-

ciente para engendrar el calor necesario para la sinterización se coloca sobre un lecho sobre el que se hace pasar aire, el material arde y entonces, la sinterización de la mena se realiza automáticamente. Este proceso consume entre 4 y 5 veces más energía que el anterior lo que lo hace menos atractivo.

La reducción directa es un proceso que utiliza una mezcla de gases rica en hidrógeno y monóxido de carbono para extraer el oxígeno del mineral de hierro. La mezcla de gases se produce a partir de gas natural y vapor de agua en un dispositivo llamado reformador, que se representa en la figura 1. El gas natural y el vapor se inyectan a una tubería de acero inoxidable que se calienta con unos quemadores. A altas temperaturas y con ayuda de catalizadores que se ponen en el interior de los tubos ocurren entre otras reacciones la siguiente:

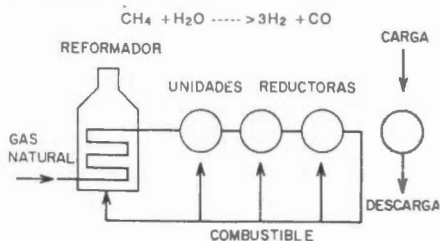


Fig. 1 Reformador

El hidrógeno y el monóxido de carbono, agentes reductores salen del reformador acompañados de pequeñas cantidades de gas natural y bióxido de carbono. La tubería se conecta con los reactores reductores que son cámaras de gran tamaño donde se carga el mineral de hierro en forma de pellets como se indica en la figura 2. Al producto obtenido se le conoce como hierro esponja, el cual es refinado normalmente en hornos eléctricos de arco. Debido a la eficiencia de los hornos este proceso consume entre 3 000 y 3 800 Mcal por tonelada de acero.

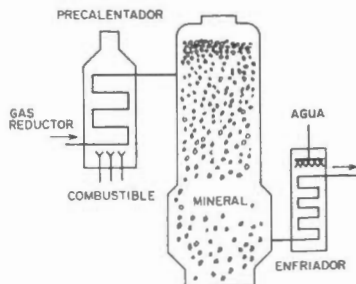


Fig. 2 Unidad Reductora

La fusión de mena de hierro utilizando electricidad es una alternativa muy usada y económica para sustituir al alto horno, esto en donde la electricidad es relativamente más barata.

La diferencia principal con respecto al alto horno consiste en que la electricidad suministra el calor en vez de la combustión de coque en las toberas, no

obstante, la reducción química de la mena de hierro se realiza también con coque, puesto que no se introduce aire, el volumen de gases es mucho menor que en alto horno y se encuentra limitado a los que se producen por la reducción directa, más o menos de acuerdo con la reacción:



El consumo de coque por tonelada de arrabio es entre 350 y 400 Kg. equivalente a 2 66 Gcal/ton de arrabio. Este coque no necesita el mismo grado de pureza que el coque de alto horno.

El consumo de energía eléctrica es de alrededor de 0 56 Gcal/ton, dependiendo de la calidad del hierro deseado. Por lo tanto esta operación tiene un consumo total de energía de 3.22 Gcal/ton.

HORNOS DE ARCO DIRECTO. Los hornos de arco son generalmente de este tipo, en los cuales se forma un arco entre los electrodos de grafito sobre la misma carga. Los electrodos existen en número de 3 o 4 y se conectan en serie de manera que, la corriente fluya a través de la carga de un electrodo al siguiente. La cámara del horno tiene forma de tazón y esta provista de un techo abovedado en el cual se encuentran montados los electrodos. El techo está montado sobre rieles, de manera que puedan moverse a un lado cuando se carga el horno también se tiene una puerta para cargar el horno del lado opuesto al vertedor.

El equipo eléctrico apropiado consiste principalmente de un transformador de bajada, que reduce la tensión de la alimentación a la requerida. La tensión aplicada al sistema de electrodos puede variarse, generalmente es más de 100 Volts al principio de la fusión reduciéndose a unos 40 Volts cuando la fusión es completa.

Como fundente se utiliza cal que produce escorias de carácter básico. Las escorias ácidas se obtienen introduciendo arena de cuarzo. Como desoxidantes se emplean el ferrosilicio, ferromanganeso y aluminio.

En este tipo de hornos la fundición se efectúa debido al calor del arco eléctrico que surge entre los electrodos y la mena.

HORNOS DE ARCO INDIRECTO. Su uso está un poco restringido y consiste de una cubierta cilíndrica protegida a su vez con refractario adecuado que contiene 2 electrodos montados horizontalmente. El arco se forma entre esos electrodos de manera que la corriente no pasa por la carga, efectuándose la transferencia de calor por radiación del arco. El horno está diseñado de manera que oscile durante la fusión y esto no sólo ayuda a mezclar la carga sino favorece la transferencia de calor. Este horno es usado principalmente para obtener cantidades pequeñas de carga.

HORNOS DE INDUCCIÓN. Estos hornos pueden ser del tipo de alta o baja frecuencia y químicamente son el método más limpio para fundir metales. La eficiencia térmica es alta, debido a que el calor se genera dentro de la misma carga.

Los hornos de inducción de alta frecuencia son del tipo de crisol inclinable. El crisol está rodeado por una bobina-serpentina de cobre, enfriada por agua y encerrada en refractario, que lleva una corriente alterna con una frecuencia del orden de 1000 ciclos por segundo. La corriente de alta frecuencia provoca la formación de corrientes parásitas en la carga del metal, las que a su vez producen el calentamiento del mismo. En términos generales en este proceso se

consumen del orden de 560 Mcal por tonelada de arrabio

EL CONVERTIDOR BESSEMER Para el tratamiento de arrabio líquido en este convertidor se inyecta aire a través del fundido, el calor generado es suficiente no solo para compensar las pérdidas de calor, sino también para elevar la temperatura desde 1500 hasta 1800 K que se necesitan para fundir el acero

Ultimamente se utilizan convertidores al oxígeno soplados por abajo, en los cuales, el chorro de oxígeno se encuentra rodeado por un flujo anular de hidrocarburos o de gas inerte, de esta forma se evitan las temperaturas locales extremas

El convertidor básico al oxígeno es un reactor en forma de pera que se alimenta de arrabio líquido y cal, lo que da carácter básico a la mezcla, al hacer pasar una corriente de oxígeno se producen las temperaturas necesarias para la desulfuración y desfosforación, debido a que el oxígeno se combina con el carbono presente en el arrabio, este proceso tiene una eficiencia alta y la capacidad de reciclar los gases de salida aumentan aun más dicha eficiencia (Figura 3)

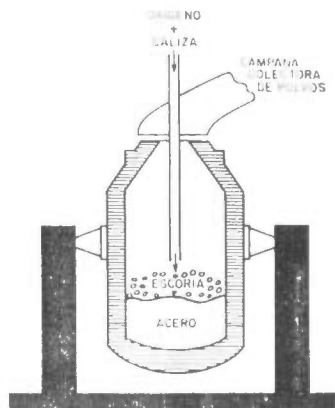


Fig. 3 Convertidor básico al oxígeno

HORNOS DE HOGAR ABIERTO Este horno se alimenta de combustible con petróleo o con gas y los gases salientes del horno se hacen pasar por un sistema regenerador en donde se utilizan para precalentar el aire de combustión de esta manera se obtiene la temperatura necesaria de 1430 K

La carga del horno de hogar abierto consiste generalmente de chatarra de acero y de arrabio con algo de mena de hierro. La oxidación de las impurezas sucede en parte debido a la mena y al moño de la chatarra pero también al oxígeno en la atmósfera del horno el cual es capturado por la escoria y transferido al baño de acero (Figura 4). Este horno está desapareciendo en favor del convertidor básico al oxígeno ya que implica el uso de combustibles no recuperables como gas natural, combustible o carbón consume aproximadamente 1 250 Mcal por tonelada de acero refinado

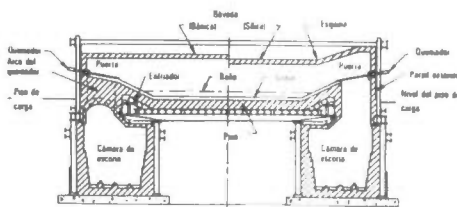


Fig. 4 Horno de Hogar abierto

EL ALTO HORNO PARA HIERRO El alto horno de hierro actual es el resultado de varios siglos de desarrollo, desde el primitivo hoyo en el suelo utilizado por el hombre de principios de la era del hierro al primer alto horno primitivo al final del medioevo hasta el uso de coque y soplo caliente introducidos en los siglos XVIII y XIX. Casi en la mitad del siglo XX se realizó otro gran avance mediante la introducción de una mejor preparación de la carga, una mayor temperatura de soplo y en algunos casos una mayor presión dentro del horno. Entre 1940 y 1980 la capacidad de fusión del alto horno casi se ha duplicado sin haber tenido que duplicar el tamaño del horno, el consumo de coque se ha reducido de 1000 a menos de 500 kilogramos por tonelada de hierro producido. Estas mejoras han sido posibles solamente por medio de una mejor comprensión de las reacciones que suceden dentro del horno, así como del efecto de estas reacciones sobre la capacidad de difusión y sobre la economía de coque

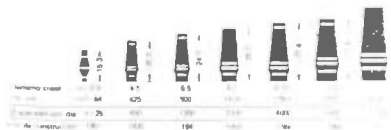


Fig. 5 Evolución del alto horno

Al alto horno se introducen las siguientes materias primas sólidas: óxidos de hierro siendo el más usual la hematita Fe_2O_4 . En la actualidad se adiciona en forma de:

- Pellets de 1 a 2 cm de diámetro fabricados a partir de menas concentradas finamente molidas (5 a 10% de SiO_2 y Al_2O_3 y el resto es Fe_2O_3)
- Trozos de material sinterizado con tamaños que van de 1 a 3 cm
- Mena tamizada (1 a 5 cm) la cual no ha sufrido aglomeración previa

También se adiciona hierro en forma de escoria de aceración y cascarilla de óxido

Otra materia prima sólida sería el coque metalúrgico (85% C, 10% cenizas, 1% de S y 5-10% de H_2O) este material es el encargado de suministrar la mayor parte del gas y del calor que se requieren para llevar a cabo la reducción y fusión de la mena

Como fundentes se le adiciona óxido de calcio y magnesio para fundir las impurezas de sílice y alumina que acompañan al coque y a la mena produciendo una escoria de bajo punto de fusión

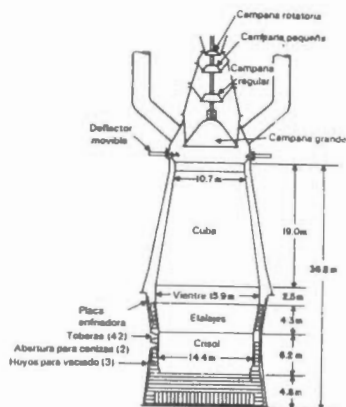


Figura 6 Esquema del alto horno

Los materiales que se introducen a través de las toberas que se encuentran abajo de los etalajes son:

- Soplo de aire caliente, el aire se precalienta a una temperatura que varía entre 1200 y 1600 K y en algunos casos se enriquece con oxígeno para producir un contenido de hasta 25 % vol. El soplo caliente causa que el coque incandescente (1800K) se queme frente a las toberas, proviendo de esta manera el calor necesario para llevar a cabo las reacciones de reducción y para el calentamiento y la fusión de la carga y productos.
- Hidrocarburos gaseosos líquidos o sólidos; la adición de hidrocarburos suministra cantidades adicionales de gases reductores (CO y H₂) al proceso. Los aditivos más comúnmente empleados son el combustible, alquitran, gas natural y el carbón en polvo.

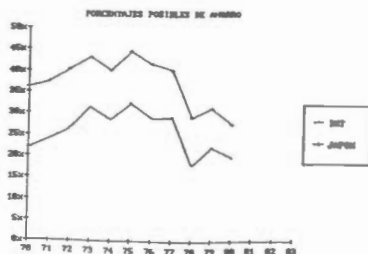
ANÁLISIS DE CONSUMOS DE ENERGÍA

La evolución del potencial de ahorro de energía en la industria siderúrgica mexicana se puede abordar a partir de la comparación entre los consumos específicos nacionales y los consumos existentes en el contexto internacional. A continuación desarrollaremos un ejemplo de estas comparaciones.

Desde el punto de vista energético, la relación de transformación más importante en todo el proceso de alto horno es la existente entre el consumo de coque y la producción de arrabio.

Es claro que el consumo específico de coque en altos hornos mexicanos es superior al consumo de países desarrollados, existe un escalonamiento que algunos atribuyen a la puesta en marcha de SICARTSA, lo cual mejoró el promedio nacional significativamente.

Sin embargo nuestros consumos siguen siendo altos, frecuentemente se ha establecido un pequeño parámetro para conocer el potencial de ahorro de coque de nuestros altos hornos con respecto a otros países, este parámetro es:



Gráfica 2

$$P = (CM - CI) \times 100 / CM$$

Donde P es el potencial; CM el consumo en México y CI el consumo promedio internacional. Un ejemplo sería que para 1980 tenemos un potencial de ahorro de 20% con respecto al promedio internacional y un 28% con respecto a Japón. En la gráfica 2 se encuentran los potenciales de ahorro que tiene México con respecto a los países desarrollados (Japón incluido en el promedio), y Japón que es el país más eficiente. Sin embargo no es un parámetro que pueda ser tomado como base de comparación dada la diversidad de tecnologías involucradas en la industria siderúrgica de esos países.

Ahora bien, lo que motiva es la implementación de medidas tendientes a un uso racional de la energía, ya sea mejorando las prácticas de operación o recuperando calor residual, destacan también el desarrollo de auditorías energéticas en las plantas tanto para hornos individuales y equipos, como para las plantas en su totalidad, la introducción de medidas de sustitución de combustibles, la adopción de instalaciones que ahorran energía, etc.

Para lograr un ahorro y este a su vez autofinancie las subsiguientes medidas en forma consecutiva, hay que establecer una estrategia integral para evaluar los consumos energéticos, elucidar las técnicas para disminuir sus consumos y jerarquizarlas técnica y económicamente. La estrategia que aquí se propone es:

- Análisis de los consumos energéticos. Esta primera actividad tiene como objetivo identificar, con cierta precisión la fuente o fuentes de mayor consumo y realizar una ponderación, tanto de consumo como de costos, la finalidad es no invertir mucho tiempo ni recursos en aquellos aspectos que no afectan en gran medida la economía de la empresa.
- Planeación y formulación de un programa para el uso racional de energéticos (PURE). Es la etapa de planeación de actividades sucesivas o paralelas, vertidas en un programa detallado conducentes a disminuir los consumos energéticos a través de la optimización de procesos u operaciones, la disminución de desperdicios de operación etc.
- Establecimiento de un sistema de control de la gestión energética. La administración de energía planifica a través de una estrategia las actividades que le permiten llegar a los objetivos planteados. Toda vez que la planificación se realiza en forma tal que exista un avance paulatino y en cada paso se profundice más en los problemas del uso racional de la energía.

Algunas de las medidas para lograr disminuir los consumos energéticos para los diferentes procesos y equipos de la industria siderúrgica se presentan en los cuadros 1 al 7. Las siglas A, M y B significan potenciales alto (más de 20%), medio (5 a 20%) y bajo (menos del 5%) respectivamente.

LA COLADA CONTINUA. El ahorro directo de energía del proceso de colada continua, respecto del proceso clásico de lingotes, es del orden de 200 Mcal por tonelada de arrabio.

CUADRO 1
HORNOS DE COQUIZACION

MEDIDAS	IMPORTANCIA
Control automático de la combustión	M
Control del valor calorífico del gas mezclado	M
Distribución optimizada de la temperatura en la cámara de combustión	M
Ignición automática del gas de coquería liberado	M
Recuperación del calor sensible del coque (apagado en seco)	A
Carga de carbón seco	M
Recuperación del calor sensible del gas	M
Instalación de economizadores y sistemas tendientes a mejorar la calidad del coque (molienda selectiva del carbón, adición de aceite y control de la densidad de carga)	M
Conservación, rehabilitación, reconstrucción, modernización y optimización de las plantas coquizadoras, reemplazo de equipo cercano al fin de su vida útil	A

CUADRO 2
PLANTA DE SINTER

MEDIDAS	IMPORTANCIA
Control de la distribución del tamaño de partículas del mineral y clase de coque	M
Control automático de la combustión del horno de ignición (control del contenido de oxígeno en los gases residuales de la temperatura y la presión)	B
Aumento en la profundidad del baño	M
Recuperación del calor residual del gas de escape principal	A
Recuperación del calor del gas residual del enfriador	B
Pre calentamiento del aire de combustión para el horno de ignición	B
Pre calentamiento de la mezcla para sinter	B
Cogeneración de energía eléctrica (caldera a calor residual)	A

CUADRO 3
HORNO DE PELETIZACION

MEDIDAS	IMPORTANCIA
Adición de dolomita (pelets autofundentes)	M
Mayor eficiencia de la zona de enfriamiento	B
Recuperación del calor residual del enfriador de pelets	M

CUADRO 4
ALTO HORNO

Instalación de sistemas eficientes de distribución de carga	M
Aislamiento de la tubería principal de viento caliente	B
Control del patrón de calentamiento del regenerador	B
Turbina de recuperación de la presión del tope	A
Recuperación del gas de alto horno sangrado durante la carga	B
Enfriamiento evaporativo por placas	B
Recuperación del calor residual de los regeneradores	A
Preparación granulométrica, enriquecimiento del lecho, mejora de la calidad del coque, empleo de prerreducción	M
Inyección de hidrocarburos	M
Elevación de la temperatura de viento	A
Enriquecimiento del viento con oxígeno	A
Inyección de combustibles y gases reductores en toberas a altas temperaturas por la parte baja de la cuba (etalaje)	M
Desulfuración del arrabio fuera del horno	M
Control automático de los parámetros importantes, caudal, temperatura de soplo, humedad de soplo, inyección de combustibles en el soplo	A
Aprovechamiento del calor de enfriamiento del alto horno	B
Utilización del gas de alto horno	A

CUADRO 5
ESTUFAS DE ALTO HORNO

Sustitución de mecheros metálicos por cerámicos de alta turbulencia	M
Enriquecimiento del gas de alto horno (800 kcal/Nm ³) con gas de coquería (4500 kcal/Nm ³)	B
Pre calentamiento del aire de combustión	M

Regulación automática de la combustión	M
Disponibilidad de áreas de demanda exterior de combustión	B
Mejora de la transferencia térmica mediante la disminución de secciones de paso del gas previa depuración del mismo	A
Mejora de la calidad del refractario en la cúpula por lo menos para conseguir temperaturas de flama más elevadas	M
Mejora en el aislamiento de las estufas	A

CUADRO 6
CONVERTIDOR BASICO AL OXIGENO

MEDIDAS	IMPORTANCIA
Ignición automática del gas liberado	M
Control programado del calentamiento de la cuchara	M
Aislamiento mejorado	B
Recuperación del gas de convertidor	A
Recuperación del calor sensible del gas de convertidor	A

CUADRO 7
HORNO ELECTRICO DE ARCO

MEDIDAS	IMPORTANCIA
Introducción del horno de potencia ultra-alta	A
Uso de oxígeno mediante lanza para ayudar a la fusión	M
Precaentamiento de la chatarra	A
Refinación secundaria de acero	B
Colada por el fondo	B

Entre las medidas mencionadas destacan: apagado en seco del coque, la energía recuperada podría ser hasta un 25% de la energía que se consume por unidad de producto y precaentamiento del carbón, reduce en un 15% el tiempo de residencia en el horno y permite mezclas de carbón de menor calidad.

en la planta de sinter sobresale la recuperación del calor del gas residual ya que se aproxima a un 30% del insumo de energía y la cogeneración ya que el calor residual es del orden de 30 a 50 megacalorías por tonelada de sinter.

La importancia de la peletización se vislumbra en el alto horno, ya que gracias a la dolomita, reduce un poco las temperaturas necesarias para la reducción y separación de la mena y la escoria

El uso del gas (800 Kcal/Nm^3), la recuperación de la presión de sople 40% de la misma y la recuperación del calor residual de los regeneradores es del orden de 20 a 30 Mcal. por tonelada de arabio

Destaca la recuperación del gas, cuyo bióxido de carbono, si no es quemado reditúa como calor sensible 200 Mcal por tonelada de acero, y si se quema se recuperan 70 Mcal/ton. de acero.

Introduciendo los hornos de potencia ultra-alta se logran ahorros de 40 Mcal por tonelada de acero, con la inyección de oxígeno se logran ahorros de 25 Mcal por tonelada de acero y con el precaentamiento de la chatarra se ahorran 30 Mcal por tonelada de acero

CONCLUSIONES

La industria siderúrgica es la de mayor consumo en nuestro país. Por lo tanto es conveniente tomar medidas tendientes a un uso racional de la energía en ella. Destaca el consumo de energía del alto horno donde a su vez el coque es el principal energético. Al tomarlo como referencia, es fácil ver que los consumos en nuestro país son altos con respecto a los valores internacionales, de donde se desprende que existe un amplio potencial de ahorro, mismo que se evalúa en este documento. Para lograr dicho ahorro se proponen diversas medidas que abarcan tanto al alto horno como a los principales procesos de esta rama. Algunos involucran la compra de nuevos equipos o la recuperación del calor residual. También destacan las medidas para aumentar la eficiencia energética. La optimización de las prácticas de operación y de procesos específicos son una herramienta que deberá invariablemente emplearse para mantener competitiva la planta industrial nacional.

BIBLIOGRAFIA

- DELMAR, GUTIERREZ**, Balance de Energía del Alto Horno de Hierro. --Cap. 2-6. -- *UAM-I*. 1990.
- ROMERO PAREDES, AMBRIZ**, Administración de la Energía --Cap. 1 -- *UAM-UNAM*. 1989.
- BALZHISER, Richard**, Termodinámica Para Ingenieros -- p. 117-235. -- *Prentice-Hall*. 1979.
- BERCZYNSKI, F.A.** Blast Furnace Design -- Cap. 2. -- *McMaster, University*. 1977.
- ELLIOTT, J.F.** Blast Furnace Theory. -- Cap.2. -- *McMaster, University*. 1977
- MORRAL, F.R.** Metalurgia general. -- Cap 3 -- *Reverté*. 1982.
- PERRY, R.H.** Chemical Engineer's Handbook -- p 2-51 -- *McGraw Hill*. 1984
- PETERS, A.T.** Producción Siderúrgica -- p 33-60 -- *LIMUSA*. 1987.
- SADA Garza, Carlos**, El Proceso de Reducción Directa HyL. -- p. 73-86 -- *Grupo Acero, HYLSA*. 1975.
- SEMIP**, Balance Nacional de Energía 1965-1985 -- *SEMIP*, 1986.
- SEMIP**, Balance Nacional de Energía 1988 -- *SEMIP*. 1989.
- SEMIP**, Balance Nacional de Energía 1989. -- *SEMIP*. 1990.
- SEMIP-CEE**, Uso Eficiente de la Energía en la Industria. -- *SEMIP-CEE*. 1985
- SEMIP-SIDEMEX**, Informe de Labores 1987-1988 del grupo SIDERMEX. -- p. 50-67. -- *SEMIP-SIDERMEX*. 1989.
- TERKEL, Rosenquist**, Fundamentos de Metalurgia Extractiva. -- p. 235-272 -- *LIMUSA*. 1987.
- WIONCZEK, Miguel S.** Uso Eficiente y Conservación de la Energía en México. -- p. 212-245. -- *El Colegio de México*. 1980.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial statements. This includes not only sales and purchases but also expenses, income, and transfers between accounts.

Secondly, the document highlights the need for regular reconciliation. By comparing the company's internal records with bank statements and other external sources, discrepancies can be identified and corrected promptly. This process helps in detecting errors, fraud, and unauthorized transactions, thereby safeguarding the company's assets.

Thirdly, the document stresses the importance of proper classification of transactions. Each entry should be categorized correctly according to the accounting system used. This ensures that the financial statements provide a true and fair view of the company's financial position and performance.

Finally, the document concludes by stating that consistent and accurate record-keeping is essential for the success of any business. It provides a solid foundation for decision-making, tax compliance, and the overall financial health of the organization.

POSIBILIDADES DE AHORRO DE ENERGIA EN EL USO DE REFRIGERADORES DOMESTICOS.

Eduardo Campero L., Angélica Careaga M., Jorge Ortiz S. y Julia Vargas R.

Departamento de Energía, Ciencias Básicas e Ingeniería, Unidad Azcapotzalco, Universidad Autónoma Metropolitana. Av. San Pablo 180, 02230 México, D.F.

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de mediciones del consumo de energía de refrigeradores domésticos llevadas a cabo en condiciones normales de operación en casas habitación. Estas pruebas se comparan con las realizadas en laboratorio y reportadas en otro artículo. Se presenta una breve historia y una descripción del funcionamiento del refrigerador. Las comparaciones muestran que las diferencias de diseño y manufactura influyen de manera importante en el consumo de energía. Los resultados de las mediciones de los refrigeradores en condiciones normales de uso permiten concluir que también existen posibilidades para ahorrar energía en el uso del refrigerador. La información recopilada y la disponible en la bibliografía se utiliza para describir el impacto que el consumo de energía tiene sobre la economía familiar. Se advierte la necesidad de que los fabricantes especifiquen el rango del consumo de energía que tiene el refrigerador que ofrecen.

INTRODUCCION

El enfriamiento y congelación de alimentos para su conservación es una práctica que tiene su origen desde la época antigua. Los griegos y romanos, por citar algunos, transportaban nieve y hielo desde lo alto de las montañas a las ciudades para construir almacenes de hielo en el subsuelo. En México el uso del hielo se conoce desde los tiempos del Imperio de Moctezuma y era traído principalmente de los volcanes cercanos al Valle de México.

En aquellos sitios donde el hielo y el frío forman parte de la vida cotidiana se utilizaban bloques de hielo de los lagos congelados para introducirlos en depósitos aislados. Éstos presentaban diversos diseños, como el patentado en EUA en 1803 que consistía de una cabina de pared doble con dos compartimientos: uno para el hielo y otro para los alimentos, que no tuvo éxito comercial debido al alto costo del manejo y transporte del hielo.

Durante el siglo XVIII se utilizó el fenómeno de la evaporación para extraer calor en diversas aplicaciones.

En el siglo XIX surgen diferentes iniciativas en la búsqueda de procesos para enfriar y congelar. Entre los adelantos más significativos está el de Carl Linde, quien inventó un sistema de refrigeración para la industria utilizando una compresora y anhídrido sulfuroso como agente refrigerante que en 1877 sustituyó por amoníaco.

A finales del siglo XIX todos los desarrollos se concentraron en mejorar el ciclo de refrigeración por compresión usando amoníaco, que debido a su toxicidad siempre tuvo un uso limitado. La siguiente mejora más importante fue el descubrimiento, durante la década de 1920, del refrige-

rante no tóxico conocido como Freón, cuyo uso permitió diseñar sistemas de refrigeración para lugares cerrados. Desde ese momento se hizo posible la fabricación de refrigeradores caseros (con motocompresores eléctricos) que no tardaron en aparecer y formar parte de la vida diaria en los hogares de los países industrialmente desarrollados.

En México la cabina frigorífica con bloques de hielo se utilizó en las ciudades todavía hasta principios de la década de los 50's, pero actualmente el refrigerador eléctrico está al alcance de las mayorías. En zonas rurales la falta de servicio eléctrico y los bajos ingresos de las familias han restringido su uso.

Se entiende que un refrigerador doméstico está diseñado para conservar frescos a los alimentos. Debe mantenerlos a temperaturas entre 1 y 5°C. Por lo general en México el refrigerador incluye otro compartimento, que funciona a temperaturas bajo cero con el fin de prolongar el almacenaje de algunos alimentos. La temperatura de este congelador varía de acuerdo con el modelo del refrigerador, ya que puede estar dentro del mismo gabinete o separado con acceso independiente.

El motor eléctrico acoplado a la compresora es el principal consumidor de energía en los refrigeradores. La frecuencia con que funciona depende de la señal que envía un termostato cuando la temperatura interna aumenta más allá de cierto límite definido por el control (normalmente manual) con que cuenta cada aparato.

Aunque en los últimos años se han desarrollado mejores materiales aislantes y ciclos de refrigeración más eficientes, el consumo de energía de los refrigeradores es una parte importante del total que utiliza una casa habitación

promedio. Por esta razón resulta conveniente estudiar su comportamiento en las condiciones de operación a las que están sujetos y ver que posibilidades existen de disminuir el consumo de electricidad por este concepto.

En este artículo se proporciona información relativa al consumo de energía de diferentes refrigeradores domésticos en condiciones normales de uso, instalados en casas habitación de familias en la Ciudad de México. El objetivo principal es determinar las variables que tienen mayor influencia en el consumo y el impacto proporcional del refrigerador sobre el total de energía eléctrica que requieren las familias.

Se pretende demostrar que además de la temperatura ambiente existen también elementos culturales y patrones de uso que afectan el consumo de energía del refrigerador. Por ejemplo: las condiciones en que se introducen los alimentos, la frecuencia y duración de las aperturas de la puerta y la adecuada selección del refrigerador conforme con los requerimientos de la familia, entre otras.

OBTENCION DE LA INFORMACION

En los refrigeradores disponibles se instalaron kilowatt-horímetros, previamente calibrados, junto con relojes eléctricos acoplados al sistema de iluminación interno del refrigerador para contabilizar el tiempo que la puerta permanecía abierta. Se utilizaron termómetros para conocer las temperaturas interior y ambiente.

El termómetro interior se colocó en la parte superior de la pared derecha cercana a la puerta. Esta posición se seleccionó con base en la experiencia de las mediciones efectuadas en laboratorio (E. Campero et al., 1990) según la norma ANSI/AHAM HRF-1-1988, en las que se encontró que la temperatura promedio del compartimento

de comida fresca era muy cercana ($\pm 1^\circ\text{C}$) a la registrada en un termómetro colocado en la posición mencionada. El termómetro exterior se colocó sobre la puerta junto con las hojas de registro donde se anotaron las temperaturas interior y ambiente tres veces al día. El kilowatt-horímetro y el reloj eléctrico, que registra el tiempo transcurrido en aperturas, se colocaron en un panel donde se conectó el refrigerador y sus lecturas se anotaron una vez al día.

Por último se solicitó a los usuarios que pusieran una marca cada vez que abrieran el refrigerador y que anotaran las observaciones que consideraran importantes. La posición del control manual del termostato no se cambió durante todo el tiempo que duró el experimento.

El trabajo de registro de las mediciones requirió de un entrenamiento a las familias de los usuarios para que lo realizaran de la manera más cuidadosa posible. Además se hicieron análisis periódicos en busca de posibles contradicciones. Se conversó con las personas que aceptaron realizar este experimento a fin de que, en lo posible, no modificaran sus hábitos con respecto al uso del refrigerador. En este trabajo se reportan las mediciones de siete refrigeradores en los que se logró obtener información de por lo menos dos meses.

Las observaciones más frecuentes expresadas por los usuarios fueron: cantidad de escarcha en el congelador, indicaciones sobre el contenido del refrigerador, días en los que se descongeló el refrigerador e introducción de alimentos a temperaturas ambiente o mayores. En algunos casos se consiguió información del mismo aparato en condiciones diferentes del nivel de escarcha en el congelador o porcentaje de carga.

Tabla 1. Información concentrada para refrigerador marca IEM modelo 9001, de 7 ft³ con el congelador y compartimento de comida fresca en el mismo gabinete y deshielo manual.

MES	Temp. Interior Promedio °C	Temp. Ext. Promedio °C	Promedio Aperturas		Promedio diario kWh
			Duración seg.	Cantidad/día	
Febrero	4.66	18.5	10.6	14	0.856
Marzo	4.9	19.6	15	13	0.901
Abril	6.8	21.8	15.5	16.5	0.992
Mayo	7.7	22.4	12.7	15.5	1.008
Junio	6.7	21.6	13.5	15.2	0.975

Tabla 2. Información concentrada para refrigerador marca General Electric de 10 ft³ con el congelador y compartimento de comida fresca en el mismo gabinete y deshielo manual.

MES	Temp Interior Promedio °C	Temp Ext Promedio °C	Promedio Aperturas		Promedio diario kWh
			Duración seg.	Cantidad/día	
Febrero	0.4	17.6	16.2	15.8	1.068
Marzo	0.9	18	16.6	13.8	1.068
Abril	1.1	20.4	21.4	10.6	1.159
Mayo	1.4	21.2	25.8	10.9	1.183

Tabla 3. Información concentrada para refrigerador marca Mitsubishi de 7 ft³ con el congelador (hasta -30°C) en gabinete separado del compartimiento de comida fresca y deshielo automático.

MES	Temp. Interior Promedio °C	Temp. Ext. Promedio °C	Promedio Aperturas		Promedio diario kWh
			Duración seg.	Cantidad/día	
Febrero	7	20.4	12.7	29	2.55
Marzo	7.9	20.9	13.7	26.3	2.54
Abril	7.8	23	15.5	30.1	2.81
Mayo	7.6	25.9	16.1	29.3	2.98
Junio	7.4	25.9	13.9	29	2.8

Tabla 4. Información concentrada para refrigerador marca Mabe de 7 ft³ con el congelador y compartimiento de comida fresca en el mismo gabinete y deshielo manual (sello de la puerta defectuoso).

MES	Temp. Interior Promedio °C	Temp. Ext. Promedio °C	Promedio Aperturas		Promedio diario kWh
			Duración seg.	Cantidad/día	
Abril	4.8	22.1	n. d.	12.4	0.999
Mayo	5.2	26	n. d.	12.2	1.095
Junio	4.3	27.1	n. d.	9.2	0.968
Julio	4.1	25.7	n. d.	10.5	0.982

n. d. no disponible

Tabla 5. Información concentrada para refrigerador marca Bendix Automatic modelo 15MXD de 9 ft³ con el congelador (hasta -25°C) en gabinete separado del compartimiento de comida fresca y deshielo automático.

MES	Temp. Interior Promedio °C	Temp. Ext. Promedio °C	Promedio Aperturas		Promedio diario kWh
			Duración seg.	Cantidad/día	
Febrero	10.3	19	37.7	12.6	2.58
Marzo	9.3	17.3	40.5	11.1	2.53
Abril	9.9	19.3	57.2	7.5	2.75
Mayo	11.3	21.9	n.d.	13	2.71

Tabla 6. Información concentrada para refrigerador marca Sears Kenmore modelo 7133 de 9 ft³ con el congelador (hasta -30°C) en gabinete separado del compartimiento de comida fresca.

MES	Temp. Interior Promedio °C	Temp. Ext. Promedio °C	Promedio Aperturas		Promedio diario kWh
			Duración seg.	Cantidad/día	
Abril	8.8	22.1	19	21.7	2
Mayo	9.7	23.5	10	16.7	1.98

Tabla 7. Información concentrada para refrigerador marca IEM modelo de 9 ft³ con el congelador y compartimiento de comida fresca en el mismo gabinete y deshielo manual.

MES	Temp. Interior Promedio °C	Temp. Ext. Promedio °C	Promedio Aperturas		Promedio diario kWh
			Duración seg.	Cantidad/día	
Febrero	5.8	18.7	23.2	26.8	1.068
Marzo	8.1	19.4	40	15.8	1.048
Abril	6.1	20.9	53.7	15.5	1.353
Mayo	n.d.	21.4	23.6	19.6	1.183

Tabla 8. Consumo promedio diario en kWh para los cinco días de temperatura ambiente más alta y más baja y para los cinco días de consumo más alto y más bajo. El % del consumo total se obtuvo comparando las mediciones para los refrigeradores con el medidor general en cada casa.

Identificación	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Consumo Máximo	Consumo Mínimo	% del Consumo Total
Tabla 1	1.4	0.8	1.48	0.56	18
Tabla 2	1.34	1	1.51	0.75	31.3
Tabla 3	3.06	2.27	3.84	1.73	36
Tabla 4	1.11	0.7	1.65	0.44	29
Tabla 5	2.63	1.93	3.72	1.56	n.d.
Tabla 6	2.12	1.8	2.28	1.7	40

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

En la información mensual promedio para cada refrigerador se dan las características más importantes de cada aparato. En estos resúmenes puede verse claramente cómo el consumo de energía responde a los cambios de temperatura ambiente. Sobre todo en las tablas 1, 2 y 7 se ve cómo el consumo promedio diario del mes más caliente es el más alto.

El refrigerador de la Tabla 4 tiene un desempeño diferente a los demás, muy probablemente debido a que el sello de la puerta estaba en mal estado.

Resulta interesante observar las diferencias en duración promedio y cantidad de aperturas diarias que hace cada familia. Se puede decir que la duración normal de una apertura es entre 15 y 20 segundos. Al respecto del efecto que tienen sobre el consumo, Grimes, J.W. (1977) presenta la siguiente conclusión: aperturas de 10 segundos a intervalos de 8 minutos representan entre un 5 y 7% del consumo. En los refrigeradores reportados, algunas de las aperturas son más prolongadas, aunque no son tan frecuentes, y el tiempo acumulado en un día siempre es menor a 10 minutos. Este no es el caso de los días en que se desconectó el refrigerador para quitar la escarcha depositada en el congelador.

En la Tabla 8, donde aparece el promedio de los cinco consumos más altos de cada refrigerador, puede observarse que éstos son mayores que los obtenidos al considerar los cinco días de temperatura ambiente más alta. Lo mismo sucede con los promedios de los consumos más

bajos, ya que resultan menores que aquellos de los cinco días de temperaturas más bajas.

Esto permite concluir que existen parámetros relacionados con el uso que influyen en el consumo. Sin embargo, no parece ser que este efecto se deba al tiempo acumulado por aperturas. Probablemente la causa más importante para los días en los que el consumo es más alto sea el aumento de la temperatura interior, ya sea por que se hayan introducido alimentos calientes o porque se haya dejado abierta la puerta durante el proceso de eliminación de la escarcha. En las pruebas de laboratorio se encontró que un refrigerador cuya temperatura interior sea igual a la ambiente y ésta sea de 32°C requiere, dependiendo del tipo de refrigerador, de entre 2 y 3 horas de funcionamiento continuo para llegar a una temperatura aceptable (entre 1 y 5°C) en el compartimiento de comida fresca.

En relación con la formación de escarcha en las paredes del congelador se observó que no había un aumento apreciable en el consumo de energía, sin embargo sí pudo notarse que la temperatura interior del refrigerador se incrementaba. La probable explicación puede encontrarse en el hecho de que el sensor del termostato está ubicado en la pared del congelador.

Del análisis de la información más detallada se desprende que el consumo de energía es muy parecido para aquellos días que tienen una temperatura ambiente similar, aunque tengan diferencias en la cantidad y duración de las aperturas.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con las pruebas llevadas a cabo para este trabajo y las reportadas en la literatura (E. Campero, 1990 y Grimes, J.W., 1977 entre otros) la temperatura ambiente es el parámetro que más influencia tiene sobre el consumo de energía de refrigeradores domésticos.

Las aperturas de puerta consideradas normales —de 15 a 20 segundos de duración sin acumular más de 10 minutos diarios— no tiene una influencia importante en el consumo de energía, sobre todo cuando el refrigerador tiene suficientemente ocupado su volumen, ya que la inercia térmica de los alimentos mantiene la temperatura interior aunque escape el aire frío. En caso de que el refrigerador esté semi-vacío el aire a temperatura ambiente llenará el volumen disponible y tendrá que ser enfriado.

Resulta importante mencionar aquí que las pruebas realizadas con muy poca carga en el refrigerador al igual que las reportadas en las pruebas de laboratorio muestran que el consumo de energía no disminuye con respecto al registrado con el 75% de la carga. De aquí se desprende la necesidad de hacer una buena selección del tamaño del refrigerador requerido por la familia.

También puede observarse que el menor consumo mensual registrado en un refrigerador se acerca a 30 kWh, por lo que los usuarios menores están próximos a sobrepasar la tarifa correspondiente a consumos hasta de 50 kWh.

Las recomendaciones que se pueden hacer a los usuarios son las siguientes:

- a) Hacer un análisis minucioso del refrigerador que se va a comprar considerando que el consumo de energía mensual va representar del 30 al 40% del consumo total sin importar si está lleno o vacío.
- b) Mantener en buen estado el refrigerador: principalmente vigilar los sellos de la puerta o puertas y mantenerlo limpio (aspirar cada seis meses el radiador trasero).
- c) Mantener el refrigerador fuera de los rayos del sol y alejado de fuentes de calor que aumenten la temperatura externa (estufas y hornos).
- d) No introducir al refrigerador alimentos u objetos calientes que aumenten la temperatura interior o envases no herméticos.
- f) Procurar contar con un termómetro para conocer la temperatura del compartimento de comida fresca.

A los fabricantes será necesario solicitarles que:

- a) Estudien las necesidades reales de la población del país a fin de definir adecuadamente las características y el diseño de los refrigeradores.

b) Proporcionen información completa sobre las especificaciones del aparato incluyendo el consumo de energía.

c) Mejoren los controles de temperatura de los refrigeradores y la calidad de los aislamientos.

REFERENCIAS

Campero, E., Monroy, G. y Sosa, L. 1990 "Medición del Consumo de Energía de Refrigeradores Domésticos". Memoria del XI Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía, pp. 353-357, Noviembre de 1990.

Grimes, J.W., Mulroy, P.E. y Shomaker, B.L. 1977 "Effect of Usage Conditions on Household Refrigerator-Freezer and Freezer Energy Consumption." ASHRAE Trans Vol.83 Part 1 pp 818-828, 1977.

Kranzberg, M. 1967. Historia de la Tecnología, la Técnica en Occidente de la Prehistoria a 1900, Ed. Gustavo Gili.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores desean reconocer el trabajo de todas las familias que colaboraron en el experimento: Vargas, Campero, Ortiz, Moss, Páramo, Zubieta, Martínez y González. También reconocen el apoyo financiero de la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica de la SEP y del Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico. A Octavio Vasto agradecen su asesoría en el procesamiento de la información.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial data. This includes not only sales and purchases but also expenses and income. The document provides a detailed list of items that should be tracked, such as inventory levels, accounts payable, and accounts receivable. It also outlines the procedures for recording these transactions, including the use of double-entry bookkeeping to ensure that the books are balanced.

The second part of the document focuses on the analysis of the financial data. It explains how to calculate key financial ratios and metrics, such as the gross profit margin, operating profit margin, and return on investment. These calculations are essential for understanding the company's financial performance and identifying areas for improvement. The document also discusses the importance of comparing the company's performance to industry benchmarks and providing a clear explanation of the reasons for any variances.

The final part of the document covers the preparation of financial statements. It provides a step-by-step guide to creating the income statement, balance sheet, and cash flow statement. It also discusses the importance of providing a clear and concise explanation of the results and the underlying trends. The document concludes by emphasizing the need for transparency and accountability in financial reporting and the role of the management team in ensuring the accuracy and reliability of the information.

ENERGIA Y SOCIEDAD

M. DEL MAR AGUILAR A., TRISTAN ESPARZA I.

DEPTO. DE INGENIERIA DE PROCESOS E HIDRAULICA
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA- IZTAPALAPA
AV. MICHOACAN Y PURISIMA S/N COL. VICENTINA
C.P. 09340 APDO. POSTAL 55-534 MEXICO, D.F.

RESUMEN

En la historia contemporánea de la humanidad, los recursos energéticos han venido cobrando cada vez mayor importancia. En particular, el petróleo es un elemento que, por su gran importancia en el desarrollo económico de las naciones, es capaz de desequilibrar al mundo cada vez que sucede algo en torno a él. En este trabajo se exponen los acontecimientos nacionales e internacionales que, en relación con los recursos energéticos, han tenido mayores efectos sobre el desarrollo económico y social en México.

En la actualidad, tal vez no hay en el mundo temas de mayor relevancia y trascendencia como los de la Deuda Externa y los recursos energéticos (el Petróleo). Estos dos elementos, pilares de la economía mundial, afectan tanto a los países industrializados como a los países en vías de industrialización. Desde hace muchos años prácticamente no pasa un solo día sin que sepamos por los medios de comunicación alguna noticia en relación a estos temas. Y esto sucede en todo el mundo. El conflicto actual del Golfo Pérsico no es más que una muestra de la importancia de la relación de estos factores. No en vano el mundo financiero internacional se mueve alrededor de ellos; cada vez que ocurre algo en relación al petróleo las bolsas de valores de todo el mundo reaccionan en consecuencia.

En particular, la historia contemporánea nacional se ha visto determinada por estos dos elementos que guardan una estrecha relación. Por un lado, desde que México es independiente, la existencia de la deuda externa fue motivo de presiones internacionales que vulneraban la soberanía nacional, esta situación ha permanecido de manera constante hasta nuestros días. Por otro lado, el petróleo, principal fuente energética mundial, se consolidó desde principios de siglo como uno de los soportes fundamentales de la economía mexicana. Por algunos años el petróleo representó hasta el 75% de las exportaciones nacionales y en la actualidad, además de ser el elemento que permite al país cumplir con sus compromisos financieros, representa el producto más

codiciado en la elaboración de un Acuerdo de Libre Comercio con los Estados Unidos. El que el petróleo mexicano se incluya en este acuerdo resulta inquietante para muchos pero, para comprender esta inquietud, es necesario buscar en el pasado las causas y argumentos que fundamentan tal alarma. Es necesario hacer un recuento de los problemas que México enfrentó para recuperar el control de la industria básica de nuestra economía, principal fuente de ingresos para afrontar las obligaciones generadas por el servicio de la deuda externa moderna. Por esta razón, a continuación se exponen los acontecimientos nacionales e internacionales que, en relación con los recursos energéticos, han tenido mayores efectos sobre el desarrollo económico y social en México.

En el plano nacional, desde principios de este siglo el petróleo ha jugado siempre un papel fundamental en el desarrollo económico y social. La gran importancia de los recursos energéticos fósiles fue reconocida por los gobiernos postrevolucionarios que se dedicaron, en mayor o menor medida, a intentar rescatar un parcial dominio de la explotación petrolera, (concedida por Porfirio Díaz a las compañías extranjeras), así como a rescatar una proporción razonable de los beneficios que esta industria generaba. A pesar de ello, la actitud intransigente de las compañías petroleras extranjeras y la presión internacional a la que México se hallaba sometido, (pues muchas naciones se negaban a reconocer el gobierno revolucionario), habían logrado casi siempre estar efectividad a todo intento emprendido por los gobiernos para regular la actividad petro-

lera bajo leyes mexicanas. En 1917, Carranza promulgó el dominio directo y absoluto de la nación sobre los hidrocarburos del subsuelo. Asimismo, determinó que el único autorizado para otorgar concesiones y permisos de exploración y explotación sería el Estado. Desgraciadamente, estos preceptos no pudieron ser llevados a la práctica con todo su rigor, debido a las diversas presiones diplomáticas, políticas y económicas que, por iniciativa de las compañías petroleras, México tuvo que afrontar (1). Veinte años más tarde, el detonador de los sucesos que dieron paso a la expropiación petrolera fue el conflicto que tuvo lugar entre el sindicato de trabajadores petroleros, recién fundado en 1936, y las compañías petroleras. El 1 de Noviembre de 1936, el sindicato petrolero presentó a las compañías un proyecto de contrato colectivo en el cual se demandaba un aumento salarial, además de toda una serie de prestaciones relacionadas con vacaciones, vivienda, servicios médicos, etc. La petición de los trabajadores se traducía en un aumento de 65 millones de pesos, que las compañías se negaron a otorgar. Las negociaciones quedaron rotas y el sindicato se declaró en huelga en mayo de 1937. El conflicto se puso a juicio de la Junta de Conciliación y Arbitraje quien falló en favor del sindicato petrolero condenando a las compañías a aumentar salarios y prestaciones en aproximadamente 26 millones de pesos, además de pagar los correspondientes salarios caídos. Las compañías incurrieron una vez más en rebeldía y, a pesar de que el mismo Cárdenas había intentado mediar el conflicto, se negaron a acatar las disposiciones de los tribunales mexicanos. Por esta razón, el 18 de marzo de 1938 se declaró oficialmente la expropiación de la industria petrolera, terminando así con un largo período de abusivo e irresponsable saqueo del petróleo de México. Sólo hasta ese momento las compañías intentaron pactar de acuerdo con el fallo de la Junta de Conciliación, pero el paso definitivo estaba dado y esta vez el gobierno no habría de retractarse. A partir de entonces México enfrentó severas presiones internacionales, pero su industria petrolera quedó fuera del control de los consorcios extranjeros. Frecuentemente se ha afirmado que la expropiación fue una decisión tomada en el gabinete en el último minuto, pero no puede negarse que las circunstancias políticas y la coyuntura internacional (la 2a. guerra mundial) se presentaron favorables a la expropiación. Una vez consumada la expropiación, el gobierno mexicano tuvo que enfrentar una crítica situación política y económica. Las predicciones del fracaso de la industria petrolera nacionalizada eran múltiples, pero el gobierno mexicano no estaba dispuesto a dar marcha atrás. Los gobiernos de E.U. y Gran Bretaña no tardaron en presentar las amenazas usuales dis-

frazadas de diplomacia, y las presiones económicas y políticas a las que se vio sometido nuestro país fueron las siguientes: el retiro masivo de capitales en los bancos con la consecuente devaluación de nuestra moneda; el despliegue de una impresionante campaña de descrédito en contra del gobierno para crear desconfianza hacia nuestro país en el ámbito internacional; se intentó provocar conflictos laborales dentro de la recién creada PEMEX para desestabilizar internamente al país, las compañías petroleras financiaron o intentaron financiar movimientos de subversión, se suspendieron las compras de la plata mexicana por parte del gobierno norteamericano y se decretó un boicot en contra de la empresa mexicana y sus productos, siendo ésta la sanción aplicada con mayor rigor. México, entonces, no podía exportar su petróleo ni contaba con refacciones para su industria, no podía conseguir los elementos básicos para la refinación y tampoco poseía una red de transporte que le permitiera trasladar su producto. La situación económica nacional se tornó de desesperada. No obstante, la coyuntura internacional favoreció una vez más a nuestro país. El estallido de la segunda guerra mundial era inminente y México, al no poder colocar su petróleo, tuvo que acudir al único mercado que no le cerró las puertas: el de las potencias del Eje (Alemania, Italia y Japón), únicas dispuestas a comprar nuestro petróleo a un precio 50% más bajo de su cotización mundial. Obviamente, esta situación no convenía al Departamento de Estado norteamericano que inmediatamente flexibilizó su actitud hacia nuestro país y exigió a las compañías petroleras que llegaran a un arreglo en cuanto a la indemnización de sus instalaciones, logrando con esto que México se adhiriera de manera incondicional al grupo aliado e interrumpiera tratos con las potencias nazifascistas. Entre 1940 y 1941, México acordó indemnizar a las compañías norteamericanas por aproximadamente 32 millones de dólares. El arreglo del conflicto petrolero se convirtió en una cuestión política más que financiera. Políticamente, E.U. consideraba que estos arriesgos con México redundarían en orientar favorablemente la disposición del resto de los países latinoamericanos a unirse con el grupo aliado. El acuerdo logrado en 1941 abrió la puerta a una etapa de fuerte impulso económico para México, las inversiones de capital extranjero volvieron a fluir en nuestro país y la economía de guerra aplicada en Estados Unidos estimuló la nuestra. El acuerdo provocó un clima favorable entre los Estados Unidos y México. El gobierno mexicano aprovechó este período de buena relación, en el que la situación internacional en duda le favorecía para liquidar todo lo a unto financiero pendientes con su vecino del nor-

te. El 5 de noviembre de 1942 se firmó el convenio Suárez-Lamont, mediante el cual se negoció definitivamente el pago de la "vicija deuda directa" del gobierno mexicano, y se obtuvo para el país las mayores concesiones jamás antes obtenidas por México en materia de renegociación. Mediante este acuerdo nuestro país redujo el monto adeudado en un 90% en relación al adeudo original; los tenedores de bonos mexicanos habían aceptado sacrificar sus intereses vencidos a fin de obtener algún pago sobre los títulos cuya cotización en el mercado era bajísima. De un total adeudado de aproximadamente 509 millones de dólares, México sólo pagó 49.5 millones.

Además de los factores político-militares que favorecieron las negociaciones de 1941-42, hay que señalar en materia financiera el hecho de que la reducción del valor efectivo de la deuda mexicana ya se había llevado a cabo en el mercado, por lo que los tenedores de bonos reconocieron, finalmente, la necesidad de hacer un ajuste para reducir el monto de las deudas y permitir el acuerdo de un servicio que, por primera vez en la historia, estuviera dentro de la verdadera capacidad de pago del gobierno de México.

En síntesis, la resolución final del conflicto petrolero y del pago del servicio de la deuda externa se debió a la conjunción de diversos factores militares, políticos y financieros. No cabe duda que la Segunda Guerra Mundial propició la coyuntura que México necesitaba para negociar desde una posición más ventajosa su salida de la crisis política y económica que se produjo a partir de la recuperación de los recursos energéticos del país.

El segundo acontecimiento importante ocurrió en el plano internacional, a principios de la década de los setentas, cuando el mundo entero se convulsión ante la amenaza de un abastecimiento petrolero insuficiente. La crisis de 1973 (provocada por el inicio de la guerra de Israel con algunos países árabes y por el surgimiento de un rumor de escasez petrolera hacia fines de la última década del siglo), manifestó de manera contundente el carácter estratégico del petróleo como palanca de la economía mundial. La cuadruplicación de los precios del petróleo (de menos de 3 USD/barril a casi 12USD/barril) produjo una gran urgencia en los países industrializados por la búsqueda de energéticos alternativos y de programas encaminados hacia el uso racional y conservativo de la energía. Para comprender la importancia de este suceso basta mencionar que en 1973, por ejemplo, Estados Unidos importaba el 45.5% del petróleo que consumía; Alemania el 95.8%; Japón el 99.7%; Inglaterra el 99.9%; Italia el 99.3% y Francia el 99% (2). En estos países (con excepción de Inglaterra que descubriría yacimientos petroleros en el mar

del norte) el alto costo del energético afectó severamente a sus economías. Por su parte, los países en vías de industrialización y no productores de petróleo, se encontraron ante una crisis aún más severa, pues los países industrializados trasladaron el alza de los precios a sus exportaciones de manufacturas y de tecnología.

Desde sus inicios, tanto los programas de conservación y uso eficiente como los de desarrollo de fuentes no convencionales de energía, tomaron dos rumbos diferentes: Por un lado, los países industrializados, bajo la premisa de abatir su dependencia del petróleo, destinaron grandes cantidades de recursos económicos y humanos para cumplir con este propósito, y adecuaron en un año los marcos jurídicos que normarían la transición energética. El éxito de las nuevas tecnologías energéticas, entre las que destacó la nuclear por estar vinculada directamente con la industria de la guerra, no se hizo esperar. Las nuevas tecnologías energéticas (nuclear, solar, eólica, biomasa, microhidráulica, etc) alcanzaron en pocos años niveles cercanos a la competitividad tecnológica pero no económica. Sin embargo, el descubrimiento de grandes yacimientos petroleros en todo el mundo, la culminación del conflicto armado en Medio Oriente y la sobreproducción de petróleo por parte de los países miembros de la OPEP provocaron la estabilización de los precios del petróleo y desalentaron la comercialización masiva de las nuevas tecnologías energéticas.

Por otro lado, como consecuencia de la debilidad de sus economías y de su deficiente infraestructura científico-tecnológica, en los países en vías de industrialización se identificó a las fuentes no convencionales de energía tan sólo con la solar, eólica, biomasa y microhidráulica, todas ellas orientadas a su utilización en el medio rural. En un contexto de bajo desarrollo tecnológico, la utilización de estas fuentes se planteó a través de instalaciones de muy pequeña escala y con un enfoque técnico denominado tecnología adecuada, que proponía la construcción de sistemas energéticos muy simples y el uso de materiales locales de bajo costo. El efecto de estas tecnologías en los mercados energéticos locales fue prácticamente nulo (excepto Brasil, con el alcohol carburante, y en China y Filipinas, con la biomasa).

Es un hecho que durante la década de los setentas el factor económico fue, y sigue siendo actualmente, la causa fundamental que impidió la diseminación de las tecnologías que hacen uso de las fuentes no convencionales de energía. Aún en los países industrializados, mientras el precio de los hidrocarburos se siga manteniendo bajo, muy pocos estarán dispuestos

a pagar los mayores costos de los energéticos no convencionales. En realidad, en un contexto de recursos fósiles baratos, los únicos factores que podrían favorecer el desarrollo de fuentes no convencionales de energía sería el peligro del agotamiento de los hidrocarburos y, en menor medida, el peligro de un deterioro profundo del medio ambiente.

En síntesis, los recursos energéticos no convencionales no tienen ninguna posibilidad de influir actualmente en el proceso económico mundial, y su irrupción en la vida social tendrá que esperar todavía algunos años.

Otro suceso importante que afectó al mercado energético mundial fue la revolución iraní de 1979, año en el que la demanda energética mundial tuvo su nivel más alto. En 1979 el mundo demandó energía primaria (petróleo, gas natural, carbón, hidroelectricidad y fusión nuclear) por un total equivalente a 120 millones de barriles de petróleo por día, de los cuales 80 mbd fueron suplidos por petróleo y gas natural. Con el triunfo de la revolución islámica iraní, la producción en ese país se abatió en 5.0 mbd, por lo que el precio del petróleo se disparó a 42 U.S.D. en menos de una semana. En esos días estuvo a punto de desatarse la 3a. Guerra Mundial pero Arabia Saudita, al aumentar su producción petrolera de 8.5 a 11 mbd, evitó la invasión multinacional y llenó sus arcas de divisas. Sin embargo, la producción saudiarabe no duró mucho tiempo en ese nivel (por problemas técnicos) y tuvo que disminuir su producción a 9.5 mbd. Debido a los altos costos de petróleo, nuevamente se alentaron en el mundo industrializado programas de uso eficiente y ahorro de energía que, junto con los descubrimientos de nuevos yacimientos de hidrocarburos y la guerra de sobreproducción en que cayeron los miembros de la OPEP, llevaron en 1984 la demanda mundial de hidrocarburos a niveles inferiores a los de 1979. En 1984 el mercado internacional de hidrocarburos tenía un sobrante de 17 mbd, 54% de la capacidad total de la OPEP.

Aunado a profundas diferencias políticas, económicas, religiosas, étnicas, fronterizas y dinásticas, la sobreproducción de la OPEP ha sido el problema más grave del Medio Oriente que influye y determina la economía mundial. La guerra de precios y producción que se desató desde entonces, propiciada por las grandes compañías petroleras, ha producido enormes diferencias políticas entre los países árabes y ha conducido al mundo a un nuevo conflicto internacional.

En un contexto de disolución de la bipolaridad surgida de la segunda guerra mundial, y de recesión económica en el país más poderoso de la tierra, los recursos energéticos vuelven mostrar, de manera contundente, su carácter estraté-

gico en el desarrollo de la economía internacional. La guerra actual en el Golfo Pérsico es efectivamente, como muchos la han llamado, la guerra del petróleo. Los siguientes datos resultan muy ilustrativos: "Los países de la OPEP (con daños de 692 mil millones de barriles MMB), o sea el 74% de las reservas mundiales de petróleo (935 MMB). Dentro de estos países se destaca el grupo de los países árabes (AOPEP) matriculados en el cartel (Arabia Saudita, Omán, Kuwait, Dhufai, Abu Ahabi, Bahrein, Qatar e Irak); estos poseen 495 MMB, equivalentes a 53% de las reservas mundiales, lo cual lo hace dueño de casi tres cuarta parte de las reservas de la OPEP. De ahí el dominio que ejercen los países árabes sobre el consorcio. Esta supremacía reviste particular importancia, pero lo que reclama aún mayor significado geopolítico es el hecho de que una élite de estos países, los que se extienden sobre la margen meridional del Golfo Pérsico, son dueños absolutos de 438 MMB, es decir, de 47% de las reservas mundiales de petróleo (86% de las de la OPEP) ... Así, sobre la margen del Golfo se acumula, de un lado, el 47% de las reservas mundiales, y del otro un 10% adicional. Por sus aguas fluyen actualmente más de 10 millones de barriles por día (hacia Japón 60%, hacia Europa 40%), en su mayor parte producidos bajo contratos de servicios con compañías norteamericanas y europeas. Tal concentración de reservas 57% del total mundial, hacen de la zona el asiento de un enorme poder económico y geopolítico" (3). El resto de las reservas petroleras mundiales se encuentran distribuidas de la siguiente manera: en el Hemisferio Occidental que incluye a países de América Latina, el Caribe, E.U. y Canadá el 17.1%; en las economías socialistas incluida la URSS, China y Europa Oriental, el 9.3%, Europa Occidental 2% y el 6.3% restante está en África (4). De los datos, no es difícil entender el porqué los E.U. consideran el control de la zona del Golfo Pérsico como un asunto de prioridad nacional.

Los efectos de la guerra del Golfo Pérsico sobre la economía mundial aún son impredecibles, pero por lo pronto, ante la invasión de IRAK a KUWAIT, el gobierno norteamericano no ha ocultado su gran interés por el petróleo mexicano. Esto ha quedado muy claro en las declaraciones norteamericanas sobre la posibilidad de un acuerdo de libre comercio (ALC) entre México y E.U. El contexto económico en que se desarrollará el mencionado acuerdo es el siguiente: En la actualidad, las nuevas tendencias de desarrollo económico mundial están forzando a todos los países a integrarse a los recién formados bloques económicos internacionales. No obstante, la integración a estos bloques no es cosa fácil. Los diferentes países se encuentran en la necesidad de adecuar sus proyectos

de desarrollo económico a las exigencias y necesidades que dicha integración les impone, pero las agudas crisis económicas en que se encuentran, provocadas por el monto de su deuda externa, se destacan como el problema principal para lograr tal integración. Dado que la deuda externa es impagable, los países acreedores han comprendido la necesidad de otorgar condiciones más flexibles y favorables que se adecúen a la verdadera capacidad de pago de los países deudores, mediante lo cual resuelven un problema que también es suyo. Debido al cambio que actualmente han sufrido las políticas económicas internacionales, el actual gobierno de México ha implementado un modelo de desarrollo económico adecuado a las nuevas circunstancias. En realidad, México constituye el país donde los centros financieros internacionales están llevando a cabo el ensayo para resolver el agobiante problema de la deuda externa mundial. En este sentido, México se ha convertido en el modelo a seguir por el resto de los países latinoamericanos para resolver sus crisis económicas.

Como se mencionó con anterioridad, para entender los riesgos a los que México habrá de enfrentarse con la implementación de su proyecto de desarrollo económico deben revisarse las experiencias del pasado. La resolución del conflicto petrolero en 1941 y la renegociación de la deuda externa en 1942, abrieron las perspectivas de desarrollo económico para México. No obstante, por diversas causas que van desde políticas de desarrollo desequilibrado de los diferentes sectores productivos por ejemplo, el abandono total del sector agropecuario hasta administraciones en extremo corruptas, el crecimiento económico esperado no se consolidó. Los gobiernos posteriores a la renegociación de 1942 se estuvieron dentro de sus políticas una marcada tendencia nacionalista e implementaron políticas de desarrollo sumamente proteccionistas. Esta era la tendencia económica mundial de aquel entonces. El actual modelo mexicano de desarrollo económico requirió, como condición necesaria para su implementación, la renegociación de la deuda externa. En febrero de 1990, se firmó un acuerdo con representantes de 585 instituciones bancarias mediante el cual México obtuvo la reducción de aproximadamente 30% del adeudo original en condiciones favorables para su servicio. Se afirma que éste es el convenio más ventajoso que México ha logrado en su historia. Sin embargo, el convenio de 1942 supera con mucho lo logrado en 1990 puesto que la reducción de capital e intereses alcanzada en ese entonces fue del 90%. Es importante volver a destacar los factores que posibilitaron este hecho: la segunda guerra mundial orilló a Estados Unidos a buscar alianzas

económico-militares con México para la defensa de su frontera sur y de la zona del Canal de Panamá. Igualmente, Estados Unidos estaba interesado en resolver sus conflictos pendientes con México puesto que, en su opinión, la adhesión de nuestro país al grupo aliado orientaría al resto de Latinoamérica a pronunciarse contra los países del eje. No es posible sostener que Estados Unidos tuviera interés en obtener petróleo de nuestro país, pero sí es irrefutable el hecho de que era necesario solucionar el conflicto petrolero para probar la veracidad de la política de 'Buen Vecino' promovida por el presidente Roosevelt y crear un clima propicio para favorecer la consecución de los demás acuerdos políticos en los que nuestro vecino del norte tenía interés. En ambos convenios, el de 1942 y el de 1990, encontramos una actitud similar por parte de los acreedores, quienes prefirieron conceder quitas significativas antes que arriesgarse a perder el total de sus intereses en caso de que México declarara una moratoria en los pagos. Por otra parte, si en 1942 existió una coyuntura internacional que favoreció a México para lograr una renegociación ventajosa, actualmente, en 1990, también existe una coyuntura internacional que orienta la búsqueda de negociaciones adecuadas para deudores y acreedores. Esta coyuntura es la importancia de crear bloques económicos regionales que en el futuro cercano serán los que controlen las relaciones comerciales a nivel mundial. En este sentido, la comunidad europea y la cuenca del Pacífico ya han tomado la delantera. Además, es pertinente apuntar que en 1942, la resolución del conflicto petrolero influyó decisivamente en la modificación del clima propicio para obtener una negociación favorable de la deuda externa mexicana. El acuerdo de indemnización a los monopolios extranjeros consolidó de manera definitiva la expropiación y el control absoluto de la Nación sobre los recursos petroleros. Ya desde antes de la resolución del conflicto, el petróleo era uno de los ejes fundamentales de desarrollo de la economía nacional y continuó siéndolo. Con el control absoluto de su industria petrolera y siendo considerado nuevamente sujeto de crédito en el ámbito internacional, México recibió de nuevo una derrama de capital extranjero que impulsó la industrialización y el desarrollo económico experimentado en los cincuenta y los sesentas. Desafortunadamente, los sectores productivos del país crecieron desequilibradamente y el petróleo se situó como el producto principal del que dependía la economía nacional. México se integró al mercado internacional como país monoexportador de materias primas. El boom petrolero experimentado en los años setenta no dio paso al crecimiento y desarrollo esperado en nuestro país. Al comprobarse la existencia de ma-

vores vaciamientos petrolíferos a nivel mundial y disminuir el nivel de la demanda mundial, el preciado elemento sufrió una drástica caída en sus precios. La enorme deuda externa contraída durante el boom petrolero impactó intensamente nuestra economía y sumió a México en una de sus peores crisis económicas. En este suceso son tan culpables los gobernantes nacionales que invirtieron los empréstitos ex terno de manera errónea (sin contar los altos niveles de corrupción de los dirigentes del estado), como los bancos acreedores que, de manera irresponsable, colacionaron en los mercados internacionales de dinero las grandes sumas que habían captado los países petroleros ricos. Para desdichadamente, el petróleo, elemento que le brindó al país la posibilidad de independencia económica y social, se convirtió después en el factor que sumió a la nación en la más terrible dependencia económica de su historia.

Actualmente, una vez que México ha renegociado nuevamente su adeudo exterior, el petróleo sigue siendo el elemento fundamental del desarrollo económico del país.

Para llegar a la renegociación de la deuda en febrero de 1990, el gobierno tuvo que adecuar su proyecto económico a los criterios neoliberales del mercado internacional: apertura a la inversión extranjera, apertura comercial, adelgazamiento de las inversiones estatales en las actividades productivas, etc.

Sin el cumplimiento de los criterios neoliberales, la renegociación de la deuda en 1990 hubiera sido imposible. Si bien esta línea, el siguiente paso será necesariamente la integración de México a un tratado de libre comercio con E.U. De nada serviría a la nación invitar a la inversión extranjera si posteriormente no existe la seguridad de un mercado donde colocar sus productos. En este sentido, el ALC es un hecho con un día. No obstante, nos resta conocer los términos en que se firmará el acuerdo. Aunque los demás altos funcionarios del gobierno de la república, incluido el presidente, han firmado en múltiples ocasiones que el petróleo (producto fundamental de la economía mexicana) no entrará en el acuerdo, parece ser una realidad que los E.U. no pueden tener mayor interés por ningún otro producto nacional como por el petróleo, y más aún en la coyuntura de la crisis del Golfo Pérsico. El control de las reservas internacionales de petróleo se ha convertido para los E.U. en asunto de prioridad nacional. El mismo presidente de Estados Unidos, George Bush, ha declarado que los norteamericanos están muy interesados en la participación conjunta en la explotación y explotación de los hidrocarburos mexicanos. Por su parte, el vicepresidente corporativo de la IIL de Canadá y di-

rector del Comité del Comercio Internacional de la Asociación Manufacturera Canadiense, Roland P. Jaggan, subraya que el petróleo mexicano necesariamente estará en la negociación con Estados Unidos, aunque el gobierno del país hasta ahora haya dicho que no¹⁵. Para este funcionario, la inclusión del petróleo en el ALC es inevitable porque éste es un artículo como cualquier otro y representa un elemento fuerte para la negociación. Es importante destacar que aunque la industria petrolera nacional requiere de capital fresco para llevar a cabo proyectos de inversión que le den mayor vitalidad (mismos que no ha podido poner en marcha por el excesivo servicio de la deuda externa), la experiencia que México tiene en cuanto a participación extranjera en la industria petrolera ha sido muy mala y hay que tomar en cuenta las enseñanzas del pasado.

Aunque el ALC representa para México el acceso al cambio estructural que tanto necesita (la diversificación del aparato productivo) el gobierno mexicano no ante sí un gran reto. El mayor responsable tiene que buscar la manera de incluir el petróleo en el ALC de una forma que no resulte lesiva para la economía nacional pero sí atractiva para el capital extranjero.

En resumen, toda la posibilidad de autonomía económica que se logró con la solución del conflicto petrolero de 1941 y la renegociación de la deuda externa de 1942, se disolvió con el nuevo endeudamiento que se produjo a partir de la caída de los precios y, en la actualidad, no estamos lejos de regresar a una situación de dependencia, cuando menos en parte, el producto más valioso de la nación: el petróleo.

NOTAS

1. Agustín A. María del Mar, *Deuda externa y Petróleo de los gobiernos post revolucionarios* (La Ciénega, edición de 1942, tesis de licenciatura), Universidad Autónoma Metropolitana, México, 1990, pp. 79.
2. Colmenares Francisco, *Petróleo y Estructura de clases en México 1861-1992* (ediciones del caballero, México, 1992, pp. 14).
3. Colombia: Recursos Energéticos - *Unveiling the Oil of Los Andes*, 1989, pp. 78.
4. *Diario La Jornada*, 20 de mayo de 1991, pp. 17.
5. *Ibid.*, 9 de diciembre de 1990, pp. 27.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agustín A. María del Mar, *Deuda externa y Petróleo de los gobiernos post revolucionarios* (La Ciénega, edición de 1942, tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana).

- litana, México 1990,
2. - Colmenares Francisco; Petróleo y Lucha de Clases en México 1864-1982 ediciones el Caballito, México 1982.
 3. - Colombia Recursos Energéticos; Universidad de los Andes, 1989.

the 1990s, the number of people with a mental health problem has increased in the UK, and the number of people with a mental health problem who are in contact with mental health services has also increased (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007).

There is a growing emphasis on the need to improve the quality of care for people with a mental health problem (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007). This has led to a number of initiatives to improve the quality of care for people with a mental health problem (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007).

One of the key initiatives is the development of a national framework for the care of people with a mental health problem (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007). This framework sets out the principles and standards for the care of people with a mental health problem (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007).

Another key initiative is the development of a national framework for the training of mental health professionals (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007). This framework sets out the standards for the training of mental health professionals (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007).

A third key initiative is the development of a national framework for the funding of mental health services (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007). This framework sets out the standards for the funding of mental health services (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007).

These initiatives are all part of a broader effort to improve the quality of care for people with a mental health problem (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007). This effort is being led by the Department of Health (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007).

The Department of Health is also working to improve the quality of care for people with a mental health problem (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007). This is being done through a number of initiatives (Mental Health Act 1983, 1990, 1994, 1997, 2003, 2007).

EL RENDIMIENTO EXERGETICO COMO CRITERIO DE EFICIENCIA EN PROCESOS INDUSTRIALES

Augusto Sanchez Cifuentes

Nicolas Kemper Valverde

Facultad de Ingeniería, UNAM
Dpto. Fluidos y Térmica
C.P. 04510
México D.F.

Universidad Nacional del Sur
Facultad de Ingeniería
Avenida 10, Chibote
Peru

RESUMEN

En el presente trabajo se propone la aplicación del concepto de exergía al análisis de la operación de procesos industriales desde el punto de vista del rendimiento del uso de las diferentes formas de energía. Se busca mejorar el rendimiento de procesos existentes o como criterio de diseño de nuevos procesos más eficientes desde el punto de vista del ahorro y conservación de energía.

1. INTRODUCCION

Para obtener información exacta del comportamiento real de instalaciones, materiales, operaciones y procesos unitarios de un proceso industrial, es necesario saber las características cualitativas de las diferentes formas de energía que participan en el proceso bajo análisis, así como sus transformaciones. El método usual para establecer el rendimiento de procesos y operaciones, energéticas y para elaborar balances de energía no siempre toma en cuenta los valores de utilización de las diferentes formas de energía, mismas que se diferencian desde un punto de vista cualitativo. Este hecho constituye la mayor desventaja del procedimiento basado únicamente en la primera ley de la Termodinámica. El tratamiento no diferenciado de las diversas formas de energía presenta serios inconvenientes: rendimientos definidos o calculados bajo condiciones ideales, el rendimiento de algunos equipos, procesos, materiales (aun cuando, algunas veces, estos son partes de la misma instalación o proceso global) no pueden ser comparados, considerarse como pérdidas a la energía no transformada e implícitamente la parcial o total ocultación de las pérdidas verdaderas.

El análisis del rendimiento de un proceso energético o del balance de energía cuyos resultados al especificar el carácter conservativo de la energía solamente desde el punto de vista cuantitativo, brinda conclusiones incorrec-

tas respecto a la naturaleza real de las pérdidas. Por lo tanto, las soluciones prácticas para mejorar este proceso particular son también incompletas. Tales inconvenientes pueden ser obviados solamente por la aplicación simultánea de la segunda ley de la termodinámica, cuyas medidas reportan los balances de energía y exergía, así como, establecen los rendimientos energéticos y el grado de irreversibilidad del proceso examinado. Por lo mismo, la definición generalmente aceptada de la energía de un sistema como la capacidad del sistema para realizar trabajo mecánico cuando pasa de un estado dado a un estado de referencia, no diferencia las cualidades peculiares de las diferentes formas de energía.

Como función de la naturaleza de los cambios de estado, hay diferentes formas de energía, tales como energía mecánica, eléctrica, magnética, química, e interna. Algunas cambian en otra íntegramente (energía mecánica, eléctrica, magnética), mientras otras, como la energía interna no pueden cambiar completamente en otras formas de energía. Esta propiedad cualitativa específica agrupa las diferentes formas de energía en dos categorías de calidad: energía regular y energía irregular. En la primera categoría todos los componentes del sistema se mueven en la misma dirección y en el mismo sentido según la transformación, mientras que en la otra categoría, algunos componentes del sistema se mueven en direc-

ciones y sentidos diferentes de la dirección y sentido seguido por el proceso

2 MARCO GENERAL DEL CONCEPTO DE ENERGIA

La aplicación simultánea de la primera y segunda ley de la termodinámica requiere que las diferentes formas de energía sean agrupadas de acuerdo con su capacidad ideal de transformación en trabajo mecánico. De este modo se forma un grupo de magnitudes que facilita el análisis cualitativo y cuantitativo de los procesos energéticos. Para la aplicación de este criterio, las diferentes formas de energía caen en tres categorías.

(a) Formas de energía completamente transformables en otra o con una capacidad ilimitada de transformación (energías eléctrica, mecánica, magnética). Son energías no caracterizadas por la entropía, por ello su grado de transformación es el mismo.

(b) Formas de energías parcialmente transformables en otra o con una limitada capacidad de transformación (energía interna). Son energías con diferentes grados de transformación.

(c) Formas de energía no transformables o con capacidad cero de transformación (energía ambiental o anergia). Son energías con grado de transformación nulo.

Para estas tres categorías de energía, las leyes termodinámicas han sido formuladas considerando sus posibilidades de transformación, las cuales al tomar en cuenta el carácter restrictivo de la segunda ley cuando es impuesta a las transformaciones de energía se tiene:

(i) Una forma de energía con una ilimitada capacidad de transformación puede cambiar en otra forma de energía con capacidad ilimitada de transformación (grado de transformación es el mismo).

(ii) Una forma de energía con una capacidad limitada de transformación no puede, bajo cualquier circunstancia, cambiar completamente en una forma de energía con capacidad ilimitada de transformación, aun en caso de procesos reversibles (diferentes grados de transformación).

(iii) La capacidad de transformación de la energía permanece invariable en caso de procesos reversibles (grado de transformación es el mismo).

(iv) La capacidad de transformación de la energía se reduce en procesos irreversibles.

(v) En procesos irreversibles, una forma de energía con capacidad ilimitada de transformación cambia a una forma con una capacidad limitada de transformación y, por último a una forma con capacidad cero de transformación.

Tomando en cuenta el estado del sistema, la forma de energía, el grado de mejora del proceso, y el estado del medio ambiente la energía puede ser definida como la energía máxima que, para un estado dado del medio ambiente que le rodea, bajo condiciones de total reversibilidad, puede cambiar en otra forma de energía. Así, en el máximo trabajo mecánico que se puede obtener de cualquier flujo de energía. Similarmente la energía se define como la energía que, aun bajo condiciones de total reversibilidad de los procesos, no puede, sin cambiarse, transformarse en otra forma de energía.

El concepto de energía difiere esencialmente del concepto de energía. Mientras la energía caracteriza una propiedad fundamental de la materia, la energía es un concepto particular que caracteriza la transformabilidad y aprovechabilidad de la energía bajo condiciones dadas. En el caso general cualquier forma de energía puede ser considerada que el flujo está formada por dos componentes: energía y anergia. Por ello en un sistema termodinámico cerrado, la primera ley de la termodinámica para la energía asume la forma:

ET = EQ + AQ = CONSTANTE (1)

Esto indica que tanto la energía EQ, como la anergia AQ, son magnitudes conservativas.

Las leyes referentes a la capacidad de transformación de la energía tal como se define antes, pueden ser resumidas formuladas tomando en cuenta las nociones de energía y anergia:

(a) La transformación de la energía en energía es imposible.



(b) En procesos reversibles, la energía permanece constante.

EQ = CONSTANTE (2)

(c) En procesos irreversibles, la exergía se transforma parcialmente y por último a anergía:

$$E_x \longrightarrow A_q \quad (4)$$

Es recomendable usar el concepto de exergía debido a sus atributos en el análisis de procesos energéticos, pues nos permite establecer correctamente el grado de perfección del proceso al caracterizarlo desde el punto de vista de su reversibilidad, o lo que es lo mismo, estima el grado de calidad de las energías transferidas en tal proceso, reporta la naturaleza real de las pérdidas, informa sobre el trabajo obtenido de un flujo de materia o energía y lo compara con el trabajo máximo obtenible, y facilita las más prudentes o aconsejables soluciones a ser establecidas para mejorar los

3 EXERGIA Y ANERGIA EN PROCESOS INDUSTRIALES :

3.1. Exergía y anergía de un flujo de calor :

El calor como fuente irregular de energía, está constituido por exergía y anergía. La parte de energía del calor que puede efectuar trabajo mecánico bajo condiciones ideales, es llamada exergía del calor. Cuantitativamente es función del potencial termodinámico del calor, el grado de mejoras del proceso en el cual la transformación de la energía es efectuada, y del límite inferior del potencial termodinámico factible. Si hay dos fuentes de energía disponibles caracterizadas por el potencial termodinámico T y T_0 (temperatura ambiente), y si entre estas dos fuentes ocurre una transferencia de calor Q , la exergía E_x de este calor bajo condiciones ideales (totalmente reversible) está dado por :

$$E_x = (1 - T_0 / T)Q = feQ \quad (5)$$

La anergía A_q del calor Q intercambiado entre las dos fuentes de energía bajo las mismas condiciones, es la parte del calor que no cambia en trabajo mecánico (energía arrojada al ambiente) y está dado por la relación:

$$A_q = (T_0 / T)Q = (1-fe)Q = T_0 S \quad (6)$$

donde S es la entropía, T es la temperatura característica del calor transferido al ambiente, (fe) es el factor de exergía de la temperatura y muestra que la exergía depende de la temperatura del calor adicional transferido, así como de la temperatura del ambiente (T_0) .

De la ec. (5) se deduce que la temperatura del ambiente es la temperatura de referencia que divide el rango de variación del factor de exergía de la temperatura en dos significativos intervalos como se muestra en la Fig.1. Así, para procesos en frío $T < T_0$, (fe) es siempre negativo, y para $T > T_0$, este tiene valores positivos. Para $T = T_0$, (fe) es anulado. La variación de exergía y anergía del calor Q también es función de la temperatura T a la cual se da la transferencia (Fig.2).

3.2 Exergía y anergía de agentes térmicos en flujos estacionarios

Los fluidos que transportan calor o los medios entre los cuales ocurre una transferencia de calor son referidos como agentes térmicos. La exergía de un agente térmico es técnicamente el trabajo máximo ejecutado por la evolución reversible del agente térmico hasta que es llevado a equilibrio termodinámico con el ambiente, y está dado por :

$$e_x = h - h_0 - T_0 (s - s_0) \quad (7)$$

donde h y s son la entalpía y entropía del agente térmico en ese estado; h_0 y s_0 son la entalpía y entropía del agente térmico en el estado en equilibrio con el ambiente. Para la anergía se tiene:

$$a_q = h - e_x = h_0 + T_0 (s - s_0) \quad (8)$$

La ec. (7) muestra que la exergía del agente térmico se hace cero solamente cuando está en equilibrio termodinámico con el ambiente ($h=h_0$; $s=s_0$). Al mismo tiempo las ec. (7) y (8), muestran que la exergía y anergía del agente térmico dependen no solo de su estado, sino también del estado del ambiente. Esta conclusión también es válida cuando hay desperdicios de exergía (anergía).

3.3. Exergía y anergía de agentes térmicos en procesos sin flujo.

La exergía o trabajo máximo mecánico ejecutado por un agente térmico dentro de un proceso reversible sin flujo al pasar de un estado dado a un estado de equilibrio termodinámico con el ambiente, puede ser determinado por :

$$e_x = u - u_0 - T_0 (s - s_0) + p_0 (v - v_0) \quad (9)$$

y la anergía está dada por :

$$a_q = u - e_x = u_0 + T_0 (s - s_0) - p_0 (v - v_0) \quad (10)$$

donde, u, uo, s, so, v, vo, son la energía interna, entropía y volúmenes específicos del agente térmico en un estado dado y en un estado en equilibrio con el ambiente respectivamente.

3. ECUACION GENERAL DE BALANCE DE ENERGIA

Considerando el sistema termodinámico de la Fig 3, recorrido por el agente térmico que intercambia con el exterior una cantidad de calor Q, y un trabajo mecánico técnico W, podemos escribir la ecuación del balance de energía como:

$$E_2 - E_1 = (1 - T_0/T)Q - W - L_q \quad (11)$$

Lo que indica que la variación de energía depende del trabajo mecánico técnico efectuado W, de la energía del calor intercambiado durante el proceso $(1 - T_0/T)Q$, así como de la variación de energía L_q , debido a las irreversibilidades del proceso. La expresión para el trabajo mecánico intercambiado con el exterior se compone de tres factores: la energía del agente térmico, la variación de energía del calor intercambiado y la producción de energía debido a las irreversibilidades del proceso:

$$W = (E_1 - E_2) + (1 - T_0/T)Q - L_q \quad (12)$$

La transformación de energía regular en energía irregular es acompañada por una parcial conversión de energía en energía. En procesos irreversibles sucede una reducción de energía, cuya cantidad es función del grado de irreversibilidad. Puesto que la energía no puede transformarse en energía, esta porción de energía transformada en energía es tomada como energía perdida. La energía perdida siendo una función del grado de irreversibilidad del proceso, puede ser utilizada como un criterio de evaluación del grado de perfección del proceso. En el caso general, el sistema de la Fig 3, la energía perdida puede ser determinada ya sea de la ecuación del balance de la energía o de la ecuación de balance de energía. En el primer caso la ecuación general que nos permite calcular la energía perdida es:

$$L_q = (E_1 - E_2) + (1 - T_0/T)Q - W \quad (13)$$

4. EVALUACION DEL RENDIMIENTO EXERGETICO DE PROCESOS INDUSTRIALES:

El comportamiento del uso de energía en un proceso industrial es usualmente evaluado por medio de indicadores cualitativos. Cuando el proceso bajo análisis esta solamente involucrado con energía regular (mecánica, eléctrica, magnética), la eficiencia del proceso puede ser evaluada según el rendimiento energético, que en el caso general es definido como la relación de energía útil respecto a la energía consumida dentro del proceso examinado. De este modo así expuesto, el rendimiento de la energía puede usualmente ser considerada como un rendimiento global, dado por

$$\eta_{en} = E_u / E_c \quad (14)$$

donde E_u , es energía útil, o en el caso general, la suma total de todas las energías útiles dentro y fuera del sistema, pero que pueden ser usadas en forma de fuentes de energía secundaria en otros procesos. E_c es energía consumida, artificial o la introducida del exterior del sistema y de la generada dentro del proceso en cuestión.

En procesos en que se usan también energías irregulares, es decir, energías intercambiadas en forma de calor, el valor del rendimiento energético, definido por la ec (14), es influenciado artificialmente por la cantidad de energía llevada al proceso por el consumo de calor, así:

$$\eta_{en} = E_u / (E_{q1} + A_{q1}) \quad (15)$$

donde E_{q1} y A_{q1} son la energía y energía del calor consumido o introducido

En este caso, el rendimiento energético no conduce a una evaluación real del proceso bajo análisis. El rendimiento de la energía térmica de proceso, puede solamente ser correctamente expresado por el rendimiento exergetico, definido como la relación de la energía útil (E_u) respecto a la energía disponible o consumida (E_{qc}) en el proceso examinado:

$$\eta_{ex} = E_u / E_{qc} = (E_{qc} - L_q) / E_{qc} = (1 - L_q / E_{qc}) \quad (16)$$

Bajo condiciones ideales y para procesos totalmente reversibles, la energía residual es constante ($L_q=0$), y el rendimiento exergetico alcanza su valor máximo, lo cual indica que un sistema termodinámicamente perfecto es supuesto para funcionar con el 100% de rendimiento exergetico. Cualquier desviación de las condiciones ideales causa pérdidas de energía, lo que resulta en una disminución de la eficiencia del proceso. El rendimiento exergetico muestra el alcance del uso de la energía empleada, ello también revela la importancia y la dirección de los esfuerzos requeridos para mejorar

las condiciones bajo las cuales el proceso se efectúa.

Las características esenciales del análisis exergético de un proceso energético resulta de la concurrente aplicación de la primera y segunda leyes de la termodinámica. De este modo, en relación a la conservación de la energía una toma en cuenta, las capacidades de transformación de las energías con las que uno opera, las irreversibilidades de procesos y el estado del medio ambiente.

La disminución de exergía perdida permite que los costos de operación del sistema sean más bajos. En esta relación las llamadas pérdidas óptimas de exergía son establecidas definiendo previamente una base de costo total mínimo, como se muestra en la Fig.4. Por lo tanto, la solución óptima correspondiente para un escenario particular de desarrollo tecnológico no es caracterizado por la exergía perdida mínima. Esta exergía perdida óptima despliega alguna vez bajos valores como nuevas tecnologías aparecen, reduciendo así los esfuerzos tecnológicos y económicos requeridos para estructurar equipamientos e instalaciones altamente mejorados o eficientes.

5. CONCLUSIONES:

El empleo del criterio del rendimiento exergético nos permite:

- Evaluar y comparar procesos químicos, siderúrgicos, agroindustriales, etc. que usan diferentes formas de energía.
- Evaluar el rendimiento del proceso y determinar las pérdidas de energía en base a un balance de exergía.
- Distribuir racionalmente los costos energéticos en procesos complejos con energías de diferentes calidades.
- Optimizar los parámetros de operación de todo tipo de proceso industrial.
- Evaluar el grado de obsolescencia de la maquinaria y equipo del proceso.
- Fijar estándares de consumo de energía atendiendo al grado de desarrollo del equipo.
- Selección de procesos, equipos y tecnologías que aprovechen en mayor o menor grado la energía.
- Evaluar cambios o mejoras de procesos y equipos individuales y la incidencia de ello en el proceso global.
- Mejorar la competitividad del aparato productivo en base a costos reales.
- Elaborar planes y balances nacionales de energía más objetivos en fun-

ción a los usos finales de la energía.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Carabulea A., Carabogdan I. Models of Real and Optimun Energy Balances. ESPC, INC. New York, 1990
2. Ghamarian A., Cambel A B. Energy Analysis for Illinois No. 6 Coal. Energy, Vol. 7, Pergamon Press Ltd. England, 1982.
3. Bejan A. Advanced Engineering Thermodynamic. John Wiley, 1988
4. Gaggioli R., Wepeer W. Exergy Economics: I. Cost Accounting Applications II. Benefit Cost of Conservation Energy Vol. 5 Pergamon Press Ltd. England, 1980.

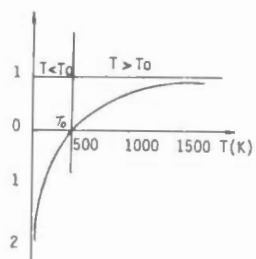


Fig. 1

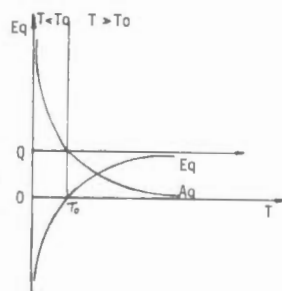


Fig. 2

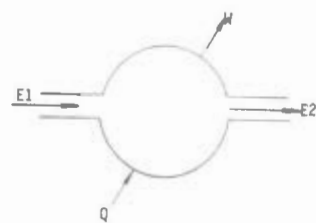


Fig. 3

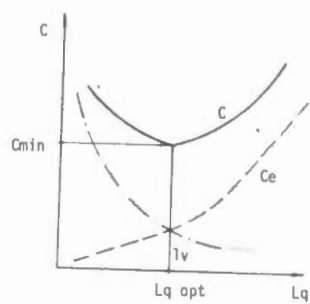


Fig. 4

CONSUMO DE ENERGIA EN CONJUNTOS HABITACIONALES.
UN CASO DE ESTUDIO

Luis Rodriguez Viqueira.

Instituto de Ingenieria, UNAM
Ciudad Universitaria
Apdo. Postal 70-472
CP 04510, COYOACAN
MEXICO D.F.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis del consumo de energía en el conjunto habitacional de interés social "Talpan Huepanco", que consta de diez edificios de veinte departamentos, se identifican los problemas para implantar un programa de ahorro y uso eficiente de la energía y se evalúa el potencial de ahorro de energía de dicho conjunto.

1. Introducción.

De acuerdo con el balance nacional de energía de 1988 [1], la estructura del consumo energético por sectores es la que se muestra en la tabla:

Tabla 1. Estructura del consumo final de energía, Mexico 1988.

Sector	% del consumo
Industrial.	36.1
Transporte.	36.1
Res. com., pub.	24.4
Agropecuario	3.4
Consumo final	746 $3 \cdot 10^{12}$ Kcal.

El consumo del sector residencial, comercial y público aumento su participación en un 1.7 puntos porcentuales con respecto al año de 1987, para alcanzar un 24.4% del consumo final de energía, lo que representó un total de $181.6 \cdot 10^{12}$ de Kcalorías. Por lo que respecta a la estructura del sector por tipo de fuente energética (tabla 2), los energéticos comerciales mas utilizados fueron el gas licuado y la electricidad con una aportación entre ambos del 44%. La leña continuo como el principal energetico (básicamente en hogares), con una participación de poco mas del 43%, proporción similar a la registrada el año anterior.

Durante 1988, el consumo del sub-

sector Residencial represento el 85.4% del sector. La distribución por tipo de fuente del subsector se muestra en la tabla 3.

Tabla 2. Estructura del sector Res. Com., y Público por tipo de fuente

Fuente	% del consumo
Leña	43.3
Gas licuado	31.5
Electricidad	12.5
Combustóleo	5.4
*Gas	4.4
Querosinas	2.7
Diesel	0.2

*gas residual y gas natural no asociado.

Tabla 3. Estructura del subsector Residencial por tipo de fuente.

Fuente	% del consumo
Leña	50.7
Gas licuado	32.4
Electricidad	8.6
*Gas y Querosinas	8.3

*gas residual y gas natural no asociado.

Considerando que en zonas urbanas prácticamente no se consume leña, en el subsector residencial el 65.7 % del consumo de energía es gas licuado y la

electricidad contribuye con el 25.5 %.

Este consumo de gas licuado del subsector residencial (50 3'10 12) representa alrededor del 72% del consumo final de gas licuado en el país. De aquí la importancia de establecer un programa de ahorro y uso eficiente de gas licuado en este subsector.

Por otra parte, en zonas urbanas las fuentes energía utilizadas por el sector residencial son gas licuado y electricidad.

Por esto se decidió tratar de identificar tanto los hábitos de consumo, como los problemas que habría para implantar un programa de ahorro y uso eficiente de la energía, así como los principales puntos de desperdicio energético en el subsector.

Para ello se eligió un conjunto habitacional de interés social de tipo dos.

2 Descripción del conjunto habitacional

El conjunto habitacional de interés se encuentra ubicado en un predio de 11,500 metros cuadrados en la delegación Tlalpan del Distrito Federal y se empezaron a habitar en febrero de 1989.

Consta de diez edificios de cinco pisos y cada edificio contiene veinte departamentos (cuatro por piso) de cuarenta y ocho metros cuadrados cada uno. Los departamentos constan de dos recámaras, un baño, cocina, sala comedor y un pequeño patio de servicio. Este tipo de casa-habitación es la que se denominaba de interés social de tipo dos.

Para hacer el análisis del consumo de energía hay que distinguir entre el consumo individual, esto es por departamento y el consumo colectivo.

Los usos finales de carácter colectivo son:

Iluminación de áreas de estacionamiento y vigilancia.

Iluminación interior (pasillo y escaleras de edificios).

bombeo de agua.

Estos consumos son únicamente de energía eléctrica.

La iluminación exterior se lleva a cabo con 12 farolas de vapor de mercurio de 400 watts cada una, colocadas a una altura promedio de 6 m, en la puerta de entrada a cada edificio en el exterior hay colocado un "spot" incandescente de 100 watts y otro en el acceso al conjunto habitacional. La elevación de agua a los tinacos se hace con una bomba de 3/4 de caballo monofásica que opera de forma automática.

La iluminación de los pasillos y escaleras se hace con cuatro focos incandescentes por piso, esto es 20 focos por edificio o bien 200 focos en

el conjunto habitacional.

Los usos finales de carácter individual, esto es por departamentos son:

Iluminación (electricidad)

Electrodomesticos (electricidad y en algunos casos gas licuado debido a que las lavadoras utilizan agua caliente).

Calentamiento de agua (gas licuado)

Cocción de alimentos (gas licuado)

Debe remarcar en este punto que todos los departamentos cuentan con el mismo calentador de agua (38 lbs, eficiencia mínima 65%, quemador 6800 cal/hora, recuperación de 25 a 50°C en 25 minutos) y el 80% de ellos con la misma estufa (IEM, cuatro hornillas, horno y parrilla).

3 Consumo de energía colectiva

Durante el período de abril-agosto de 1989 el consumo promedio diario para bombeo de agua e iluminación de exteriores y edificios fue de 240 KWh. Con una ocupación del 70% de los departamentos.

En el período de octubre-noviembre de 1990 el consumo promedio diario para el mismo uso final se redujo a 174 KWh, estando ocupado cerca del 95% de los departamentos.

En teoría al aumentar la ocupación del conjunto, se debería de haber consumido una mayor cantidad de energía en el bombeo de agua al incrementarse la población. Las causas de esta disminución en este consumo son:

Se realambro el sistema de iluminación interior. Esto es, en lugar de un interruptor general para encender los pasillos y escaleras se añadió otro interruptor para que las luces de los pasillos puedan apagarse en un 50% a horas que no son necesarias.

Se estableció un horario de encendido y apagado de luces. La iluminación exterior permanece encendida un promedio de 11 hrs al día, así como el 50% de las luces en los interiores.

El otro 50% de las luces de pasillos permanecen encendidas un promedio de 4 hrs al día.

Se pusieron todo los focos de los pasillos de 25 watts pero incandescentes.

A partir de las 1 PM se corta la corriente a las bombas de agua y a las 6 AM se vuelven a conectar. Esta medida tuvo un efecto colateral sirvió para detectar fugas de agua en los departamentos.

Al realambros se detectaron departamentos interconectados al sistema de iluminación común que fueron desconectados.

La razón para tomar estas medidas fue que la administración del conjunto

hizo una más estimación de la cuota de cuota de mantenimiento y gastos comunes, destinada al pago de energía eléctrica, y cuando procedo mediante para disminuir el consumo, como que instalar interruptores de tiempo en las escaleras las reacciones fueron inicialmente:

. La mayor parte de amas de casa se niegan a que las escaleras estén apagadas totalmente en la noche.

. La mayoría de los condóminos no están dispuestos a pagar cuotas adicionales de mantenimiento y argumentaron que era problema de la administración el haber estimado mal. Además que en forma alguna ven beneficio económico.

Lo anterior no permite en forma alguna tratar de implantar medidas de ahorro energético. Aun cuando en este rubro existen medidas simples ya que el potencial de ahorro es de alrededor de un 20%, simplemente substituyendo los focos incandescentes por fluorescentes a medida que se tienen que ir reponiendo. La razón es que no se ve bonito.

4. Consumo de energía por departamento.

Se dispone de información para los los 200 departamentos de su consumo de gas licuado y electricidad durante 1990. En las figuras 1 y 2 se muestran los consumos promedios anuales de uno de los edificios tanto para gas licuado como electricidad. Como puede observarse los consumos promedio anuales varían considerablemente. No se ha encontrado ninguna relación entre los niveles de consumo y el número de habitantes. La razón aparente de esto pueden ser los hábitos de consumo de cada persona y cada familia. Sin embargo no es la única razón, para ilustrarlo y a manera de ejemplo en la figuras 3 se muestra el consumo promedio diario de gas de tres departamentos habitados por una persona y en la figura 4 el consumo de gas de una pareja con un menor de la misma edad.

Comparando las figuras 1 y 2 se destaca lo siguiente:

Los departamento 202 y 403 no tienen medidor de gas.

El departamento 302 está deshabitado.

El departamento 401 estaba conectado al servicio común de energía eléctrica.

En la figura 3 se puede observar perfectamente un exceso de consumo en el departamento 302. Las razones de este consumo de gas en la instalación que va del medidor a la entrada del departamento. Sin embargo se han detectado en algunos consumos excesivos el mal calibrado de los medidores.

Es práctica común en este conjunto

habitacional, que cuando un condómino considera que su consumo de gas es muy elevado, proteste y la administración del conjunto, encargada de medir y cobrar el gas, para evitar problemas establezca el cobro como una cuota fija en función del número de personas que habitan o bien cuando el consumo es muy bajo se le incremente el cobro a la misma cuota fija por habitante, sin que exista mayor protesta, o bien, que ambas partes argumenten que no sirve el medidor. Esta práctica permite al administrador establecer un mecanismo de compensación y no perder dinero.

Por otra parte si se observa la estructura de gastos fijos de cada departamento (tabla 1), el costo de la energía representa sólo el 7%, por lo que al usuario no le representa un beneficio inmediato el implantar alguna medida de ahorro.

Tabla 1. Estructura de gastos fijos del depto B4-302 (agosto 90).'

	% del total
Costo del depto.	76.3
Mantenimiento	16.8
Gas licuado	4.3
Electricidad	2.6
Total en pesos	380,000

5. Conclusiones.

Se tiene monitoreado un conjunto habitacional con respecto a su consumo energético.

Se han detectado que el consumo de energía depende principalmente de los hábitos del usuario final.

Se han detectado problemas de desperdicio de energía por instalaciones defectuosas.

Mientras los costos de la energía sigan muy por debajo de los gastos fijos de una familia, se requerirá de un programa intensivo de concientización. Además se está intentando establecer para el mayor número de departamentos el gasto que tienen por gasolina para transportarse.

Se continúa con el ejercicio para tratar de detectar si hay comportamientos estacionales en el consumo de energía.

Se están haciendo encuestas para determinar el uso final de la energía por departamento.

6. Referencias.

- [1] Balance Nacional de Energía 1988. SEMIP. México 1989.
- [2] Blumstein C., Krieg B., Schipper L., Overcoming Social and Institutional barriers to energy conservation.. Energy Vol 5 pp 355-371.. 1980.

Figura 1 CONSUMO PROMEDIO DIARIO DE

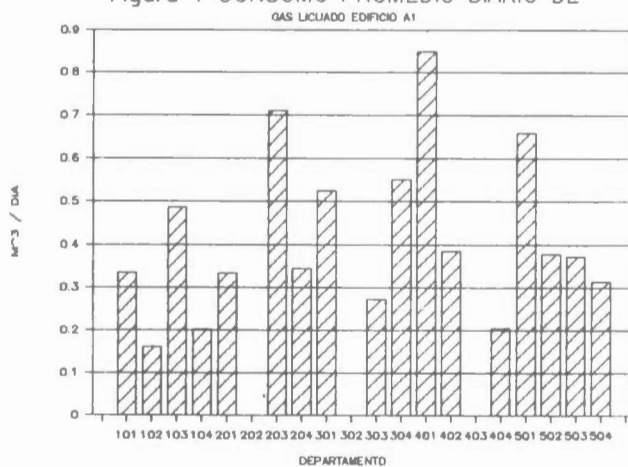


Figura 2. CONSUMO PROMEDIO DIARIO DE

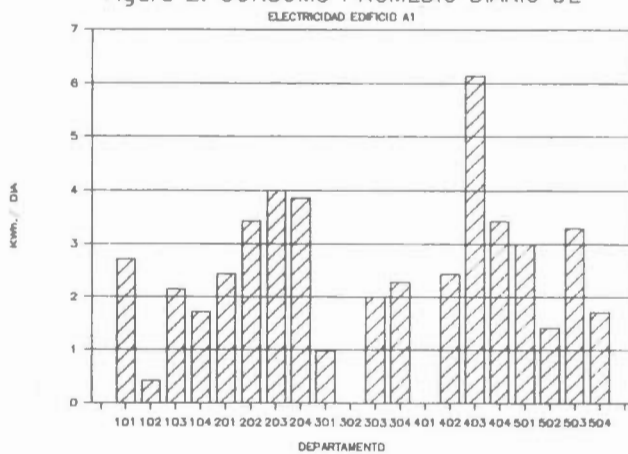


Figura 3. CONSUMO PROMEDIO DIARIO DE
GAS LICUADO (1 PERSONA).

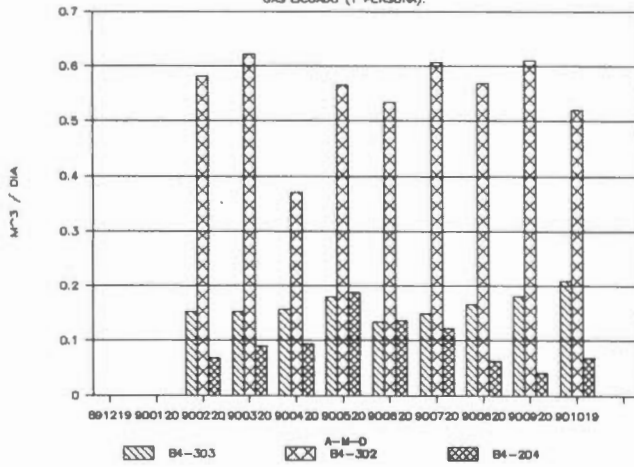
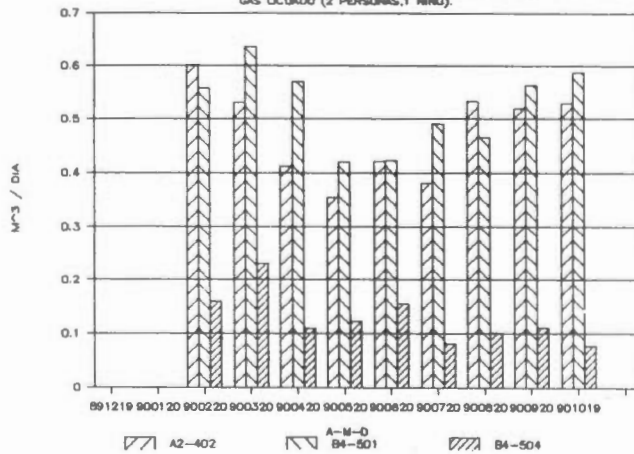
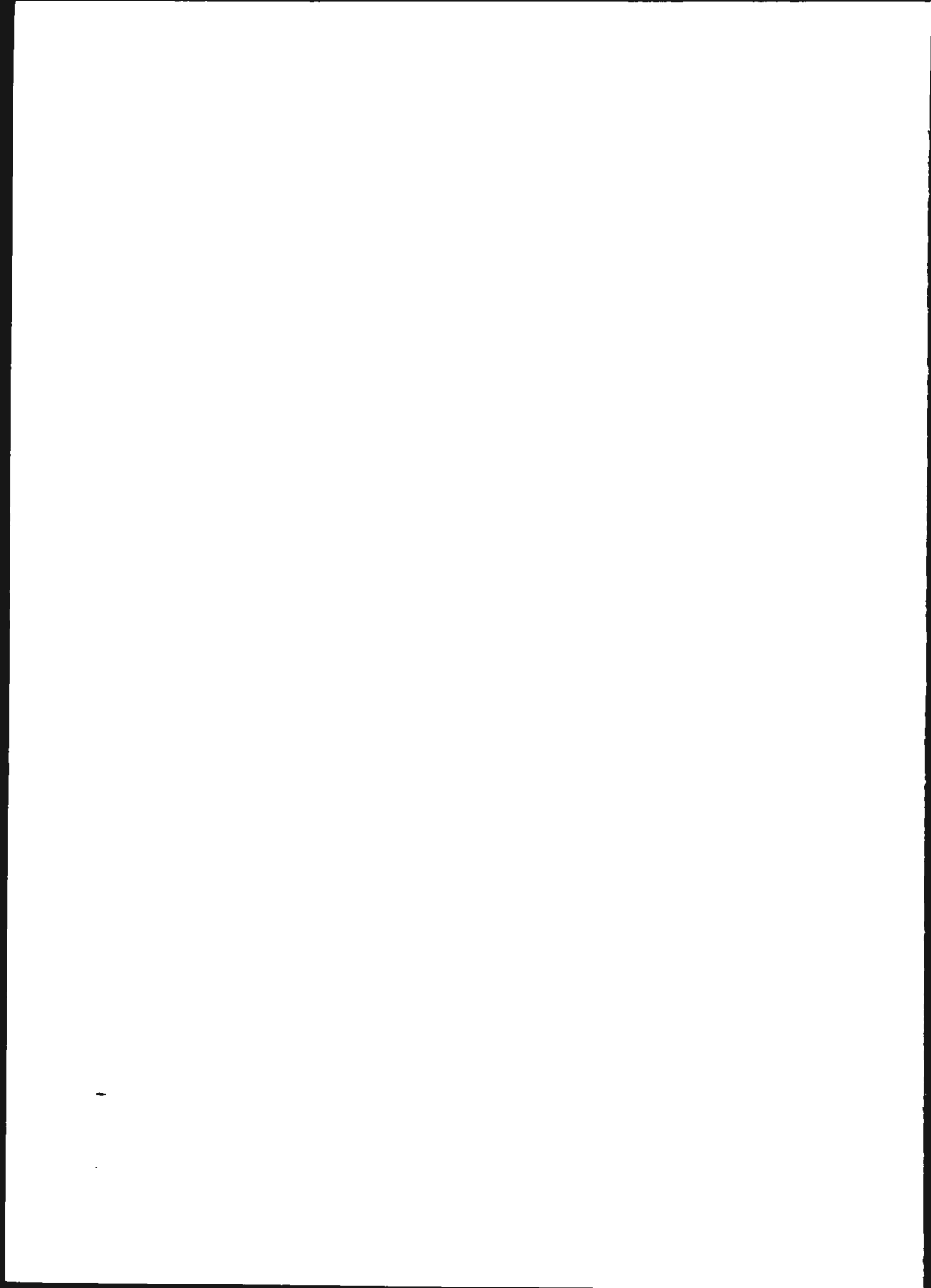


Figura 4. CONSUMO PROMEDIO DIARIO DE
GAS LICUADO (2 PERSONAS, 1 NIÑO).





PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE GAS NATURAL Y OTRAS MEZCLAS

Pedro Alonso Dávila

Centro de Investigación y Estudios de Posgrado
 Facultad de Ciencias Químicas
 Universidad Autónoma de San Luis Potosí
 Av. Dr. Manuel Nava # 6, San Luis Potosí

Se describe aquí como se puede usar el principio de los estados correspondientes para la predicción de densidades, equilibrio líquido-vapor y propiedades termodinámicas de gas natural y otras mezclas de gas. El modelo puede predecir densidades de gas natural licuado con una desviación menor al 0.1% y para gas licuado del petróleo dentro del 0.2%, también predice las propiedades termodinámicas y el equilibrio de fases con un error que en general no excede al error experimental.

1. INTRODUCCION

El gas natural licuado ha alcanzado una gran importancia en el mercado mundial de energía, debido a que es un combustible relativamente abundante y limpio, se puede emplear como fuente de energía o como materia prima para la obtención de productos petroquímicos.

Datos confiables sobre propiedades termodinámicas de gas natural licuado, gas licuado de petróleo, y otras mezclas son importantes para alcanzar una utilización más efectiva de todas las operaciones con estos gases, como licuefacción, separación de mezclas, almacenamiento, y transporte.

La importancia económica de disponer de datos confiables de propiedades termodinámicas de gas natural licuado se demuestra claramente en el caso de demanda y su influencia en el precio de compra y venta de gas natural.

La densidad del gas natural licuado es necesario para determinar su valor calorífico y por lo tanto su valor comercial.

2. DESARROLLO

En su forma más simple el principio de los estados correspondientes fue establecido por van der Waals, al considerar el principio de continuidad de las fases líquida y vapor, y demostró que en el punto crítico

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0 \quad (1)$$

Estas relaciones llevaron a van der Waals al resultado general de que V , T y P existen como una función universal

$$f(V/V_c, T/T_c, P/P_c) \quad (2)$$

que es válida para todos los miembros de un determinado conjunto de sustancias. El resultado importante de esto es el siguiente: si una ecuación de estado para un fluido puro se escribe en variables reducidas (V/V_c , T/T_c , P/P_c), entonces la ecuación será válida también para cualquier otro fluido. Esta formulación es la base de las conocidas gráficas generalizadas de compresibilidad de Hougen y Watson.

La ecuación (2) se puede escribir en otra forma equivalente

$$Z = f(T/T_c, P/P_c) \quad (3)$$

aquí Z es el factor de compresibilidad. Esta ecuación constituye la forma más simple del principio de los estados correspondientes y requiere solo dos parámetros para su aplicación.

Hay dos limitaciones para esta forma del principio de los estados correspondientes; primero, la función f o Z , tiene la misma forma solo para conjuntos restringidos de sustancias, por ejemplo: gases nobles. Segundo, está limitado solo a sustancias puras.

Se han propuesto dos tipos de métodos para vencer esas dificultades. El primero corresponde a la perturbación de

una propiedad termodinámica (configuracional) con respecto a un fluido de referencia esférico (fluido simple). La justificación teórica para esta perturbación se debe a Pitzer¹ quien demostró que la compresibilidad Z de un fluido a una temperatura y presión reducidas (T_r , P_r) es igual a la suma de la compresibilidad $Z^{(0)}$ de un fluido simple como referencia y una desviación $\omega Z^{(1)}$ que es proporcional al factor acéntrico ω de la sustancia α . De este modo

$$Z[T_r, P_r] = Z^{(0)}[T_r, P_r] + \omega Z^{(1)}[T_r, P_r] \quad (4)$$

es una expresión del principio de los estados correspondientes de tres parámetros, extendido a un conjunto de sustancias más amplio.

El segundo tipo de métodos considera una perturbación de las variables reducidas T_r y V_r (o P_r) por medio de los factores de forma de Leach, Chappellear y Leland^{2,4}. Estos factores son parámetros dependientes de la temperatura que multiplican a las propiedades críticas de un fluido para obtener así las variables reducidas adecuadas. El presente modelo fue derivado de la mecánica estadística por Rowlinson⁵ y Rowlinson y Watson⁶. Este método será el que consideremos aquí.

2.1 ESTADOS CORRESPONDIENTES

Definiremos, que dos sustancias puras están en estados correspondientes por medio de un par de ecuaciones que relacionan dos funciones adimensionales de las propiedades configuracionales^{3,6}. Si la presión y temperatura se seleccionan como variables independientes, las dos ecuaciones serán

$$Z_\alpha[F, T] = Z \left[\frac{Fh}{RT} \frac{1 + \epsilon_\alpha}{\omega_\alpha}, \frac{T}{T_\alpha} \right] \quad (5)$$

$$G_\alpha[F, T] = f \left[\frac{Ph}{RT} \frac{1 + \epsilon_\alpha}{\omega_\alpha}, \frac{T}{T_\alpha} \right] - RT \ln \left(\frac{P_\alpha}{P} \right) \quad (6)$$

G_α es la energía libre de Gibbs configuracional de α puro a la presión P y temperatura T . G_α^0 lo es de la sustancia de referencia α , que es de naturaleza similar a α , a una presión y temperatura reducidas

$$P_h = \frac{P_\alpha \omega_\alpha}{\omega_\alpha} \frac{1 + \epsilon_\alpha}{\omega_\alpha}, \quad T = T_\alpha$$

Z_α es el factor de compresibilidad de α puro y Z_0 lo es del componente α puro.

Para que el principio de los estados correspondientes definido de esta forma tenga aplicación práctica, debe de ser posible desarrollar una correlación generalizada para $f_{\alpha,0}$ y $h_{\alpha,0}$, que nos permita tenderlo a sustancias puras cuyos

propiedades sean desconocidas. Esto puede hacerse para sustancias no polares y no asociantes que tengan ecuaciones de estado reducidas similares (no idénticas).

Los factores de escala $f_{\alpha,0}$ y $h_{\alpha,0}$ son funciones débiles de temperatura y volumen y sus valores serán siempre próximos al cociente de las constantes críticas. Las desviaciones entre estos valores puede incorporarse en los factores de forma ϵ_α y λ_α , desarrollados por Leach^{3,4}; en los son funciones de temperatura y volumen reducidos. Así, tendremos que

$$f_{\alpha,0} = (T_\alpha/T_c)^\lambda \phi_{\alpha,0}(V_r, T_r) \quad (7a)$$

$$h_{\alpha,0} = (V_\alpha/V_c)^\lambda \psi_{\alpha,0}(V_r, T_r) \quad (7b)$$

donde $V_r = V/V_c$, $T_r = T/T_c$.

Otras propiedades termodinámicas se calcularán de las ecuaciones (5) y (6) por medio de relaciones bien conocidas de la termodinámica clásica.

Por ejemplo si recordamos que $GL[F] = RT \ln \phi[F, T] + RT \ln \phi[F, T]$ donde ϕ es el coeficiente de fugacidad y k es la constante de Boltzmann, entonces podemos reescribir la ecuación (2) en términos de los coeficientes de fugacidad $\phi[T, F] = \phi[T_0, P_0]$ (8)

En la extensión del principio de los estados correspondientes a mezclas es necesario seleccionar un modelo para la mezcla, es decir, definir como puede describirse esta en termino de las propiedades de sus componentes puros.

El modelo de mezclado seleccionado para extender el principio de los estados correspondientes a mezclas, es la aproximación de van der Waals de un fluido (Leland et al.)^{7,8}, en trabajos de otros autores^{7,10,11} se demostró que la aproximación de dos fluidos en general no es más segura que la de un fluido. En esta aproximación se asume que la energía libre de Gibbs configuracional de la mezcla después de la substitución del término de mezclado ideal es igual a la de una sustancia "pura" equivalente. Esta sustancia será diferente para cada mezcla y se la denotará por el subíndice α . Sus propiedades se calcularán a partir de las propiedades de la sustancia de referencia α . La energía libre de Gibbs configuracional de la mezcla G_m es

$$G_m[P, T, \alpha] = G_\alpha[F, T, \alpha] + RT \sum_{\alpha} z_\alpha \ln z_\alpha \quad (9a)$$

$$G_\alpha[F, T, \alpha] = f_\alpha G_\alpha^0[F_\alpha^0, T_\alpha^0, \alpha] + RT \ln \left(\frac{P_\alpha}{P} \right) \quad (9b)$$

y además

$$Z_m[F, T, \alpha] = Z_\alpha[F, T, \alpha] = Z \left[F_\alpha^0, T_\alpha^0, \alpha \right] \quad (10)$$

G_α^0 es la energía libre de Gibbs configuracional

racional de la sustancia de referencia a la temperatura $T_0 = T/f_x$ y presión $P_0 = P\beta_{hx}/f_x$, se calcula de propiedades P-V-T (Ecuación de Estado) de la sustancia de referencia α . De la misma manera, Z_0 es el factor de compresibilidad de la sustancia de referencia a P_0 y T_0 .

De acuerdo a la aproximación de van der Waals de un fluido, los parámetros de reducción son:

$$h_x = \sum \sum x_{\alpha} x_{\beta} h_{\alpha\beta} \quad (11a)$$

$$f_x h_x = \sum \sum x_{\alpha} x_{\beta} f_{\alpha\beta} h_{\alpha\beta} \quad (11b)$$

donde α y β son componentes de la mezcla ($\alpha \neq \beta$). Los términos cruzados (interacción binaria) son

$$f_{\alpha\beta,0} = \xi_{\alpha\beta} (f_{\alpha\alpha,0} f_{\beta\beta,0})^{1/2} \quad (12a)$$

$$h_{\alpha\beta,0} = \eta_{\alpha\beta} \left(\frac{1}{2} h_{\alpha\alpha,0}^{1/3} + \frac{1}{2} h_{\beta\beta,0}^{1/3} \right) \quad (12b)$$

$$f_{\alpha\beta,0} = \frac{T^c \alpha_{\beta}}{T^c_0} \theta_{\alpha\beta,0} \left[\frac{V\theta_{\alpha\beta,0}}{V^c_0} \frac{T\theta_{\alpha\beta,0}}{T^c_0} \frac{1}{f_x} \right] \quad (13a)$$

$$h_{\alpha\beta,0} = \frac{V^c \alpha_{\beta}}{V^c_0} \theta_{\alpha\beta,0} \left[\frac{V\theta_{\alpha\beta,0}}{V^c_0} \frac{T\theta_{\alpha\beta,0}}{T^c_0} \frac{1}{f_x} \right] \quad (13a)$$

Las ecuaciones (12) y (13) representan, a nivel microscópico, la interacción entre moléculas diferentes. Los parámetros de interacción binaria ξ y η tienen valores cercanos a la unidad y cuando se determinan de datos experimentales de sistemas binarios, producen la mejor predicción, tanto de densidades en fase líquida como de equilibrio líquido-vapor. Mollerup¹⁰⁻¹³ determinó los valores de ξ y η para quince diferentes sustancias; los componentes encontrados en gas natural, gas del petróleo, etc.. En Mollerup¹³ se encuentran los parámetros empleados aquí.

La constante de equilibrio $K = y/x$ se calcula de la energía libre de Gibbs residual del componente β en la mezcla como

$$RT \ln K_{\beta} = G_{\beta, \text{liquido}}^{\text{res}} - G_{\beta, \text{vapor}}^{\text{res}} \quad (14)$$

donde G_{β}^{res} en un contexto molecular se expresa como

$$G_{\beta}^{\text{res}} = G_x + \frac{\partial G_x}{\partial x_{\beta}} - \sum x_{\alpha} \frac{\partial G_x}{\partial x_{\alpha}} - RT \ln P/kT \quad (15)$$

donde G_x de la ecuación (9b) puede ser expresada como

$$G_x = \int \sum G_{\alpha}^{\text{res}} + RT \ln P/kT \quad (16)$$

y G_{α}^{res} es la energía libre de Gibbs residual de la sustancia de referencia a la temperatura $T_0 = T/f_x$ y la presión $P_0 = P h_x / f_x$. La energía libre de Gibbs residual se define como

$$G_0[T_0, P_0] = RT_0 \int_0^{P_0} \frac{Z_0 - 1}{P_0} dP \quad (17)$$

y se calcula de datos P-V-T de la sustancia de referencia α .

La derivada parcial de G_x con respecto a x_{α} se calcula de (9b) dando como resultado

$$\frac{\partial G_x}{\partial x_{\alpha}} = U_0 \left[\frac{\partial f_x}{\partial x_{\alpha}} \right] + (Z_0 - 1) RT_0 \frac{f_x}{h_x} \left[\frac{\partial h_x}{\partial x_{\alpha}} \right] \quad (18)$$

U_0 es la energía interna configuracional de la sustancia de referencia a la temperatura T_0 presión P_0 .

Las derivadas de f_x y h_x son calculadas de las ecuaciones (11a) y (11b) junto con las expresiones para los factores de forma (12a) y (12b). Detalles del cálculo se puede ver en Mollerup¹³.

La entalpía residual de la mezcla, $H^{\text{res},m}$ es la entalpía configuracional menos la entalpía del gas ideal equivalente

$H^{\text{res},m} = H^m - RT = U^m + PV^m - RT$ puede ser calculada de acuerdo a la expresión

$$\frac{H^{\text{res},m}}{RT} = \frac{U_0}{RT_0} \left[1 - T_0 \left[\frac{\partial f_x}{\partial T} \right]_v \right] + (1 - Z_0) \left[1 - \frac{T}{h_x} \left[\frac{\partial h_x}{\partial T} \right]_v \right] \quad (19)$$

Las derivadas de f_x y h_x con respecto a temperatura a volumen constante de las ecuaciones (11a) y (11b).

2.2 ECUACION DE ESTADO DE REFERENCIA

Esta extensión del principio de los estados correspondientes requiere una ecuación de estado muy segura para la sustancia de referencia, el método no impone restricciones sobre la selección del fluido de referencia. Aunque el sentido común sugiere que dicho fluido sea similar al sistema de interés. Por ello se seleccionó al metano como fluido de referencia ya que es igualmente útil para fluidos criogénicos o para hidrocarburos ligeros.

Leach^{8,4} utilizó también al metano como fluido de referencia para correlacionar los factores de forma que usamos en este trabajo, pero la selección del metano tiene una falla; la temperatura reducida del punto triple es muy alta (0.475), y la ecuación de estado requiere de extrapolación en una región hipotética de líquido y vapor. Cuando se van a manejar mezclas ricas en etano y propano a muy bajas temperaturas. Esta extrapolación se lleva a cabo por medio de las propiedades termodinámicas del propano.

Por su alta seguridad se seleccionó la ecuación de estado no analítica de Goodwin^{15,16}; las propiedades del metano son calculadas con el programa METHERM4,

desarrollado por Goodwin¹⁵ sobre su ecuación de estado en el National Bureau of Standard (EE UU), predice las propiedades termodinámicas del metano desde el punto triple hasta 700 bar y 500 K.

2.3 EL PROGRAMA GNL

El programa GNL (predicción de propiedades de gas natural) fue escrito en FORTRAN y se ha implementado en varios tipos de computadoras; HF-3000, VAX-780, CRISP-90 y microcomputadoras compatibles con IBM PC.

Proporciona las siguientes propiedades sobre o fuera de la línea de saturación; PVT, entalpía y entropía. También predice el equilibrio líquido vapor de sustancias puras y mezclas que contienen dos o más de los siguientes componentes: metano, etano, etileno, propano, propileno, butano, isobutano, pentano, isopentano, nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. El programa contiene parámetros de control que permiten seleccionar diferentes tipos de cálculos, y seleccionar unidades de datos tanto en la entrada como en la salida de información.

3. RESULTADOS

Se presenta aquí una evaluación del programa GNL comparando datos experimentales de densidad, equilibrio líquido vapor y entalpía para mezclas afines al gas natural. Los resultados obtenidos concuerdan con los resultados de Møllerup¹¹⁻¹³ y demuestran que este es un método muy seguro para la estimación de gas natural y gas de petróleo.

3.1 Densidad de fase líquida

Se llevaron a cabo estimaciones de densidad de líquido de mezclas de hidrocarburos ligeros y nitrógeno. La tabla 1 presenta las composiciones experimentales usadas en este estudio^{17,18,19} y la vez McCarthy^{20,21} comparo cuatro métodos de predicción de densidades de gas natural líquido, e incluye esta e tensión de los estados correspondientes, pero uso como ecuación de referencia la ecuación de estado de McCarthy²² para metano. Los cuatro métodos presentan resultados similares dentro del 0.1% de desviación con respecto al valor experimental, pero el método de estados correspondientes presenta las desviaciones promedio más bajas, además de mayor versatilidad.

TABLA 1 Predicción de densidades de Gas Natural Líquido

Mezcla	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	nC ₄ H ₁₀	iC ₄ H ₁₀	N ₂	nC ₆ H ₁₄	iC ₆ H ₁₄
1	0.68006	0.31994						
2	0.49325	0.50675						
3	0.35457	0.64506						
4	0.85796		0.14204					
5	0.74920		0.25080					
6	0.49637		0.50363					
7	0.29538		0.70462					
8	0.93674			0.06326				
9	0.58828			0.41172				
10	0.49687				0.51313			
11	0.95048					0.04952		
12	0.69651					0.30349		
13	0.56758					0.49243		
14	0.89771			0.04998		0.05931		
15	0.86643	0.04600	0.04799		0.04570			
16	0.85378	0.05178	0.04703		0.04741			
17	0.87133	0.05759	0.04808	0.04309				
18	0.84566	0.07924	0.05860	0.02450				
19	0.80940	0.04542	0.05050		0.04667	0.04801		
20	0.81249	0.08484	0.04911	0.02708		0.03828		
21	0.85892	0.11932	0.0141	0.00705	0.00530			
22	0.94558	0.08157	0.04778	0.01252	0.01259			
23	0.90613	0.06926	0.02154	0.00306	0.00309	0.00601		
24	0.88225	0.07259	0.02561	0.00432	0.00490	0.00973		
25	0.85934	0.08477	0.02980	0.00767	0.00519	0.01381		
26	0.85341	0.07898	0.04729	0.00992	0.00854	0.00089	0.00097	
27	0.75442	0.15401	0.06950	0.01057	0.00978	0.00081	0.00089	
28	0.75713	0.13585	0.06742	0.01306	0.01326	0.00859	0.00216	0.00223
29	0.74275	0.16505	0.06547	0.00891	0.00841	0.00801	0.00069	0.00067
30	0.80068	0.06517	0.02200	0.00184	0.00291	0.00599	0.00010	0.00011
31		nC ₆ H ₁₄	H ₂ S					
	0.74997	0.2501						
32	0.8877	0.6123						

TABLA 2 Resumen de resultados de calculo de densidad de GNL							
Mezcla T/°K	P/bar	AAD%*	BIAS%†	Mezcla T/°K	P/bar	AAD%*	BIAS%†
1 105-130	0.42-2.6	0.03	0.02	16 115-130	1.2-3.2	0.04	0.04
2 105-140	0.32-3.6	0.04	0.03	17 115-135	1.2-4.3	0.03	0.02
3 105-130	0.26-1.6	0.04	-0.03	18 115-130	1.2-3.2	0.02	0.02
4 105-130	0.52-3.3	0.06	-0.01	19 115-130	3.0-6.1	0.09	-0.09
5 105-130	0.48-3.0	0.02	-0.02	20 115-130	2.2-4.8	0.08	0.08
6 105-130	0.38-2.3	0.06	0.06	21 115-130	1.2-3.2	0.02	-0.01
7 105 110	0.27-0.4	0.06	-0.06	22 115-130	1.2-3.2	0.07	0.03
8 105 140	0.52-5.9	0.15	0.11	23 115-130	1.48-3.7	0.04	0.05
9 120-130	1.6-3.2	0.08	-0.08	24 115-125	1.6-3.0	0.04	0.04
10 110-125	0.63-1.8	0.08	-0.08	25 115-130	1.8-4.2	0.10	0.11
11 105 140	1.38-9.2	0.09	0.08	26 110-130	0.79-3.2	0.01	0.00
12 100-120	3.5-10.1	0.07	0.05	27 110-125	0.72-2.1	0.02	0.02
13 95-130	3.3-21.1	0.20	-0.02	28 110-130	1.15-3.7	0.06	0.06
14 110-125	2.4-5.1	0.19	-0.19	29 110-125	1.16-2.8	0.03	-0.02
15 115 135	1.2-4.3	0.05	0.05	30 115-130	1.45-3.7	0.04	0.04
31 277 444	13-680	0.68	0.25	32 277-444	13-680	0.80	0.25

*Desviación absoluta promedio

†Desviación promedio

La tabla 2 muestra que el programa GNL es capaz de predecir las densidades de gas natural dentro del 0.1% de desviación. La mayor desviación para la mezcla 8 se debe a que la incertidumbre experimental de esa mezcla es mayor, según indican los autores¹⁸. En las mezclas de metano y nitrógeno, la desviación se incrementa con el contenido de nitrógeno y alcanza el 0.2% para una mezcla equimolar. Para la mezcla de n-pentano y sulfuro de hidrógeno la desviación es más alta, esto se debe a los siguientes factores: empleo de metano como fluido de referencia, diferencia en tamaño y forma moleculares, y alta concentración de sulfuro de hidrógeno.

3.2 Equilibrio Vapor Líquido

La desviación entre datos experimentales y calculados por este método depende de la diferencia en tamaño molecular de los componentes de la mezcla, para gas natural, gas de petróleo y otras mezclas afines, las desviaciones caen dentro del error experimental. Se presentan comparaciones para las siguientes mezclas: Nitrógeno-Metano^{23,24}, Dióxido de Carbono-Sulfuro de Hidrógeno²⁵, Metano-Etano-Propano²⁶ y Metano-nButano²¹.

La predicción de constantes de equilibrio y presión de punto de burbuja se presenta en las tablas 3, 4 y 5. En ellas y en las figuras 1, 2, 3 y 4 se aprecia un excelente ajuste con los puntos experimentales.

3.3 Entalpía

Este método también predice entalpía en las regiones de una y dos fases con buenos resultados. La tabla 6 muestra una comparación de entalpía residual experimental y calculada para varios sistemas: Metano-Propano²⁷, Metano-nPentano²⁸ y Nitrógeno²⁹. En las tablas 6 y 7 se nota que a bajas temperaturas (fase líquida), la entalpía se calcula con buena

exactitud. Estos resultados y los de Mollerup^{15,12} confirman la capacidad del método de estimar con seguridad entalpías de fase líquida y vapor.

4. CONCLUSIONES

Los cálculos presentados aquí, cotejan muy bien con los resultados de Mollerup^{15,12} y McCarthy^{20,21}, demostrando que esta extensión del principio de los estados correspondientes es capaz de estimar:

Densidades de gas natural dentro del 0.1% de desviación, con un amplio rango de presión y temperatura.

Constantes de equilibrio y presiones de burbuja con errores que en general están dentro del error experimental, para altas y bajas presiones.

Entalpías de líquido y vapor, con desviaciones del orden del error experimental.

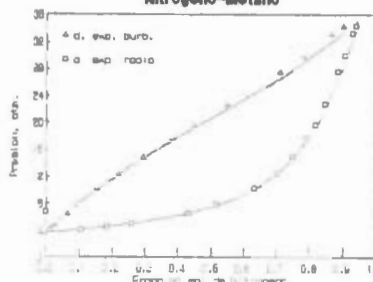
Los resultados obtenidos son más seguros los que se obtienen por otros métodos o ecuaciones de estado^{20,21,29,30}

BIBLIOGRAFIA

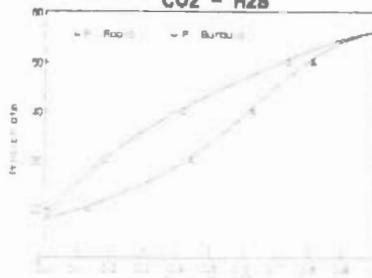
1. Pitzer, K.S., Lippmann, D.Z., Curl, R.F., Huggins C.M., D.E. Petersen, J. Amer. Chem. Soc., 77:743 (1955).
2. Pitzer, K.S., J. Amer. Chem. Soc., 77:3427 (1955).
3. Leach, J.W., Chappellear, P.S., and T.W. Leland, Proc. Am. Petrol. Inst. (Sect. III), 46:223 (1966).
4. Leach, J.W., Chappellear, P.S., and T.W. Leland, AIChE J., 14:568 (1968).
5. Rowlinson, J.S., "Liquid and Liquid Mixtures", 2° ed., Butterworth 1969.
6. Rowlinson, J.S., "Liquid and Liquid Mixtures", 3° ed., Butterworth 1982.
7. Rowlinson, J.S., and I.D. Watson, Chem. Eng. Sci., 21:1565 (1969).
8. Rowlinson, J.S., and I.D. Watson, Chem. Eng. Sci., 24:1575 (1969).

8. Leland, T.W., Rowlinson, J.S., and G.A. Sather, *Trans. Faraday Soc.*, 64 :1447(1968)
9. Leland, T.W., Rowlinson, J.S., Sather, G.A., and I.D. Watson, *Trans. Faraday Soc.*, 65 :2034(1969)
10. Mollerup, J., and J.S. Rowlinson, *Chem. Eng. Sci.*, 29:1373(1974)
11. Mollerup, J., *Adv. Cryog. Eng.*, 20:172(1975)
12. Mollerup, J., *Berichte der Bunsen-Gesellschaft*, No.10:1015(1977)
13. Mollerup, J., *Adv. Cryog. Eng.*, 23:550(1978)
14. Mollerup, J., Aa. Fredenslund, *Chem. Eng. Sci.*, 28:1285(1973)
15. Goodwin, R.D., "The Thermophysical properties of Methane, from 90 to 500°K at Pressures to 700 bar", NBS Tech. Note 653 (1974)
16. Goodwin, R.D., *J. Res. Nat. Bur. Stand. (Phys & Chem)* 79A(1),71(1975)
17. Haynes, W.M., a ser publicado en 1980, citado por McCarthy²⁰
18. Hiza, M.J., Haynes, W.M. and Parrish, W.R., *J. Chem. Thermodyn.*, 9:873 (1977)
19. Reamer, H.H., Sage, B.H. and Lacey, W.H., *Ind. Eng. Chem.*, 45:1805(1953)
20. McCarthy, R.D., "Four Mathematical Models for the Prediction of LNG Densities", NBS Tech. Note 1030 (1980)
21. McCarthy, R.D., *J. Chem. Thermodyn.*, 14:837(1982)
22. McCarthy, R.D., *J. Cryogenics*, 14:(3) 276(1974)
23. Parrish, W.R., and Hiza, M.J., *Adv. Cryog. Eng.*, 19: 1974
24. Fidas, F.C., Miller, W.R., Parrish, W.R., and Hiza, M.J., *Cryogenics*, 15:(6),511(1975)
25. Bierlein, J.A. and Jay, W.B., *Ind. Eng. Chem.*, 45:618(1953)
26. Fize, A.H. and Kobayashi, K., *J. Chem. Eng. Data*, 4:40(1959)
27. Yessavage, V.P., Ph.D. thesis, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1968
28. Sage, B.H. and Lacey, W.N., *AFI Progress 77*, (1950)950
29. Feng, C.K. and Robinson, D.B., *Ind. Eng. Chem. Fund.*, 15:59(1976)
30. Starling, K.E. and Han, M.B., *Hyd. Free.*, 5:129(1972)
31. Ellisa, D.G., Ehen, R.J.J., Chappellet, F.S., and Kobayashi, K., *J. Chem. Eng. Data* 19:(1), 1(1974)

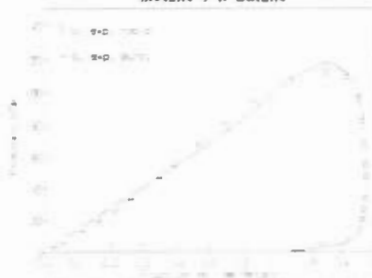
Equilibrio Líquido-Vapor a 130 K Nitrogeno-Metano



Equilibrio Líquido-Vapor 293.16 K CO2 - H2S



Equilibrio Líquido-Vapor a 266.4 K Metano / n Butano



Valores de K equilibrio Nitrogeno Metano

Datos a 130 K



Tabla 3 Comparación de Valores de Equilibrio Líquido Vapor									
Nitrogeno(1)-Metano(2) T = 100 K									
Fracc. Mol		Valores Experimentales				Valores Estimados			
X ₁	Y ₁	P/bar	K ₁	f ₂	P/bar	Y ₁	K ₁	f ₂	
0.0	0.0	0.343	6.27239	1.0	0.35	0.0	6.29947	1.0	
0.1329	0.8336	1.988	6.27239	0.1919	2.01	0.8372	6.29947	0.18775	
0.2397	0.8907	2.96	3.71589	0.14376	2.98	0.8956	3.73634	0.13731	
0.3301	0.9168	3.621	2.77734	0.1242	3.63	0.9186	2.78279	0.12151	
0.3831	0.9277	3.989	2.42156	0.1172	3.97	0.928	2.42234	0.11671	
0.4463	0.9372	4.396	2.09993	0.11342	4.34	0.937	2.09948	0.11378	
0.5069	0.9448	4.706	1.86388	0.11194	4.67	0.9444	1.86309	0.11276	
0.5638	0.9508	5.032	1.68641	0.11279	4.98	0.9506	1.68606	0.11325	
0.6671	0.9618	5.598	1.44176	0.11475	5.53	0.9612	1.44086	0.11655	
0.8133	0.9764	6.451	1.20054	0.12641	6.39	0.9764	1.20054	0.12641	
1.0	1.0	7.778	1.0	1.0	7.75	1.0	1.0	1.0	
Nitrogeno(1)-Metano(2) T = 130 K									
0.0	0.0	3.681	11.3196	1.0	3.68	0.0	11.0722	1.0	
0.0097	0.1098	4.155	11.3196	0.89892	4.14	0.1074	11.0722	0.90134	
0.0186	0.1862	4.552	10.0108	0.82922	4.55	0.1863	10.0161	0.82912	
0.0292	0.264	5.025	9.0411	0.75814	5.03	0.2627	8.99658	0.75948	
0.0641	0.4339	6.594	6.76911	0.60487	6.55	0.4315	6.73167	0.60744	
0.0926	0.5201	7.797	5.61663	0.52887	7.73	0.5174	5.58747	0.53185	
0.1547	0.6313	10.203	4.0808	0.43614	10.12	0.6312	4.08016	0.43629	
0.2188	0.7018	12.579	3.2075	0.38172	12.38	0.6992	3.19561	0.38505	
0.2941	0.7508	15.038	2.55287	0.35302	14.82	0.7506	2.55219	0.35331	
0.3822	0.7932	17.847	2.07535	0.33474	17.46	0.7917	2.07143	0.33716	
0.4512	0.8166	19.923	1.80984	0.33418	19.43	0.8164	1.8094	0.33455	
0.5516	0.8463	22.850	1.53426	0.34277	22.26	0.8461	1.5339	0.34322	
0.7077	0.886	27.730	1.25194	0.39001	26.87	0.8866	1.25279	0.38796	
0.7828	0.9054	30.310	1.15662	0.43554	29.33	0.9061	1.15751	0.43232	
0.8676	0.9285	33.580	1.07019	0.54003	32.45	0.9301	1.07204	0.52795	
0.9017	0.9363	34.820	1.0417	0.6175	33.84	0.9407	1.04325	0.60326	

Tabla 4 Comparación de Valores de Equilibrio Líquido Vapor								
Dioxido de Carbono(1)-Sulfuro de Hidrogeno(2)								
Fracc. Mol		Valores Experimentales			Valores Estimados			
T °C	X ₁	Y ₁	P/atm	K ₁	P/atm	K ₁	K ₂	
55	0.0	0.0	40	1.0	38.75		1.0	
55	0.089	0.216	50	2.4269	0.86060	49.62	2.36292	0.86685
55	0.190	0.345	60	1.8158	0.80860	60.01	1.82684	0.80600
55	0.312	0.442	70	1.4167	0.81105	70.54	1.44583	0.79782
55	0.456	0.508	80	1.1140	0.90441	80.68	1.17017	0.20700
76.2	0.0	0.0	60	1.0	58.12		1.0	
75	0.009	0.035	60	3.8889	0.97376	58.31	2.86667	0.98759
70	0.050	0.122	60	2.4400	0.92421	59.24	2.36667	0.93526
65	0.092	0.194	60	2.1087	0.88767	59.64	2.10109	0.88844
60	0.137	0.271	60	1.9781	0.84473	59.80	1.97226	0.84566
55	0.190	0.345	60	1.8158	0.80860	60.01	1.82684	0.80605
50	0.256	0.423	60	1.6523	0.77554	60.46	1.66367	0.77164
45	0.330	0.496	60	1.5030	0.75224	60.45	1.51485	0.74642
40	0.425	0.583	60	1.3718	0.72522	60.61	1.36094	0.73322
35	0.540	0.662	60	1.2259	0.73478	60.55	1.22456	0.73674
30	0.687	0.759	60	1.1048	0.76997	60.50	1.10655	0.76613
25	0.873	0.901	60	1.0321	0.77953	59.89	1.02417	0.83386
24	0.922	0.938	60	1.0174	0.78487	59.64	1.01193	0.85897
22.5	1.0	1.0	60	1.0	59.08	1.0		

Tabla 5 Comparación de Valores de Equilibrio Líquido Vapor										
Metano(1)-Etano(2)-Propano(3) T = -150 F										
Fracc. Mol		Valores Experimentales				Valores Predichos				
X ₁	X ₂	X ₃	P/psia	K ₁	f ₂	K ₂	P/psia	K ₁	f ₂	K ₃
.242	.258	.500	100	4.0041	0.1085	0.0060	99.21	4.0273	0.0868	0.0060
.528	.319	.153	200	1.8447	0.0752	0.0131	193.9	1.8547	0.0623	0.0053
Metano(1)-Etano(2)-Propano(3) T = -100 °F										
.110	.320	.570	100	7.8636	0.2438	0.0439	99.57	7.8909	0.3440	0.0386
.236	.483	.281	200	3.7839	0.2029	0.0320	197.5	3.7826	0.2070	0.0263
.496	.242	.262	400	1.9274	0.1488	0.0267	388.6	1.9266	0.1550	0.0258
Metano(1)-Etano(2)-Propano(3) T = -50 °F										
.125	.268	.607	200	6.4320	0.5224	0.0923	191.4	6.3848	0.5370	0.0953
.277	.523	.200	400	2.8845	0.3595	0.0650	396.1	2.8960	0.3490	0.0767
.598	.109	.293	800	1.5518	0.3303	0.1229	797.9	1.5600	0.3250	0.1092
.766	.089	.145	1000	1.1789	0.5618	0.3241	1028.	1.1790	0.4920	0.2607

T °F	250 psia		500 psia		1000 psia		1500 psia		2000 psia	
	Exp.	Calc.	E p.	Calc.	E p.	Calc.	Exp.	Calc.	Exp.	Calc.
-200	213.4	211.2	212.8	210.7	211.1	208.5	209.4	206.6	207.1	204.3
-100			188.1	185.5	186.7	184.7	185.3	182.7	183.7	181.2
100			* 25.5	22.8	2fases	95.1	119.8	120.5	126.9	126.6
150	11.8	11.0	25.5	23.6	59.7	56.3	91.7	90.7	106.8	106.2
250	8.5	7.9	17.2	16.3	36.4	34.4	55.1	52.7	71.1	68.6

T F	P/psia	calc.	E p	Diferencia
	1500	206.6	209.4	-2.8
	1000	208.5	211.1	-2.6
	500	210.3	212.8	-2.5
	250	211.2	213.4	-2.2
100	2000	181.2	183.7	-2.5
	1500	182.7	185.3	-2.6
	1000	184.7	186.7	-2
	500	185.5	188.1	-2.6
100	2000	126.6	126.9	-0.3
	1500	120.5	119.8	0.7
	1000	95.1		
	400	22.8	25.5	-2.7
150	2000	106.2	106.8	-0.6
	1500	90.8	91.7	-0.9
	1000	56.3	59.7	-3.4
	750	38.6	41.3	-2.7
	500	23.6	25.5	-1.9
	250	11.0	11.8	-0.8
250	2000	68.6	71.1	-2.5
	1500	52.7	55.1	-2.4
	1000	34.4	36.4	-2
	750	25.2	26.9	-1.7
	500	16.4	17.2	-0.8
	250	7.9	8.5	-0.6

UNA METODOLOGIA TENDIENTE A REDUCIR CONSUMOS DE VAPOR
Y TIEMPOS DE PROCESO DURANTE EL SECADO DE PIGMENTOS AZOICOS.

Aristides Marino Uribe y Juan Manuel Zamora Mata

Area de Ingenieria de Recursos Energéticos
Departamento de Ingenieria de Procesos e Hidráulica
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Apartado postal 55-534, 09340 México, D.F.

RESUMEN

La producción de pigmentos tiene una importancia relevante para muchas industrias del país ya que prácticamente no hay producto sin color. La presentación comercial más común de los pigmentos, en polvo o trozo, requiere de una operación unitaria básica: el secado. La planta de producción de pigmentos azoicos de la empresa Química Hoechst de México ha presentado problemas en su volumen de producción y se ha encontrado que el cuello de botella que retrasa la producción lo constituye la operación de secado de pigmentos. En este trabajo se presenta una metodología que permite caracterizar el funcionamiento de estufas de secado de pigmentos azoicos e identificar los factores que retrasan el proceso de secado, se presentan resultados de la aplicación de esta metodología a estufas de secado de Química Hoechst. También se proponen algunas medidas tendientes a reducir los tiempos de proceso y el consumo energético durante el secado.

I. INTRODUCCION.

El moderno desarrollo industrial ha permitido la elaboración de una gran variedad de nuevos productos, sin embargo, las operaciones unitarias empleadas en la industria química siguen siendo las mismas desde hace ya varias décadas. Entre estas operaciones destaca el proceso de secado. Actualmente el secado ocupa un lugar importante en las industrias química, petroquímica, farmacéutica, alimentaria, maderera, de celulosa y papel, etc., ya que el secado constituye un paso previo para lograr la presentación final de muchos productos [1]. La importancia económica de la operación de secado es clara al considerar que el volumen de producción de diversas plantas industriales está determinada notablemente por su capacidad de secado del producto correspondiente. Dentro de la industria química, la producción de pigmentos azoicos se enfrenta al problema de largos periodos de secado del producto para su pulverización posterior. En la empresa Química Hoechst de México la operación de secado constituye el cuello de botella para la producción de pigmentos azoicos. Los prolongados periodos de secado representan a su vez un alto consumo energético en forma de vapor. Ingenieros de dicha empresa estudian en diversas plantas del mundo la forma de agilizar el secado. En la planta matriz, en Alemania, se hacen estudios para determinar que tipo de equipo secador más eficaz puede substituir al equipo que se utiliza actualmente. En su planta de Brasil, los ingenieros investigan la forma de distribuir

mejor el flujo de aire dentro de los equipos secadores utilizados ahora. Al realizar el presente estudio se consideró efectuar una caracterización del equipo de secado y su funcionamiento, esta caracterización incluye la cuantificación de los factores determinantes del sistema, como son: magnitud y distribución de los flujos de aire dentro del equipo de secado, consumo de vapor, cantidad de material (pigmento) secado por equipo, tiempo requerido en el secado y las curvas de secado [2]. En este trabajo se presenta la descripción del funcionamiento de un equipo de secado y posteriormente se expone la metodología utilizada para lograr la caracterización del funcionamiento de dicho equipo. Además, se presentan los principales resultados obtenidos en la aplicación de dicha metodología y se concluye presentando una serie de recomendaciones para mejorar el funcionamiento del secador.

II. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.

La operación de secado del pigmento comienza propiamente desde que el pigmento es encharolado en forma de espagueti en un extrusor continuo. Las charolas se colocan en un carro especial y éste se introduce en el secador. El equipo puede operarse con dos sentidos de circulación del aire dentro de él, llamados punto I y punto II. La figura 1 muestra la estufa con el carro dentro operando en el punto II. Por medio de un par de manijas, como las mostradas en dicha figura con

la letra A, se abre la compuerta H y se cierra la compuerta G. La manija B permite cerrar el conducto de admisión E y abre el conducto D. El aire fresco se toma de la atmósfera, se hace pasar por un filtro y se introduce en la estufa por el conducto D. El ventilador I hace circular el aire por entre el radiador J, donde se eleva su temperatura, ya que dentro de los tubos del radiador circula vapor. La compuerta G, además de cerrar el conducto F, dirige la corriente de aire hacia el deflector K, éste va reduciendo el área transversal al flujo de aire obligándolo a distribuirse por entre la mampara L. A continuación, el aire fluye sobre las charolas secando el producto. La puerta M desvía el aire, ahora más húmedo, hacia arriba, en esta dirección el flujo de aire se divide en dos al estar abierta la compuerta H, una parte del aire escapa por la chimenea C y otra parte se recircula mezclándose con aire fresco proveniente del conducto D. El punto de operación I es similar solo que emplea la circulación de aire en sentido contrario y mantiene las compuertas en posición opuesta. El equipo opera la mitad del ciclo de secado en el punto I y la otra mitad en el punto II. El ciclo de secado dura aproximadamente 52 horas y a la mitad del mismo se pica manualmente el producto. Dependiendo de que producto se esté secando, se establece una temperatura dentro de la estufa entre 65°C y 80°C. Para lograr dicho control térmico se emplea una termoválvula que regula la temperatura de la estufa restringiendo el paso de vapor hacia el radiador. Dicho radiador descarga a una trampa de vapor y esta al abeziel de retorno de condensados

III METODOLOGIA UTILIZADA PARA LA CARACTERIZACION DEL EQUIPO

Se realizaron tres tipos de pruebas en estufas distintas estudiando diferentes parámetros en cada prueba, estas pruebas son las siguientes:

PRUEBA TIPO I Medición del flujo volumétrico de aire en circulación y del porcentaje de recirculación de aire dentro de la estufa. Medición también de la distribución de velocidades de aire entre los diferentes niveles de las charolas.

PRUEBA TIPO II Medición del consumo de vapor durante la operación de secado.

PRUEBA TIPO III Registro de la temperatura interna de operación del equipo, de la cantidad de pigmento a secar por estufa, de la humedad inicial y final del pigmento y por último, el tiempo requerido de secado.

Al realizar la prueba tipo I se utilizó un anemómetro portátil marca KURZ modelo 441-S, que funciona bajo el principio de hilo caliente, con un rango de medición de 0 a 6000 pies por minuto y con una resolución de 10 pies por minuto. Durante la prueba tipo II se midió el consumo de vapor de 3 Kg/cm², que utiliza la estufa como fuente de calor aforando los condensados

provenientes del radiador que expulsa la trampa de vapor. Para la aforación se utilizó un tambor metálico con capacidad de 100 litros previamente graduado. La prueba tipo III incluye la medición de la temperatura interna de las estufas, la cual se realizó utilizando un termómetro industrial tipo bimetalico marca SUREK, con un rango de medición de 0°C a 100°C y con una resolución de 2°C, instalado en la parte posterior de la estufa. Mediante verificaciones periódicas se aseguró que el equipo operara a la temperatura preestablecida. La rotación física de los puntos de medición de estas pruebas se muestra en la figura 2. En la misma prueba se encogieron 4 charolas de prueba y por diferencias de peso al inicio del secado (con pigmento húmedo), al final del secado (con pigmento seco) y con las charolas vacías se determinó la cantidad promedio de pigmento a secar por estufa, así como la humedad inicial y final de éste. Además se realizaron pesajes periódicos cada 2 horas para conocer la pérdida de humedad del pigmento y determinar su curva de secado. Los pesajes se realizaron utilizando una báscula marca Berkel con capacidad de 300 Kg y con una resolución de 0.200 Kg.

IV RESULTADOS Y SU DISCUSION

Al aplicar la metodología descrita fue posible caracterizar la operación de las estufas de secado de pigmentos. A continuación se presentan los resultados más relevantes:

PRUEBA TIPO I

Los resultados de estas pruebas muestran que el flujo de aire en circulación dentro de la estufa tiene un valor promedio de 7.076 m³/h, valor que está por debajo del recomendado en la literatura [3] que es de 12,000 m³/h. El flujo de aire en expulsión por estufa oscila alrededor de 1,100 m³/h, lo que representa un porcentaje de recirculación de aire del 83.7%, este valor se encuentra por debajo del límite inferior del intervalo recomendado [4] que va del 80% al 95%, y se sabe que un mayor porcentaje de recirculación de aire dentro de la estufa representa un ahorro energético a través de un menor consumo de vapor. Una distribución típica de velocidades de aire entre los diferentes niveles de las charolas se muestra en la figura 3. Se observa que dicha distribución no es uniforme y, además, las velocidades registradas entre las charolas son muy bajas, con un valor promedio de 0.45 m/s. Mientras que el valor recomendado es de 5.0 m/s.

PRUEBA TIPO II

La cuantificación del consumo de vapor por estufa se hizo mediante la aforación del condensado y calculando la fracción de condensados que se vaporiza al entrar en contacto con la atmósfera. Se encontró un requerimiento promedio de vapor por estufa de 43.5 Kg/h llegando a encontrar consumos de vapor de hasta 100 Kg/h por estufa al inicio del secado. El consumo promedio por estufa, considerando las 25 estufas existentes y que se trabajan la 24 horas

del día, representa el 22.5% del consumo total mensual de vapor de la planta de Química Hoechst-Sta. Clara, como se muestra en la figura 4.

PRUEBA TIPO III.

Los resultados obtenidos en estas pruebas se sintetizan en la tabla no. 1, en la cual se aprecia que las cantidades de producto húmedo cargadas por charola, así como la humedad de éste son significativamente variables, no existe uniformidad. Lo anterior origina diferencias en los tiempos de secado incluso en las charolas de un mismo carro. En la tabla se le ha llamado tiempo de secado parcial al intervalo durante el cual son apreciables los cambios en el contenido de humedad del producto, observables mediante una disminución del peso de la charola correspondiente. Los resultados logrados permitieron construir las curvas de secado del pigmento, como la que se muestra en la figura 5. En la medida en que las curvas de secado de cada una de las charolas de prueba tiendan a superponerse y formar una sola curva, debe entenderse que el secado del pigmento dentro de la estufa es uniforme en los diferentes niveles del carro. El contenido de humedad se expresa en base seca. Algunos otros valores promedio importantes encontrados en estas pruebas se muestran en la tabla No. 2.

V. CONCLUSIONES.

Este trabajo ha mostrado que tanto el diseño como las condiciones de operación de las estufas secadoras estudiadas dista mucho de ser óptimo. Se ha encontrado que la distribución del flujo de aire por sobre las charolas no es uniforme, esto es razón de que el producto de algunas charolas complete el proceso de secado bastante antes que el de otras charolas. Mientras esto y las diferentes condiciones de encharolado del producto persistan se estará tirando innecesariamente energía extra al aire del medio ambiente ya que el proceso de secado no termina hasta que el producto de todas las charolas de la estufa está seco. Debe trabajarse en un mejor diseño de la estufa con objeto de distribuir más uniformemente el flujo de aire sobre las charolas, también debe cuidarse que la humedad del producto al encharolar sea aproximadamente la misma, esto redundará en un menor consumo energético y reducción del tiempo total de secado. El incrementar el flujo de aire en circulación dentro de la estufa y el porcentaje de este en recirculación tendrá también los mismos efectos. Por otra parte, si se desea reducir la pérdida de agua tratada deberá mejorarse el trapeo de vapor a la salida del radiador.

REFERENCIAS.

1. Keey, R.B., "Drying, Principles and Practice", Pergamon Press, London (1974)
2. Treybal, R.E., "Mass Transfer Operations", Mc Graw-Hill, New York (1968)
3. William-Gardner, A., "Industrial Drying", Gulf Publishing Co., Texas (1977).
4. Kneule, F., "El Secado", Enciclopedia de la Tecnología Química, Tomo I, Urmo Ediciones, España (1971).

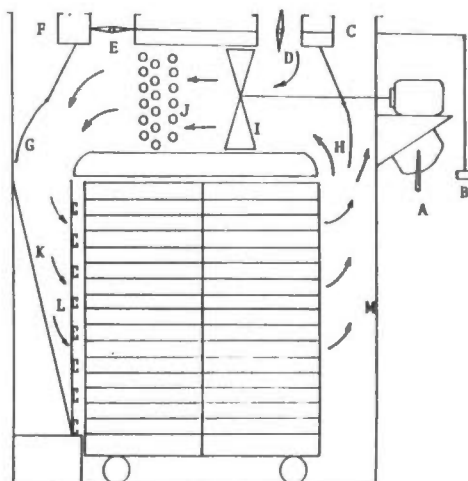
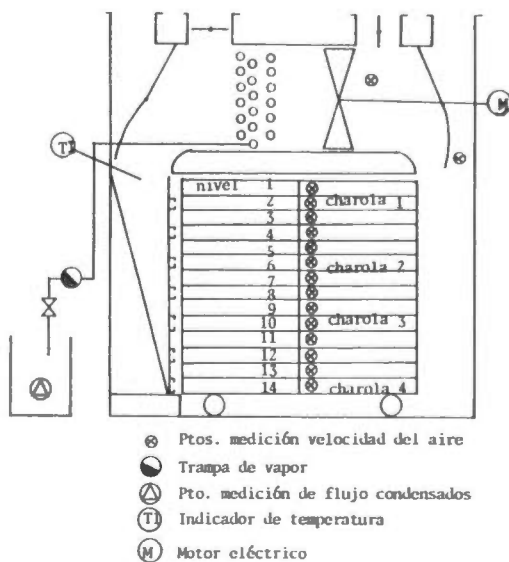


Figura 1. Estufa de secado con carro adentro, trabajando en el punto II.



- ⊗ Ptos. medición velocidad del aire
- Trampa de vapor
- △ Pto. medición de flujo condensados
- T Indicador de temperatura
- M Motor eléctrico

Figura 2. Puntos de interés para caracterizar la operación de la estufa secadora.

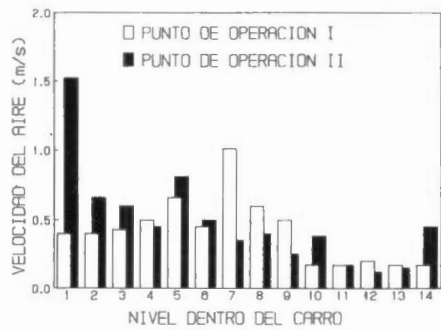


Figura 3. Velocidad del aire entre los niveles de charolas.



Figura 4. Distribución del consumo de vapor en la planta de Química Hoechst de Santa Clara.

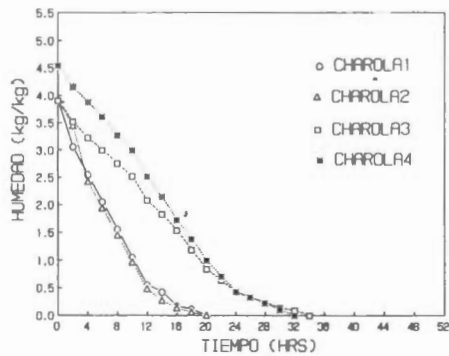


Figura 5. Contenido de humedad en el producto que se seca.

Tabla No. 1
CUADRO COMPARATIVO DE PRUEBAS DE SECADO

PRUEBA SECADO No.	CAMARAS No.	TEMP. (°C)	PRODUCTO HÚMEDO (kg.)	PRODUCTO SECO (kg.)	HUMEDAD INICIAL (kg/kg)	TIEMPO SECADO PARCIAL (hrs.)	TASA DE SECADO INICIAL (kg/m ² h)	TASA DE SECADO PARCIAL (kg/m ² h)
1	1	65	11.6	2.2	4.27	24	1.82	0.63
1	2	65	17.0	3.6	3.72	26	1.49	0.64
1	3	65	13.6	3.2	3.25	18	1.22	0.94
1	4	65	12.6	2.4	4.25	28	0.81	0.59
2	1	80	6.0	1.0	5.00	16	0.57	0.56
2	2	80	21.0	3.6	5.05	38	0.99	0.78
2	3	80	24.0	5.0	3.00	40	0.83	0.77
2	4	80	22.6	5.0	3.52	40	0.75	0.71
3	1	65	15.0	3.2	3.93	28	1.46	1.02
3	2	65	14.3	2.9	3.93	28	1.36	0.92
3	3	65	20.4	4.2	3.90	34	1.06	0.79
3	4	65	20.0	2.6	4.55	32	0.90	0.83
VALOR PROMEDIO			16.6	3.3	4.89	28	1.00	0.77

* SE REFIERE A LA TASA PROMEDIO DE LAS PRUEBAS 12 HORAS DE SECADO.
 ** SE REFIERE AL TIEMPO DE SECADO PARCIAL.

Tabla No. 2
Resultados Obtenidos en Pruebas Tipo III

Parámetro	Valor
Producto húmedo por estufa	930 Kg
Producto seco por estufa	185 Kg
Humedad inicial por estufa	745 Kg
Tasa de secado	0.426 Kg/m ² h
Humedad evaporada por estufa	14.33 Kg/h
Calor utilizado por estufa	22,323 Kcal/h
Consumo de vapor en un ciclo de secado	2,262 Kg

QUEMADO DE CASCARILLA DE ARROZ EN LECHO FLUIDIZADO.

DR. JORGE F. RODRIGUEZ GONZALEZ E ING. BERENICE QUINTANA DIAZ.

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA-AZCAPOTZALCO.
DEPARTAMENTO DE ENERGIA
AV. SAN PABLO NO. 180, COL. REYNOSA, C.P. 02200.

RESUMEN

La revalorización de desechos agrícolas ha atraído la atención de investigadores, y la principal revalorización ha sido la producción de energéticos o la llamada "energía verde". Es por esto que tras un estudio bibliográfico y después de el tipo de los equipos más usados, se encontro que el método más evolucionado lo constituye el quemado en lecho fluidizado. En cualquier caso, el quemado debe realizarse observando cinco consideraciones; teniendo ventajas y desventajas.

INTRODUCCION

La revalorización de desechos agrícolas es un tema que ha atraído la atención de muchos investigadores, especialmente desde la crisis de 1973, la principal valorización ha sido en la producción de energéticos o la llamada "energía verde".

Transformar un desecho (símbolo de desperdicio) en algún producto útil es una idea seductora, pero una explotación eficiente nos conduce a un buen número de problemas tecnológicos.

La primera idea, como ya se dijo, consiste en recuperar la energía; la energía que se puede obtener por fermentación es un proceso arcaico que, limitado a las hemi-celulosas de la madera, solo el 25% de la materia seca se utiliza.

Así pues, llegamos a la combustión, el cual es un proceso que no está suficientemente bien estudiado. Tras un estudio bibliográfico, vemos que los equipos más usados, son del tipo "lecho de combustible" (fuel bed), en los cuales se espasa el combustible (ya sea mecánicamente o a mano) y por medio de un ventilador se introduce el comburente (aire). Un segundo método, más elaborado, es el llamado "suspensión", que como su nombre lo indica el combustible se mantiene en suspensión por inyección de aire, el cual pasa a una sección abierta o como en la mayoría de los casos, se produce intensionalmente un torbellino.

El método más evolucionado lo constituye

el quemado en lecho fluidizado, el cual, como su nombre lo indica, las partículas a quemar, se les acondiciona de tal forma que se comportan, con la ayuda del comburente (aire), como un fluido, esta operación se realiza normalmente a presión.

En cualquier caso, el quemado debe realizarse observando las cinco consideraciones siguientes:

1. Se debe tener un mezclado íntimo entre el combustible y el comburente, manteniendo la relación combustible-comburente dentro de los límites de ignición.
2. Se debe tener una adición suficiente de comburente (aire) para que la reacción sea lo más completa.
3. Se debe tener una temperatura tal que permita iniciar y mantener la combustión.
4. Se debe procurar tener un tiempo de reacción lo suficientemente elevado como para llevar la reacción hasta donde queramos.
5. Se debe prevenir el que las partículas se fundan o aglomeren, obstaculizando el flujo de los gases (slagging).

Los equipos de lecho fluidizado, se desarrollaron, al final de la década de los treinta y desde entonces ha aumentado su uso constantemente.

El éxito de estos equipos se basa en las

siguientes ventajas:

1. Operan a temperaturas mas bajas y mas controladas, disminuyendo con esto las emisiones de NOx, asufre, potasio y sodio, conllevando a una menor corrosión y mayor eficiencia.

2. Se alcanzan valores muy altos para los coeficientes de transferencia de masa y calor, reduciendo con esto las dimensiones (y su costo) pudiendo disminuir hasta en un 25% el tamaño del equipo.

Como desventaja se tiene que su diseño y control no es sencillo, teniendo que recurrir a modelos experimentales previos a la operación en planta. Razón del presente trabajo.

DESARROLLO EXPERIMENTAL:

Tomando en consideración los puntos antes citados, se procedio a obtener la relación de aire a cascarilla de arroz para el cual las pérdidas de calor provenientes de la mezcla en combustión no exedan al calor producido por la flama. Este valor se sitúa para un desprendimiento de $1.125E-03$ g/cal y $1.35E-03$ g/cal y 7 Kg aire/ Kg cascarilla de arroz seca.

Posteriormente, se hizo un estudio de granulometría de la cascarilla tal y como se recibe, encontrando los valores que se muestran en la tabla 1.

Como se puede apreciar en su mayoría tienen dimensiones de 2.5 mm x 8 mm. de forma ovalada.

Estos resultados se compararán con ceniza proveniente de Honduras, en la que se se quema en lecho fijo a cielo abierto obteniendo los resultados mostrados en la tabla 2.

Es obvio que en la muestra proveniente de Honduras, no se tiene una buena combustión, pero al quemarse cambia drásticamente el tamaño, composición y forma de las partículas; una manera de evaluar estos cambios es por medio de la densidad (tanto real como aparente), datos que se resumen en la tabla 3.

Con el fin de poder determinar que tan bien se quemó la cascarilla en Honduras, algunas de las muestras se sometieron al horno durante ocho horas a mil grados celcius, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 4.

Esto demuestra lo ineficiente del quemado; la figura 1. nos muestra, por un lado la distribución del diámetro y por el otro el porcentaje en peso perdido.

Como cosa notable, vemos que en la

distribución de diámetros hay dos picos, una a 0.09 mm. y el otro a 0.223 mm.

ESTUDIO DEL QUEMADO.

Una vez que detectamos lo ineficiente del proceso y que se tiene un comportamiento extraño en las cenizas conforme se queman, procedimos a hacer un estudio del quemado a diferentes temperaturas, partiendo de cascarilla con un diámetro superior a un milímetro.

Primeramente se sometió una muestra a 120 °C durante 16 horas encontrando que las muestras ennegrecieron, mas no variaron su volumen ni forma, pero si hubo un cambio en su densidad real y aparente. Sintetizando los resultados en la tabla 5.

De aquí se puede observar que el contenido de cenizas es cercano a un 23% en peso, siendo en su mayor porcentaje SiO_2 , cenizas que se obtienen a temperaturas cercanas a los 450 °C sin tener que ir mas lejos.

La figura 2. nos muestra como evoluciona la densidad real, notándose un cambio muy brusco entre los 250 y 300 °C, esto debe tener relación con el cambio de mecanismo en la reacción. La literatura reporta que inicialmente, se tiene un rompimiento de las moléculas de celulosa en levoglucosanos, por acción del calor (las temperaturas de rompimiento son entre 150 y 300 °C) y posteriormente viene la reacción de volatilización, es decir, los levoglucosanos se transforman en gases por la acción del oxígeno y la temperatura (temperaturas superiores a los 350 °C).

Es evidente que esto nos sugiere un reactor, que opere en dos etapas, una en la obtención de los levoglucosanos (temperatura máxima 250 °C) y la otra en la gasificación de los mismos (temperatura máxima 450 °C).

Una solución consiste en tener dos lechos fluidizados, uno a 250 °C, empleando el calor proveniente de la volatilización del segundo lecho que opera a 450 °C.

En razón de lo complicado que resulta manejar dos lechos, por ahora solo se analiza la gasedinámica de las cenizas en un solo lecho.

La figura 3. nos muestra un esquema del equipo que se empleó para determinar tanto las velocidades mínimas de fluidización como las velocidades de transporte neumático.

Como se puede apreciar, a la salida se cuenta con un ciclón, el cual tiene como objetivo el recolectar las partículas finas que arrastra el aire proveniente de la atricción.

Se cuenta con dispositivos para medir flujo de aire (rotámetro), masa de cenizas (por peso), presión (manómetros diferenciales) y temperatura (termopares Fe-Ct).

Con este equipo se determinarán las velocidades mínimas de fluidización según el diámetro de partícula. La figura 4. nos presenta algunos resultados experimentales, tanto los que nos sirven para obtener la velocidad mínima de fluidización como los de la velocidad a la cual se inicia el transporte neumático; los valores numéricos se presentan en la misma figura.

CONCLUSIONES.

La cascarilla de arroz al quemarse, cambia su composición, tamaño y forma de manera drástica, estos cambios ocurren en dos etapas:

La primera, en la cual existe un rompimiento de las moléculas de celulosa en moléculas de levoglucosanos, se realiza en el rango de temperaturas de 120-250 °C y con tiempos de residencia muy altos (superiores a una hora a 120 °C o algunos minutos a 250 °C).

La segunda etapa, en la cual viene un cambio muy brusco en la composición y densidad, tanto aparente como en la real, que se realiza a temperaturas comprendidas entre los 250 °C y 450 °C y en la cual las moléculas de levoglucosanos son destruidas en cuestión de segundos a 300 °C y transformadas a gases (CO₂ y H₂O si hay suficiente oxígeno).

Una flama se puede mantener con temperaturas mínimas alrededor de 800 °C y con una relación de 7 Kg de aire/ Kg de cascarilla y con una pérdida mínima de calor de 1.125E-03 g/cal.

Se puede tener un ahorro importante de energía si se realiza la combustión a 450 °C (la reacción es igualmente exotérmica a esta temperatura), sin tener necesidad de que exista flama o combustión completa.

En un trabajo posterior se analizarán las variables de trabajo bajo presión y a temperatura, o si es posible intentar el acoplamiento de dos reactores en cada uno de los cuales se realiza cada una de las etapas de reacción citadas anteriormente.

BIBLIOGRAFIA.

1. Determinación de velocidades mínimas de fluidización en cenizas de cascarilla de arroz. Luis Mendoza, Proyecto terminal en Ingeniería Química UAM-A, 1989.
2. Fluidized Bed Particles, Kunii & Levenspiel, Prentice Hall.
3. Determinación de los coeficientes de transferencia de calor y masa en lechos fluidizados, Berenice Quintana Díaz, Tesis de Maestría en Ingeniería Química UAM-I.

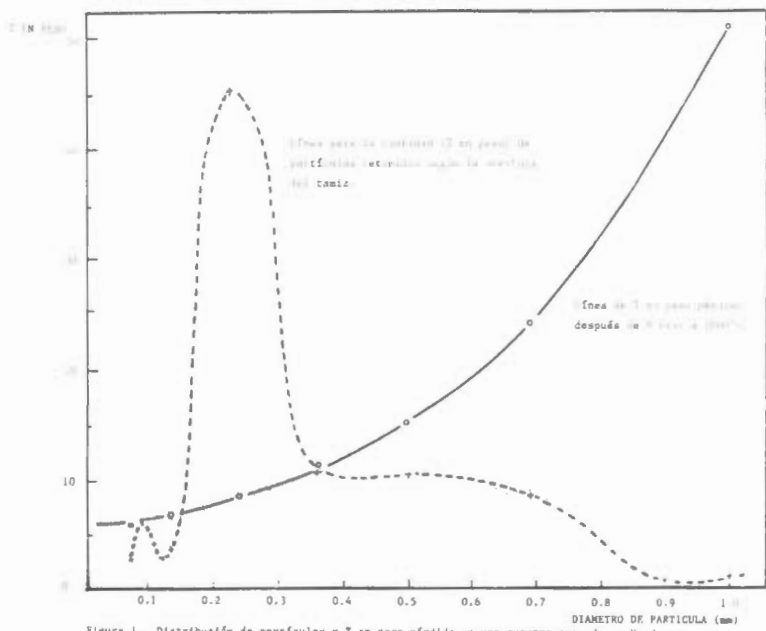


Figura 1. Distribuição de partículas e Z em peso perdido em uma amostra queimada em Minitorre

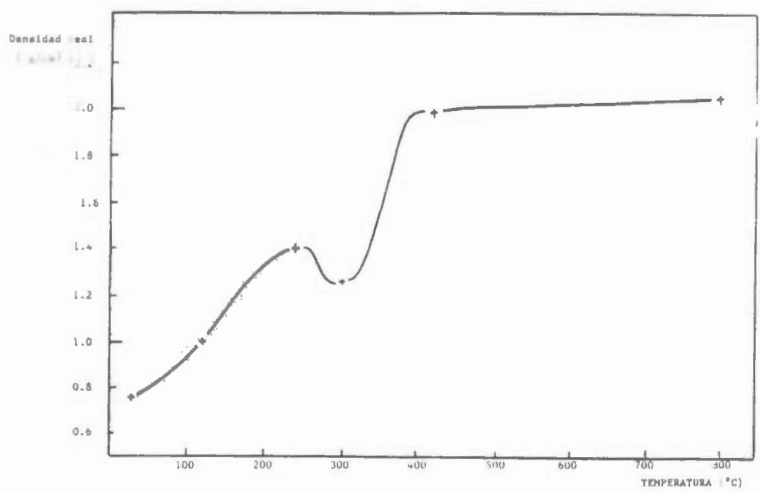


Figura 2. Evolução de la densidade real según la temperatura de quemado con un tiempo muy largo de residencia.

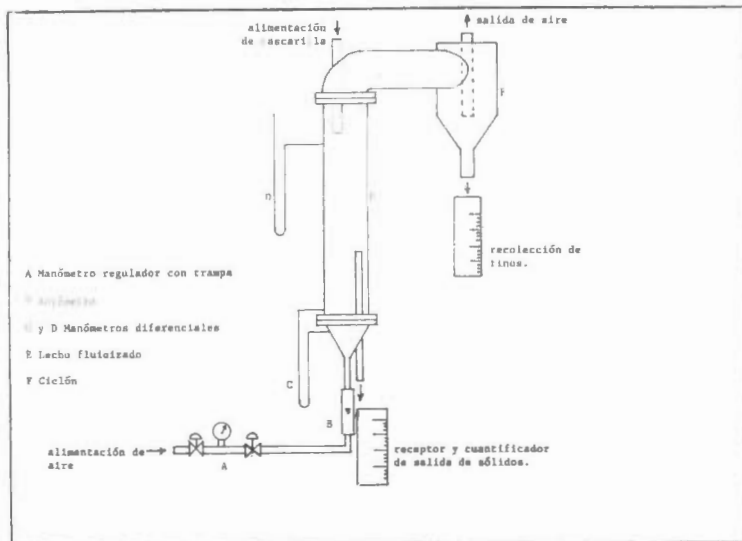


Figura 3. Diagrama del equipo experimental.

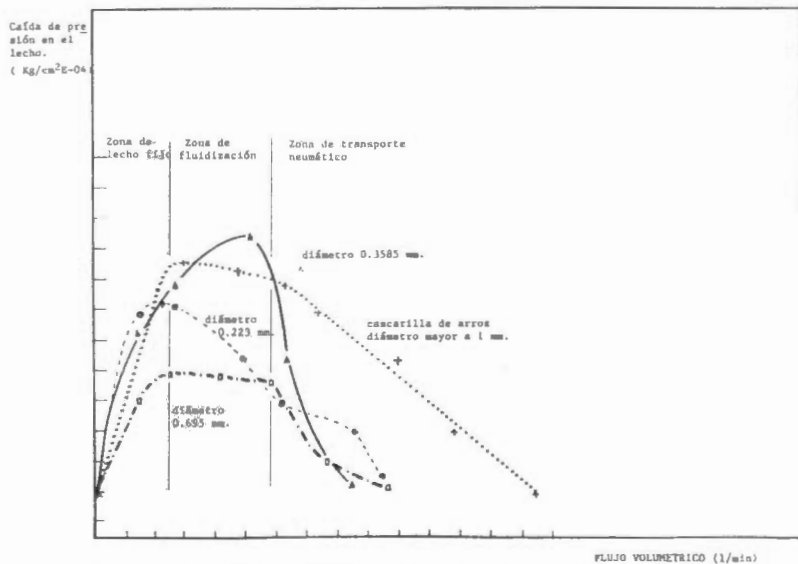


Figura 4. Fluidización de la cascavilla y de sus cenizas a diferentes diámetros.

TABLA 1

TAMAÑO DE PARTICULA	% EN PESO	FORMA
Superior a 1 mm.	89.5200	larga, ovalada, cóncava
1 mm.	5.0760	larga, ovalada, cóncava
entre 1.0 - 0.8 mm.	0.8942	larga, recta con pedazos
entre 0.8 - 0.59 mm.	2.5177	larga, recta con pedazos
entre 0.59 - 0.42 mm.	0.8417	paja fina
entre 0.42 - 0.297 mm.	0.5200	paja fina
entre 0.297 - 0.149 mm.	0.3013	paja fina
entre 0.149 - 0.074 mm.	0.3322	polvo fino

TABLA 2

TAMAÑO DE PARTICULA	% EN PESO	FORMA
Superior a 1 mm.	3.5820	pedazos enteros con algunos carbonizados
1 mm.	0.7715	pedazos alargados de carbón
entre 1.0 - 0.8 mm.	0.1980	pedazos de carbón con algunas cenizas.
entre 0.8 - 0.59 mm.	7.7108	pedazos de carbón con algunas cenizas.
entre 0.59 - 0.42 mm.	10.2826	granos blancuzcos con poco carbón.
entre 0.42 - 0.297 mm.	10.6532	granos blancuzcos con poco carbón.
entre 0.297 - 0.149 mm.	45.5531	granos grises con poco carbón.
entre 0.149 - 0.125 mm.	3.5165	granos grises
entre 0.125 - 0.105 mm.	4.2300	polvo gris
entre 0.105 - 0.074 mm.	6.2950	polvo gris
entre 0.074 - 0.0625 mm.	2.8000	polvo gris
inferior a 0.0625 mm.	4.1700	polvo gris

TABLA 3

TAMAÑO DE PARTICULA	CASCARILLA		CENIZAS real	DE HONDURAS aparente
	real	aparente		
Superior a 1 mm.	0.783	0.1337		0.11300
entre 1.0 - 0.8				0.11510
entre 0.59 - 0.42				0.17057
entre 0.297 - 0.149				0.27238
entre 0.125 - 0.105				0.29990
entre 0.074 - 0.0625				0.30630
inferior a 0.0625			2.015	0.33370

TABLA 4

DIAMETRO { mm. }	% PESO PERDIDO
1.0	51.740
0.800 - 0.590	24.125
0.420 - 0.297	11.160
0.149 - 0.125	7.195
inferior a 0.0625	6.000

TABLA 5

TEMPERATURA DE QUEMADO (°C)	% EN PESO PERDIDO	APARENTE	REAL	APARIENCIA
	0.00	0.1337	0.7830	amarilla-café
120	13.43	0.1279	1.0370	negra
240	58.64	0.1447	1.4000	polvo negro
300	72.17	0.1815	1.2640	polvo café
425	74.83	0.2144	1.9698	polvo blanco
450	76.45	0.2004	2.0000	polvo blanco
800	77.00	0.2080	2.0500	polvo blanco

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial statements. This includes not only sales and purchases but also expenses and income. The document also highlights the need for regular reconciliation of bank statements and the company's records to identify any discrepancies early on.

In addition, the document provides a detailed breakdown of the accounting cycle, from identifying the accounting entity to preparing financial statements. It explains how each step contributes to the overall accuracy and reliability of the financial data. The document also includes a section on the importance of internal controls, which are designed to prevent errors and fraud within the organization.

The second part of the document focuses on the practical application of these principles. It provides a series of examples and exercises that illustrate how to record transactions in the general ledger and how to calculate the ending balances for each account. These examples cover a wide range of business activities, from simple sales and purchases to more complex transactions involving inventory and depreciation.

Finally, the document concludes with a summary of the key points discussed throughout the document. It reiterates the importance of accuracy, regular reconciliation, and the use of internal controls to ensure the reliability of the financial statements. The document also includes a list of references and a glossary of key terms used throughout the text.

LA INGENIERIA EN ENERGIA Y SU PARTICIPACION EN LOS PROGRAMAS PARA EL AHORRO DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA

Juan José Ambris García y Hernando Romero Paredes Rubio

Area de Ingeniería en Recursos Energéticos
 Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
 A.P. 55-534. 09340, México, D.F. Tel. 686-0322 Exts. 232,233

RESUMEN

Los ingenieros en energía son los recursos humanos mejor capacitados para planear y ejecutar los programas de uso racional de la energía en los distintos sectores de consumo, sin embargo, los planes y programas de estudio vigentes no contemplan varios aspectos necesarios para asegurar el éxito del trabajo. El presente artículo tiene por objetivo presentar y discutir los principales elementos necesarios para instaurar correctamente un programa de uso racional de la energía, la importancia que tiene la selección de los recursos humanos y la selección del coordinador general del programa o administrador de energía.

INTRODUCCION

La política energética federal vigente ha conferido la máxima prioridad al ahorro y uso eficiente de la energía, a través de un esfuerzo integral en el que deberá participar toda la sociedad. Los principales sectores consumidores de energía se han unido a esta preocupación nacional y cada día se observan más programas y acciones encaminadas al uso óptimo de los energéticos. Por su parte, universidades e institutos tecnológicos empiezan a adecuar planes y programas de estudio para preparar a los técnicos y profesionistas idóneos para llevar a cabo con éxito las actividades sobre ahorro y optimización energética.

Sin embargo, es un hecho de que la necesidad nacional de utilizar más eficientemente la energía, así como la rápida apertura de este mercado potencial, ha tenido por efecto que algunos estudios hayan sido efectuados por técnicos insuficientemente capacitados y cuyos resultados han sido malos para el contratante y para la imagen del ahorro de energía en general.

La ingeniería energética es una disciplina de reciente creación, que apenas empieza a definir el perfil de su campo de acción. Entre las múltiples opciones ocupacionales sobresalen las relacionadas con el uso eficiente o racional en todo tipo de empresas por ser el tipo de trabajo más acorde con su actual formación académica, ya que son las personas más indicadas para efectuar

estudios de optimización de sistemas energéticos.

En esta contribución se presentan los principales aspectos que deben considerarse para la correcta ejecución de un Programa para el Uso Racional de la Energía (PURE), así como el papel que juegan los recursos humanos seleccionados.

ANTECEDENTES

Desde la antigüedad, la energía ha estado presente en la mayor parte de las actividades del hombre. Su uso es en gran medida un factor condicionante del desarrollo económico; los índices de consumo de energéticos y el producto interno bruto per cápita han sido indicadores confiables del grado de desarrollo de una sociedad o nación. En la sociedad moderna se han consolidado los vínculos entre energía, sociedad y economía.

Gracias a la amplia disponibilidad de leña y carbón mineral, el panorama energético se apoyó fundamentalmente en tales insumos en el siglo pasado y buena parte del presente. No obstante, las mejores características, técnicas y económicas, del petróleo y sus derivados le confirieron un papel preponderante en la segunda mitad del siglo XX. Su abundancia y bajo precio también propiciaron el acelerado crecimiento de las economías de los países industrializados. El panorama energético

mundial evolucionó hacia una cada vez mayor dependencia del petróleo y, simultáneamente, se desarrollaron patrones de consumo distorsionados por su ineficiente empleo.

De esta forma, en 1970 la estructura de consumo de energía en los países desarrollados se basaba en 72.9% del total en el petróleo. El conflicto armado del Medio Oriente de los años 1973-1974, conocido como primera crisis petrolera, tuvo efectos sumamente importantes en el campo energético, ya que en ese breve lapso los precios del petróleo se elevaron en más de cuatro veces. Repentinamente el mundo industrializado tomó conciencia de su vulnerabilidad energética y se sucedieron cambios y transformaciones en los hábitos de consumo y en las infra-estructuras productivas.

Los cambios más importantes se dieron por el lado de la demanda, los países desarrollados impulsaron la implantación de políticas de ahorro, uso racional o conservación de energía; la diversificación de fuentes de suministro, con el aprovechamiento de todos los recursos locales, inclusive las energías alternas y, por último, con el apoyo decidido al desarrollo de otros países de abasto seguro y económico (México, por ejemplo). La intensidad del esfuerzo fue tal que para finales de los 80 el consumo total mundial de energía empezó a disminuir en 0.3% anualmente, mientras que en los países industrializados este valor alcanzó el 3% en promedio anual.

Los efectos del ahorro de energía han sido determinantes para el sector energético y la economía; la eficiencia energética de la planta productora mundial se ha incrementado. Desafortunadamente, ha sido el peso de los países desarrollados en el balance mundial el que ha permitido alcanzar los resultados descritos; la contribución de los países no desarrollados o en vías de desarrollo ha sido marginal o, inclusive, contraria a la tendencia observada en las economías capitalistas.

En nuestro país, el sector energético es un elemento clave en la economía, pues representa una elevada contribución a los ingresos del gobierno federal, principalmente por exportaciones de hidrocarburos e impuestos de diversa índole. Por ejemplo, en 1989 los ingresos petroleros por 21,862 miles de millones de pesos representaron el 26.7% de la captación total nacional.

A pesar de sus innegables aportaciones al proceso de desarrollo nacional, el sector energético nacional se enfrenta a un problemática compleja en la que destacan

dos aspectos. El primero es el alto consumo de energía total por unidad de producto producido, así como las tazas de crecimiento del consumo de energía, que son muy superiores a las del producto interno bruto (PIB). En el periodo, 1975-1980, mientras que en los países desarrollados se observaban tendencias contrarias, en México el consumo nacional total de energía creció 9.4% en promedio anual, mientras que el PIB se incrementaba en 6.7% anualmente. Las elevadas tazas de crecimiento de la demanda eléctrica hacen que, de mantenerse sin cambio, en el año 2000 se requiera un capacidad instalada de generación del doble de la actual.

El segundo problema es la elevada dependencia de los hidrocarburos en el balance nacional de energía, pues las cifras indican que más del 80% proviene de este recurso. El parque de generación eléctrica se apoya cada vez más en este recurso no renovable. Por su parte, la capacidad de refinación se encuentra cerca del nivel de saturación. A largo plazo, esta situación puede representar un alto grado de vulnerabilidad.

EL AHORRO DE ENERGIA EN MEXICO

El panorama del uso eficiente de la energía en México es bastante reciente. En los años previos a los 70, en los cuales la capacidad exportadora de hidrocarburos nacional no existía, se hacía un mejor uso de los energéticos. A partir de la segunda mitad de los 70, la fiebre petrolera originó que el país empezara a usar dispendiosamente sus recursos energéticos.

Las primeras acciones emprendidas para que el país iniciara programas de racionalización surgieron de instancias académicas, entre éstas sobresale el Seminario Nacional sobre el Uso Racional de la Energía, que se celebra anualmente desde 1980 y que fue promovido inicialmente por la Universidad Autónoma Metropolitana [1].

El primer esfuerzo oficial, del que tenemos noticias, para promover el uso racional de la energía en México, consistió en la publicación de un manual de medidas para ahorrar energía, traducción de un libro estadounidense, por parte de la Comisión de Energéticos de la SEPAPIN en 1977 [2]. De estas fechas también datan algunos esfuerzos privados por instaurar programas de ahorro de energía en empresas con componente internacional, sin embargo, la política de bajos precios y tarifas para atraer inversionistas desmotivó los incipientes intentos.

En 1979 se estableció el Programa Nacional de Uso Racional de la Energía Eléctrica (PRONUREE), enfocado principalmente a los usuarios de la energía eléctrica.

El interés gubernamental para usar más racionalmente la energía aparece en el Plan de Energía del Gobierno Federal en 1980, aunque sin precisar metas concretas. En el Plan de Energéticos del sexenio siguiente, publicado en 1984, se hace patente la necesidad de tomar medidas para mejorar los niveles de eficiencia energética, se fijan objetivos, estrategias y metas en la materia; destaca la obligatoriedad de las empresas estatales de instaurar programas de uso eficiente de la energía. En ese mismo año se crea el Programa de Conservación y Ahorro de Energía de Petróleos Mexicanos (PROCAE) cuyos resultados han sido muy alentadores. No obstante, los efectos de la recesión económica enmascararon los resultados obtenidos y no fue posible distinguir si la disminución en el consumo de energía se debió al Plan o a la crisis económica general.

El presente sexenio ha hecho del ahorro de energía una de sus principales prioridades, en torno a la cual se estructuran las políticas en la materia, tal y como se reseña ampliamente en el Plan Nacional de Energéticos 1988-1994. Para apoyar los planteamientos del programa, se constituyó en septiembre de 1989 la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), con la idea fundamental de coordinar las tareas sobre conservación y uso racional de la energía. Posteriormente, el sector eléctrico creó en agosto de 1990 el Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE), con aportaciones del todos los sectores y cuyo objetivo central es canalizar recursos específicos a la realización de acciones encaminadas al uso racional de la energía eléctrica.

Las actividades de los organismos y dependencias mencionados para promover el ahorro de energía y su uso eficiente se han visto afectados por diversos factores, los más importantes son:

a) Muchos de los adelantos logrados en países desarrollados no son directamente aplicables al nuestro por las características propias de la estructura industrial nacional, por lo que se requiere previamente una adaptación tecnológica importante y seria.

b) Los precios y tarifas no han alcanzado niveles suficientemente elevados para interesar decididamente a los directivos de empresas.

c) La aplicación de medidas de conservación o de programas de uso racional de la energía se ha hecho de manera aleatoria e indiscriminada, generalmente por personas no directamente ligadas al uso de la energía, o como funciones adicionales a las ya asignadas, lo cual ha traído aparejado malos resultados y escasa continuidad en los esfuerzos.

ch) La ejecución de programas de ahorro de energía se enfrentan a menudo a la ausencia de datos suficientes para la realización de los balances de energía y materia y la identificación posterior de áreas de oportunidad de ahorro.

d) No existe la cultura energética suficiente para estructurar un PURE, ni suficiente personal capacitado.

e) La industria nacional presenta características diferentes de los países desarrollados como son un amplio espectro de tecnologías empleadas para la producción de un bien (principio de operación, país de origen, etc.); la avanzada edad de muchas instalaciones y aunado a niveles insuficientes de mantenimiento y conservación; el grado de instrumentación es muy bajo.

Es común, que al efectuar estudios energéticos de instalaciones industriales nacionales, sin conocer previamente el tipo de problemas descrito arriba, se tengan grandes dificultades para la realización de los trabajos, lo cual a menudo se traduce en el incumplimiento del objetivo original.

INSTRUMENTACION DE UN PROGRAMA PARA EL USO RACIONAL DE LA ENERGIA

La instauración de un PURE en empresas productivas es un proceso complejo que tiene que ser coordinado por una persona suficientemente capacitada en la administración de la energía. Se entiende por administración de la energía al conjunto de acciones que deben realizarse para conocer, planear, evaluar, organizar, supervisar, dirigir, integrar y controlar los consumos y usos energéticos en las instalaciones de interés [3]. Los principales elementos que afectan su buen desarrollo se presentan en el Cuadro 1.

Es frecuente que al pretender minimizar los consumos de energía en una planta industrial, no se tenga una idea clara de cómo debe ser abordado el problema y que no se disponga de los datos requeridos para la realización de los análisis energéticos. Todo esto origina que el diagnóstico de la situación energética,

así como el establecimiento de posibles medidas de conservación, sea sumamente problemático.

Una herramienta muy útil para iniciar el estudio en las instalaciones consiste en conocer los consumos históricos y actuales de energía, por unidad de producto y por tipo de energético. En la primera fase de los trabajos se hace el diagnóstico de las rutinas de operación y mantenimiento y su relación con la utilización de la energía; al mismo tiempo se tratan de identificar las acciones en que se observe alguna posibilidad de disminuir el consumo de energía.

En la segunda etapa se realizan los balances de materia y energía por proceso, con el objetivo central de conocer el tipo y cantidad de cada fuente de energía empleada, así como la eficiencia de utilización. Se hacen balances de energía térmica y de energía eléctrica; se evalúan las entradas, salidas y energía perdida. De esta manera es posible identificar los puntos del diagrama de flujo de mayor uso de energía, en donde es posible generar algún ahorro.

A la manera de conocer el estado de funcionamiento energético de la planta se le llama auditoría o diagnóstico de energía; ésta consiste en determinar dónde, de qué modo y cuánta energía se usa en el proceso. Por otra parte, el diagnóstico energético también coadyuva a establecer un control de los diversos insumos energéticos y su impacto en los costos de producción. Para ello es necesaria la adopción de un sistema organizado y metódico de contabilidad analítica de las fuentes de abastecimiento de energía y de los principales equipos o procesos donde se tienen altos consumos.

Al iniciar el programa se contemplan exclusivamente medidas de ajuste a los procesos de producción de la planta, ya que su ejecución representa erogaciones económicas relativamente bajas y los resultados generalmente son importantes desde el corto plazo. Cuando se tienen procesos altamente consumidores de energía que influyen notablemente en la economía y competitividad de la empresa es recomendable el cambio de equipos o, inclusive, de procesos completos por otros más eficientes en su uso. El estudio y recomendaciones para efectuar dichos cambios se llevan a cabo en una fase posterior.

Un PURE organizado de manera integral debe contemplar la transmisión al personal de la empresa de los conocimientos generados, para ello es

recomendable organizar cursos de adiestramiento y capacitación enfocados a los diferentes niveles operativos y gerenciales.

EL ADMINISTRADOR DE LA ENERGIA

Un programa exitoso de administración de la energía es algo más que la conservación y buen uso de la misma. Debe ser un programa integral que incluya cada área de negocios. Un PURE no es exclusivamente técnico; toma en cuenta la planificación, comunicación, ventas y mercadeo. Afecta a todas las utilidades del negocio; por lo que la persona encargada de este puesto será altamente visible dentro de la organización.

Es indudable que una pieza fundamental en la administración energética es el encargado de la administración de la energía, los ingenieros en energía de la Universidad Autónoma Metropolitana, pueden llegar a constituirse en el personal mejor capacitado para organizar los programas de ahorro de energía. Este programa de estudios se ofrece desde el año de 1974; sus egresados tienen el perfil idóneo para efectuar estudios de optimización de sistemas energéticos y para coordinar y dirigir la instauración de programas de uso racional de la energía.

La licenciatura se apoya en los proyectos derivados del programa de investigación sobre el "Uso Racional de la Energía en la Industria" del Área de Ingeniería en Recursos Energéticos del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. Se han efectuado diferentes estudios encaminados al uso racional de la energía; se ha trabajado en metodologías de diagnóstico energético para la industria eléctrica, cementera, siderúrgica y del papel, entre otras.

En algunos países, se efectúan cursos y exámenes de certificación o calificación para auditores de energía, cuyo contenidos y características son reglamentadas gubernamentalmente. En EUA, la guía para los auditores Clase A señalan que la persona que lleve a cabo una auditoría industrial debe poseer la licenciatura en ingeniería de un colegio o universidad acreditada por el Consejo de Ingenieros para el Desarrollo Profesional, además de 4 años de experiencia en procesos industriales, para asegurar que los auditores energéticos están calificados.

En México, a pesar del gran impulso que se pretende al uso racional de la energía, aún no se ha establecido ningún tipo de reglamentación en este sentido. La magnitud de las necesidades hace que

se recurra a especialistas de ramas afines a la ingeniería energética, en ocasiones con preparación insuficiente en el tema, con lo cual es bastante frecuente encontrar que el contratante quedó insatisfecho con los resultados alcanzados al no gozar de la mejor asesoría profesional posible.

La ingeniería en energía es la rama de la ingeniería que aplica el conocimiento científico al incremento de la eficiencia energética global. Combina la habilidad de la ingeniería con el conocimiento de los problemas energéticos. El ingeniero en energía debe ser capaz de identificar los problemas en el uso de la energía, diseñar soluciones creativas e instrumentar los procesos.

La ingeniería en energía requiere de sistemas o metodologías de acercamiento a los problemas y es interdisciplinaria por naturaleza. El ingeniero en energía debe tener conocimiento y habilidad en la solución de problemas eléctricos, térmicos y de procesos, así como un buen conocimiento a nivel gerencial.

CONCLUSIONES

De manera somera, dado el espacio disponible se ha tratado de describir la problemática actual para el diseño, organización e instauración de PURE, así como la importancia de los recursos humanos. De manera sintética se establecen las siguientes conclusiones:

- 1. México requiere incrementar su nivel de eficiencia energética para aspirar a tener una planta industrial más competitiva.
- 2. Las autoridades gubernamentales ya han empezado a crear el marco de referencia adecuado para su desarrollo: tarifas, políticas, leyes, etc.
- 3. Cada vez hay más directivos que tienen intenciones de sumarse a estas campañas nacionales, pero no saben cómo hacerlo, generalmente por ausencia de asesoría o de recursos humanos

propios. Los programas de energía son relativamente nuevos para la mayor parte de las empresas y aún en etapas de desarrollo.

- 4. En las industrias donde se han hecho algún esfuerzo para ahorrar energía, normalmente los presupuestos asignados son relativamente modestos. Además, la mayor parte de los PURE se llevan a cabo añadiendo responsabilidades adicionales a las ya contempladas en el organigrama directivo (producción, mantenimiento).
- 5. La formación de ingenieros en energía y la capacitación de ingenieros de ramas afines es indispensable para asegurar el éxito de los programas para el uso eficiente de la energía.
- 6. Debe insistirse que los adelantos logrados en los países industrializados sólo son parcialmente aplicables al nuestro, en virtud de las características específicas de nuestra planta industrial.
- 7. Las asociaciones gremiales de disciplinas relacionadas con el tema deben impulsar la profesionalización de este nuevo campo.

REFERENCIAS

- [1] "Memorias de los Seminarios Anuales sobre el Uso Racional de la Energía". UAM, CFE, PEMEX, ATPAE y otros. México, D. F. 1981-1990.
- [2] "Manual sobre procedimientos para el uso eficiente de la energía en la industria y el comercio". Comisión de Energéticos, SEPAFIN, México, 1977.
- [3] H. Romero, J.J. Ambríz y E. Dorbecker. "Administración de la energía". Notas del curso de actualización. UNAM-UAM. México, abril de 1989.

CUADRO 1. ELEMENTOS DE UN PROGRAMA DE USO RACIONAL DE LA ENERGIA

1. ORGANIZACION DE LA ADMINISTRACION DE LA ENERGIA

- 1.1. Definición de las etapas para la instauración del PURE.
- 1.2. Posición y actitud de los directivos de la empresa.
- 1.3. Integración y ubicación del Comité Coordinador.
- 1.4. Recopilación y análisis de la información histórica del consumo de energía.
- 1.5. Estrategias para el manejo del entorno.
- 1.6. Financiamiento y presupuesto inicial.

2. DIAGNOSTICO ENERGETICO

- 2.1. Definición y selección del tipos de diagnósticos de energía.
- 2.2. El diagnóstico preliminar.
- 2.3. Censo de equipos y dispositivos consumidores de energía eléctrica y térmica.
- 2.4. Establecimiento de los métodos de balance de energía.
- 2.5. Instrumentación y estrategia de ejecución.
- 2.6. Cuantificación del consumo de energía de los sistemas principales.
- 2.7. Sistematización y formación de bancos de datos.
- 2.8. Capacitación de recursos humanos.

3. EVALUACION DEL POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGIA Y PROPOSICION DE LAS MEDIDAS PARA ALCANZARLO.

- 3.1. Medidas administrativas y prácticas operacionales.
 - 3.2. Medidas de ajuste a los procesos de producción.
 - 3.3. Instrumentación para el control de flujos energéticos.
 - 3.4. Cambio de procesos y uso de tecnologías alternativas.
 - 3.5. Capacitación en medidas para la conservación de energía.
-

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA ELECTRONICO MULTICANAL
PARA ANAL SIS DE DEMANDA ELECTRICA
SEMAD-1-11E

ING., P. A. PARKMA, ING. R. E. BORJA, ING. M. A. BORJA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS

APARTADO POSTAL NO. 47
CUERNAVACA, MOR.
MEXICO

RESUMEN

El presente trabajo se refiere a un sistema electrónico multicanal, ha sido en un microprocesador y circuitos periféricos, desarrollado en el Instituto de Investigaciones Eléctricas, orientado a la adquisición, recuperación y procesamiento de datos de demanda real y reactiva, en intervalos cortos de tiempo, durante períodos continuos de hasta 35 días. La información adquirida se almacena en un módulo removible de memorias de estado sólido, para posteriormente transferirse a un computador personal.

INTRODUCCION

El desarrollo de equipos de medición para monitorear parámetros eléctricos, más precisamente desde los inicios del uso de la energía eléctrica. Desde entonces, se ha desarrollado una gran variedad de medidores electromecánicos que han probado su confiabilidad durante años.

Los cambios en los últimos años el amplio campo de aplicación que ofrece el microprocesador electrónico, ha impulsado el desarrollo de medidores electrónicos los cuales, permiten medir mayor número de variables bajo un amplio rango de condiciones.

En este tipo de equipos es posible almacenar de manera continua el comportamiento de la demanda a través del tiempo, información de gran valor para establecer planes de uso eficiente de la energía.

Aún cuando la tecnología utilizada en la fabricación de estos dos tipos de medidores es diferente, el medidor electromecánico y el electrónico son esencialmente el mismo, es decir, ambos integran el valor del parámetro medido, pero estos pueden no responder por igual a armónicas, transitorios y otros factores, por lo cual no necesariamente registrarán cantidades idénticas para la misma carga.

Hasta ahora, la gran cantidad de medidores electromecánicos instalados, su bajo costo, su confiabilidad y la familiaridad con sus procedimientos de calibración y verificación, han sido factores determinantes que han retardado su sustitución por medidores electrónicos.

Hasta ahora, la gran cantidad de medidores

electromecánicos instalados, su bajo costo, su confiabilidad y la familiaridad con sus procedimientos de calibración y verificación, han sido factores determinantes que han retardado su sustitución por medidores electrónicos.

Por lo anterior, en el Instituto de Investigaciones Eléctricas, se desarrolló un sistema que utiliza como señal de entrada la emitida por un medidor electromecánico a través de un inicializador de pulsos y se aprovecha los desarrollos tecnológicos en el campo de los microprocesadores y memorias de estado sólido, para almacenar la información adquirida.

La información se almacena en un módulo removible de memorias de estado sólido, para posteriormente transferirse a un computador personal, donde se procesa mediante un programa de cómputo desarrollado en el mismo Instituto, que permite la obtención de resultados de manera rápida y confiable.

El resultado obtenido es un sistema de esta tecnología, bajo costo de reproducción posibilidades de uso nacional y competitivo con sistemas similares extranjeros.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

El diseño conceptual del Sistema Electrónico Multicanal (SEMAD), se muestra en forma de diagrama de bloques en la Fig. 1, y sus características se describen a continuación:

La estructura y diseño del equipo está basado en un microprocesador (INTEL 80C31), el cual controla las diferentes áreas del equipo.

El sistema cuenta con tres canales de 16 Bits que se utilizan para recibir las señales de pulsos generadas por inicializadores de pulsos instalados en medidores electromecánicos convencionales. Estas señales son acondicionadas y protegidas contra rebotes, antes de ser aplicadas a la sección de contadores.

Los pulsos registrados en cada canal, son totalizados en forma independiente al final de cada intervalo de 15 minutos y se almacenan, tanto en un módulo removable de memoria, como en un banco de memoria fijo en el propio sistema, utilizado como respaldo. Esta operación se repite en forma ininterrumpida durante todo el período de medición.

Los dos sistemas de memoria mencionados - anteriormente, están integrados por tres memorias del tipo no volátil (EEPROM), de 8 Kbytes cada una.

La fuente de alimentación de energía eléctrica del SEMAD es la propia línea que se está midiendo (baja tensión). Además, el SEMAD cuenta con una fuente de voltaje ininterrumpible, integrada en la misma tarjeta electrónica, que le permite continuar en operación durante 24 horas, cuando ocurriera una interrupción en la línea. Durante su operación, este sistema consume 51 mA c.d.

El SEMAD cuenta también con un reloj en tiempo real, con su propia fuente de voltaje ininterrumpible, cuya base de tiempo es proporcionada por un cristal. Este reloj tiene como función indicar al sistema el término del intervalo de adquisición de datos, para que el SEMAD proceda a integrar los pulsos registrados y almacenarlos en sus memorias.

El sistema cuenta también con una interfaz Hombre-máquina, formada por un "display" - de cristal líquido y un teclado, mediante los cuales es posible interrogar y programar al sistema.

Finalmente, el SEMAD cuenta con un puerto de comunicación serie, que permitirá en versiones posteriores de "software", integrar a este sistema un MODEM para una interrogación remota vía telefónica.

OPERACION

La operación del SEMAD es muy sencilla, - pues basta con conectar en un bus las señales provenientes de los inicializadores de pulsos instalados en medidores convencionales, así como su fuente de alimentación externa (127 v.c.a.).

Los datos de fecha y hora actual, así como las constantes de multiplicación de sus canales, pudieron ser programadas previamente, o bien, esto puede realizarse en el sitio de instalación.

Para la interacción, será necesario llevar al

SEMAD, mediante su teclado, al modo de programación, introducir una clave de acceso y posteriormente, mediante el teclado, responder a las preguntas específicas que realiza el SEMAD a través de su display, para efectuar su nueva programación.

Enseguida; introducir el cartucho de memorias, activar el interruptor encendido y finalmente oprimir la tecla de arranque, con lo que el SEMAD inicia una secuencia - autodiagnóstico de sus subsistemas, reportando al operador los resultados.

Una vez pasadas estas pruebas, el SEMAD - inicia la adquisición ininterrumpida de información, grabando en sus circuitos de memoria la hora y la fecha de inicio de operación.

Durante el proceso de adquisición de datos, el SEMAD realiza constantemente pruebas de autodiagnóstico de sus subsistemas, para garantizar su correcta operación así como la captura de información.

Al final del período de información, hasta 15 con oprimir la tecla que interrumpe su modo de adquisición de datos, desactivar el interruptor de encendido y remover el módulo de memoria.

La estructura y "software" con que está diseñado este sistema, permiten realizar las siguientes funciones:

- 1.- Capturar y almacenar, en forma consecutiva y autónoma durante períodos de 30 días, los valores simultáneos en intervalos de 15 minutos para:
 - . kW-h
 - . VAR-h
 - . V²-h
- 2.- Mostrar en un monitor alfanumérico ("display"), el estado de operación del sistema, esta, en operación normal o falla y tipo de falla del sistema, fecha y hora actual, y número de días - que restan para saturar su capacidad de almacenamiento de información.
- 3.- Por solicitud del operador a través - de un teclado integrado, desplazar - los valores correspondientes al último período de 15 minutos para los siguientes parámetros:
 - . W
 - . VAR

RECUPERACION DE INFORMACION

Al término del período de adquisición de datos, el módulo de memoria es removido - del SEMAD y trasladado al centro de procesamiento de información, donde se conecta a otro equipo electrónico que funciona como un dispositivo periférico de un computador personal.

Este dispositivo se maneja desde la compu

tadora mediante un programa tutorial que, mediante un menú, permite transferir la información almacenada en el módulo de memorias al computador personal.

Una vez que los datos han sido transferidos a la microcomputadora, se procede a su decodificación y resguardo en el disquete (o en "diskets") de la misma, para su posterior procesamiento.

Para fines de recuperación y procesamiento de la información adquirida por el SEMAD, se requiere de un microcomputador tipo IBM PC/XT AT o compatible y de un impresor para la elaboración automática de los informes de resultados generados.

PROCEDIMIENTO DE DATOS

El procesamiento final de los datos adquiridos por el SEMAD, se realiza mediante un programa de cómputo estructurado en forma modular y tutorial.

Durante su ejecución, los datos se toman automáticamente de los archivos creados por el programa de captura de datos, se procesan y los resultados se graban en archivos en el disco del microcomputador, de donde se pueden extraer a pantalla o a impresión tanto en forma tabular como gráfica.

A partir de la base de datos original (kW, kVAh y kVh), el programa calcula los datos correspondientes de kVA y Factor de Potencia, permitiendo obtener, para cada una de estas variables, los siguientes resultados:

1.- RESULTADOS A NIVEL DIARIO

- 6 valores máximos con su hora de ocurrencia
- 6 valores mínimos con su hora de ocurrencia
- Valor promedio
- Total

2.- RESULTADOS DEL PERIODO

- 6 valores máximos con su hora y fecha de ocurrencia
- 6 valores mínimos con su hora y fecha de ocurrencia
- Valor promedio
- Total
- Duración en días del periodo de medición
- Curva o Histograma de frecuencias
- Patrón de distribución diario
- Patrón de distribución diario por día de la semana
- Promedios horarios

NOTA: En caso de que la variable en proceso sea kV, se obtiene el rango de su variación a nivel diario y del periodo en substitución del total.

GRAFICOS

Durante la ejecución del programa de procesamiento de datos, es posible obtener los gráficos a nivel diario, semanal y del periodo, para la variable en proceso.

Estos gráficos pueden ser analizados en la pantalla del microcomputador, o bien imprimirse si así se desea.

CONCLUSIONES

El concepto básico para el desarrollo de este Sistema Electrónico Medidor está fundamentado en la confianza y familiaridad que las compañías suministradoras de electricidad tienen en los medidores electromecánicos convencionales. El método de integración de pulsos utilizado por el SEMAD, presenta las siguientes ventajas:

1. El SEMAD no requiere de calibración, ya que no genera ninguna señal analógica.
2. La precisión del SEMAD depende únicamente de la precisión del medidor electromecánico de donde proviene la señal cuya procedencia de calibración está perfectamente controlada por las compañías suministradoras de electricidad.
3. La señal adquirida no depende del voltaje de operación del medidor poseer señal, por lo que el SEMAD puede utilizarse para adquisición de datos en diferentes voltajes.
4. La señal registrada es independiente del tipo de medidor, por lo que el SEMAD es compatible con cualquier medidor electromecánico comercial.
5. No existe acoplamiento eléctrico entre el SEMAD y el medidor, por lo que su instalación no afectará la medición original.
6. Con la información proporcionada mediante el procesamiento de datos adquiridos por el SEMAD, se obtendrá un conocimiento detallado del comportamiento de la carga a lo largo del periodo de medición.

A partir de esta información el usuario de energía eléctrica podrá implementar un plan para el uso eficiente de la energía, obteniendo así un ahorro en energía y por consiguiente en dinero.

tadora mediante un programa tutorial que, mediante un menú, permite transferir la información almacenada en el módulo de memorias al computador personal.

Una vez que los datos han sido transferidos a la microcomputadora, se procede a su decodificación y resguardo en el disco duro (o en "disketts") de la misma, para su posterior procesamiento.

Para fines de recuperación y procesamiento de la información adquirida por el SEMAD, se requiere de un microcomputador tipo IBM PC/IT/AT o compatible y de un impresor para la elaboración automática de los informes de resultados generados.

PROCESO DE DATOS

El procesamiento final de los datos adquiridos por el SEMAD, se realiza mediante un programa de cómputo estructurado en forma modular y tutorial.

Durante su ejecución, los datos se toman automáticamente de los archivos creados por el programa de captura de datos, se procesan y los resultados se graban en archivos en el disco del microcomputador, de donde se pueden extraer a pantalla o a impresión tanto en forma tabular como gráfica.

A partir de la base de datos original (kW, kVAR y kV), el programa calcula los datos correspondientes de kVA y Factor de Potencia, permitiendo obtener, para cada una de estas variables, los siguientes resultados:

1.- RESULTADOS A NIVEL DIARIO

- 6 valores máximos con su hora de ocurrencia
- 6 valores mínimos con su hora de ocurrencia
- Valor promedio
- Total

2.- RESULTADOS DEL PERIODO

- 6 valores máximos con su hora y fecha de ocurrencia
- 6 valores mínimos con su fecha y hora de ocurrencia
- Valor promedio
- Total
- Duración en días del periodo de medición
- Curva o Histograma de frecuencias
- Patrón de distribución diario
- Patrón de distribución diario por día de la semana
- Promedios horarios

NOTA: En caso de que la variable en proceso sea kV, se obtiene el rango de su variación a nivel diario y del periodo en sustitución del total.

GRAFICOS

Durante la ejecución del programa de procesamiento de datos, es posible obtener los gráficos a nivel diario, semanal y del periodo, para la variable en proceso.

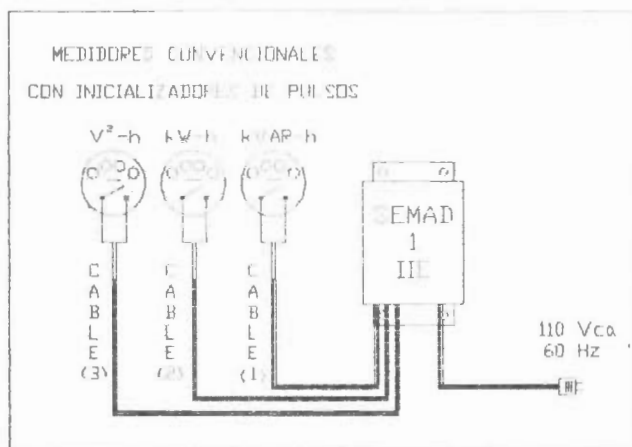
Estos gráficos pueden ser analizados en la pantalla del microcomputador, o bien imprimirse si así se desea.

CONCLUSIONES

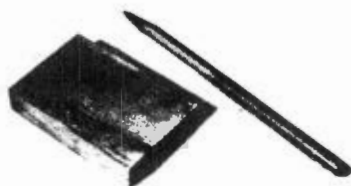
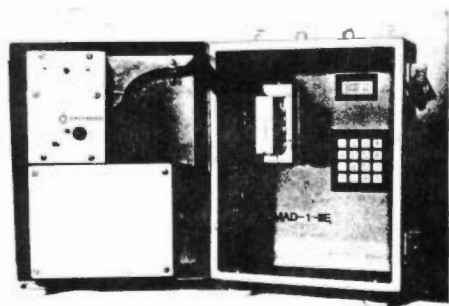
El concepto básico para el desarrollo de este Sistema Electrónico Multicanal está fundamentado en la confianza y familiaridad que las compañías suministradoras de electricidad tienen en los medidores electromecánicos convencionales. El método de integración de pulsos utilizado por el SEMAD, presenta las siguientes ventajas:

1. El SEMAD no requiere de calibración ya que no maneja ninguna señal analógica.
2. La precisión del SEMAD depende únicamente de la precisión de los medidores electromecánicos de donde proviene la señal, cuyo procedimiento de calibración está perfectamente controlado por las compañías suministradoras de electricidad.
3. La señal adquirida no depende del voltaje de operación del medidor convencional, por lo que el SEMAD puede utilizarse para adquisición de datos en diferentes voltajes.
4. La señal registrada es independiente del tipo de medidor, por lo que el SEMAD es compatible con cualquier medidor electromecánico comercial.
5. No existe acomplamiento eléctrico entre el SEMAD y el medidor, por lo que su instalación no afectará la medición original.
6. Con la información proporcionada mediante el procesamiento de datos adquiridos por el SEMAD, se obtendrá un conocimiento detallado del comportamiento de la carga a lo largo del periodo de medición.

A partir de esta información el usuario de energía eléctrica podrá implementar un plan para el uso eficiente de la energía, obteniendo así un ahorro en energía y por consiguiente en dinero.



Conexión del equipo a los sensores y a la fuente de alimentación



Sistema eléctrico multicanal (SEMAD-1-IE) y módulo removible de memoria

CAPACIDAD NOMINAL : 10 MVA TENSION NOMINAL CIRCUITO : 17.5 KV
 fecha de inicio de mediciones (D/M/A) : 12/12/80 A LAS 22:00 HRS
 fecha de termino de mediciones (D/M/A) : 12/12/80 A LAS 15:30 HRS

CURVA DE FRECUENCIA

KILOWATTS

RANGO	FRECUEN- CIA (HRS)	PROMEDIO
300	0.25	272.00
360	0.00	3.00
420	0.00	407.67
480	14.75	452.00
540	22.25	504.40
600	10.50	570.50
660	15.50	627.10
720	8.25	690.70
780	9.00	747.89
840	3.50	810.00
900	5.00	871.00
960	7.50	930.40
1020	10.75	989.50
1080	17.00	1048.00
1140	9.00	1107.00
1200	3.25	1170.11
1260	3.25	1230.77
1320	1.75	1297.00
1380	0.25	1350.40
1440	0.00	1414.00
1500	0.50	1468.00
1560	0.25	1529.00
1620	0.25	1590.00

 TOTAL CARGA : 17.5 (KWH)

EJEMPLO DE RESULTADOS GRAFICOS OBTENIDOS
 POR MEDIO DEL SISTEMA.

RESUMEN DEL PERIODO

K I C WATTS

```

=====
PROMEDIO DEL PERIODO ..... 817.76
VALOR MAXIMO DEL PERIODO ..... 1560.00
VALOR MINIMO DEL PERIODO ..... 272.00
TOTAL DEL PERIODO ..... 132069.00
DURACION DEL PERIODO ..... 8 (DIAS)
FECHA DE OCURRENCIA DEL VALOR MAX ..... 7/12
HORA DE OCURRENCIA DEL VALOR MAX ..... 19.15
FECHA DE OCURRENCIA DEL VALOR MIN ..... 10/12
HORA DE OCURRENCIA DEL VALOR MIN ..... 4.00
=====

```

VALORES MAXIMOS DEL PERIODO

```

=====
DIA MES HORA VALOR DIA MES HORA VALOR
-----
 7 12 19.15 1560.00 11 12 19.45 1544.00
 7 12 19.20 1548.00 7 12 19.45 1544.00
11 12 19.30 1544.00 11 12 19.15 1540.00
=====

```

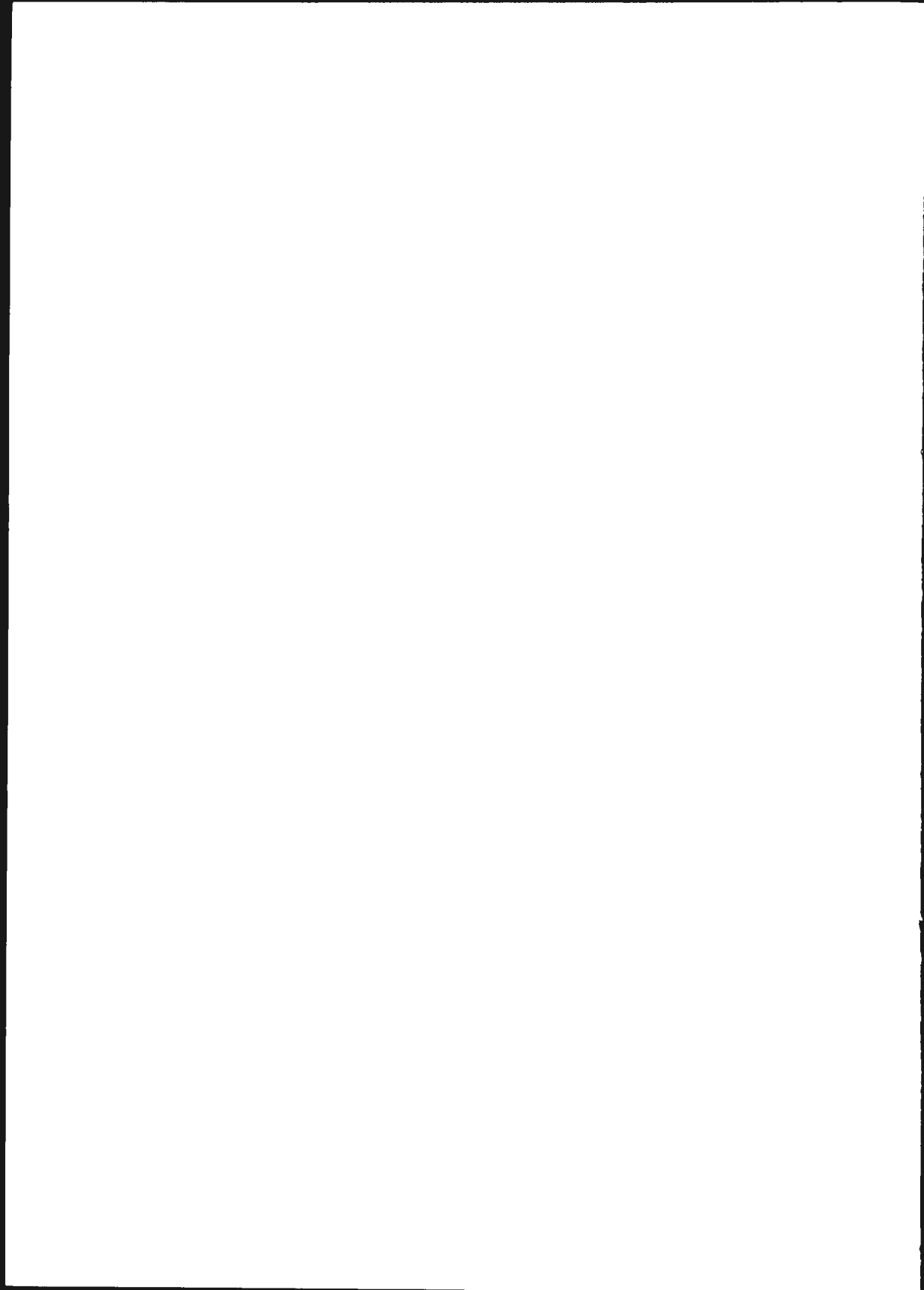
VALORES MINIMOS DEL PERIODO

```

=====
DIA MES HORA VALOR DIA MES HORA VALOR
-----
10 12 21.00 272.00 13 12 4.00 404.00
11 12 4.45 400.00 13 12 4.15 404.00
13 12 5.00 400.00 13 12 4.30 404.00
=====

```

EJEMPLO DE RESULTADOS GENERADOS POR EL SISTEMA.



TRES METODOS SENCILLOS PARA ESTIMAR INFORMACION SOLARIMETRICA E
HIGROTÉRMICA PARA DISEÑOS AHORRADORES DE ENERGIA

Adalberto Tejeda Martínez * y Terpsicore Zacarías C.

*Fac. de Física de la Universidad Veracruzana.
Apdo. Postal 270. Tel. 91-281-78209.
c.p.91000. Xalapa, Ver.

RESUMEN

En forma de programas computacionales, se presentan tres métodos sencillos, aplicables a la república mexicana, para estimar información solarimétrica e higrotérmica, útil en los diseños urbanos o arquitectónicos con pretenciones de ahorro en el consumo energético. Se trata de modificaciones importantes a un trabajo previo (Tejeda y Zacarías, 1990).

1. GENERALIDADES

Combinando modelos reportados por la literatura, el programa RADICION.BAS calcula datos diarios medios mensuales de radiación global, directa y difusa, a partir de información heliográfica o promedios climáticos de días nublados, medio nublados y despejados al mes.

El programa MARDIA.BAS simula la marcha diaria de la temperatura ambiente (T), humedad relativa (HR), temperatura de bulbo húmedo (Tw) o algún índice de confort (IC) climático que sea una combinación lineal de T y Tw (p.e. $IC = [T + Tw]/2$). Los resultados los clasifica en grados de sensación térmica, higroscópica o higrotérmica, considerando como sensación óptima la combinación de temperatura preferente y HR = 50%.

El HIGROTÉR.BAS (versión 1.2) modela la marcha diaria media mensual de T y HR, usando como datos de entrada las medias mensuales máximas y mínimas de T y HR; pero además es capaz de estimar valores de humedad a partir de promedios de temperaturas extremas, usando una ecuación adaptada para las condiciones de cada mes.

Los dos últimos programas se basan en modelos desarrollados por el primer autor (Tejeda, 1990). En todos los casos el error estándar de regresión no rebasa el 10% para una confiabilidad del 95%.

Estos programas corren cargando previamente alguna versión de lenguaje BASIC (BASICA.EXE, GWBASIC.EXE, etc).

Si no se conoce su uso, basta con consultar en un manual el funcionamiento de los comandos LOAD", RUN y FILES.

En los archivos que genere RADICION.BAS se sugiere usar la extensión .RAD. En el MARDIA.BAS deben contemplarse cuatro casos: el de temperatura ambiente (extensión .TA), temperatura de bulbo húmedo (.TW), humedad relativa (.HR) e índice de confort (.IC). Para los archivos de HIGROTÉR.BAS se propone usar .HIG.

Los valores de latitud y longitud se deben proporcionar en grados y décimas (no en minutos). Las temperatura y el IC en °C, y la HR en % (no en décimas). En las tablas de salida de RADICION.BAS todas las fracciones de ángulos y horas aparecen en décimas, no en minutos.

2. PROGRAMA RADICION.BAS

2.1 Objetivo:

Estimar con un modelo simple y confiable, la radiación solar global diaria media mensual en sitios de la república mexicana, a partir de datos heliográficos o medias climatológicas de días nublados, medio nublados y despejados al mes.

Se recomienda este programa para lugares que carecen de información radiométrica, y para aplicaciones que no exijan precisión más allá de la media mensual. Se recalca que funciona para valores diarios medios mensuales.

2.2 Metodología.

Existen en la literatura antecedentes de diversos modelos para estimar la radiación solar global a partir de datos meteorológicos o climáticos. En nuestro país Hernández (1976) aplicó el modelo de Amgstrom a fotos de satélite; Galindo (1977) publicó una cartografía de la radiación global en México elaborada con datos radiométricos de superficie.

El modelo usado en este programa es el de Glover y McCulloch (1958) modificado por Ometto (1973). Comparando en diez localidades de variadas altitudes y latitudes con los resultados de Galindo y Hernández, se encontró una gran bondad de ajuste como lo muestra el Cuadro 1.

Ese mismo Cuadro presenta la secuencia de los cálculos del programa desde la entrada (Parte A) hasta la salida (Parte E).

Las dos posibilidades de entrada responden a que no en todos los sitios se tiene información heliométrica para poder introducir S (horas diarias medias mensuales de insolación o soleamiento), y así para promedios mensuales es útil la aproximación

$$S = \frac{\text{Días Desp.} + 0.5 \text{ Medio Nublados}}{\text{Núm. Días del mes}}$$

Ec. 1

donde S es la insolación astronómica (Parte C del Cuadro 1).

La declinación solar δ que tiene en memoria el programa se calculó para el día 15 de cada mes con la Ec. 2

$$\delta = 23.45 \sin 0.986 (284 + n)$$

Ec. 2

donde n es el número de día del año. Hernández et al. 1988.

Las horas de irradiación astronómica (H) se calcula el programa mediante la fórmula (Sellers, 1970, p. 15)

$$H = \frac{2}{15} (\tan^{-1}(\cos \phi \cdot \cos \delta)),$$

Ec. 3

donde ϕ es la latitud del sitio (dato de entrada).

Si el ángulo horario de la salida del sol es $H = 15S/2$, el programa

calcula la radiación global extraterrestre (K_w h/m² día) para el día 15 de cada mes sobre un plano horizontal así:

$$Q_{ex} = 10.0 \frac{H}{\text{ec}} \left[\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos H \right]$$

Ec. 4

Es una aproximación puesto que considera que el cuadrado del cociente entre la distancia real y la distancia media Tierra-Sol es casi una constante según Sellers (op. cit.) que varía entre 1.0344 y 0.9674. Dicho cociente debería multiplicar al segundo miembro de la Ec. 4.

No obstante, como se ve en el Cuadro 1, los resultados del programa RADIACION BAS comparados con los trabajos de Galindo (1976) y de Hernández (1977) son muy aproximados.

Los demás detalles de los cálculos que realiza este programa, los ilustra el Cuadro 1.

3. PROGRAMA MARIPÁ BAS

3.1 Objetivo

Simular la marcha diaria de T, T_v, I, e HR (ver RESUMEN) y clasificar los resultados en grados de sensación térmica: higroscópica o higrotérmica.

3.2 Metodología

Si X_{max} y X_{min} son los valores extremos medios mensuales de T, T_v e I, los valores horarios medios mensuales (X_m) los calcula con la expresión

$$X_m = X_{min} + y (X_{max} - X_{min}),$$

Ec. 5

donde y = 0.15 exp(-t/10), donde t es el tiempo y la forma de t se determina la forma de la onda (Cuadro 2).

Para la HR se usa la siguiente expresión:

$$HR_m = HR_{min} + (1-y)(HR_{max} - HR_{min})$$

Ec. 6

En ambos casos el coeficiente de determinación es del 95% con un error estándar de estimación de 0.8°C para las temperaturas, y 5% en las humedades relativas.

CUADRO 1. Programa RADICION.BAS

(A)

Entrada OPCION 1 : COATZACOALCOS, VER. (16.15° N; 94.42° W; 2 msnm)		Entrada OPCION 2 : PAFANTLA, VER. (20.45° N; 97.32° W; 298 msnm)		
*meses	hor. diar. insolación	No. días nublados	No. días med-nublados	No. días despejados
Enero	S= 6.80	N= 10.38	M= 8.95	D= 11.66
Febrero	7.30	9.95	6.57	11.71
Marzo	6.70	9.52	9.42	12.04
Abril	6.80	5.95	9.42	14.61
Mayo	6.40	4.30	11.30	15.40
Junio	6.90	7.61	9.95	12.42
Julio	6.00	5.33	11.76	13.90
Agosto	4.70	7.52	7.36	16.09
Septiembre	4.10	10.19	9.23	10.57
Octubre	5.80	9.33	8.90	12.76
Noviembre	4.80	8.90	9.20	11.90
Diciembre	4.90	11.35	10.05	9.60

(B)

En memoria, la declinación solar para el 15 de c/mes, con ella se calcula: $S_0 = H_s$. ins. astronómica; $Q_{ex} = \text{Rad. extraterrestre}$,
 $H_0 = \text{Ang. horario salida del Sol}$

(C)

Se calcula el cociente S/S_0 o se aproxima
 $[S/S_0] \approx [D + 1/2 M] + [D + M + N]$

(D)

Se aplica el modelo de Glover y Mc. Culloch (1958) modificado por Ometto (1973), para la radiación global Q :
 $Q = Q_{ex} (0.28 \cos(\text{Lat.}) + 0.51 S/S_0)$
 con $R^2 = 0.97$, $ESR = 0.3 \text{ Kw-h/m}^2 \text{ día}$, comparado con Hernández (1976),
 y Gallindo (1977). La rad. difusa (Q_d) con Liu y Jordan (1980):
 $Q_d = Q (1 - 1.16 Q/Q_{ex})$

(E)

PAFANTLA, VER.
(20.45° N; 97.32° W; 298 msnm)

	% cielo desp	Rad extrat °	Rad. global °	Rad. difusa °	Rad. Directa °	Horas insol. Astron. °	hora Amanec TS verd °	hora Ocaso TS verd °	declin. Solar ° (-)	Ec de Tiemp ° (min)
EN	52	7.3	3.7	1.5	2.2	10.90	6.55	17.45	-21.0	-11.0
FE	53	6.4	4.3	1.7	2.6	11.34	6.33	17.67	-13.0	-14.0
MZ	54	9.7	5.0	2.0	3.0	11.88	6.06	17.94	-2.5	-9.0
AB	64	10.7	6.1	2.1	4.1	12.45	5.77	18.23	9.0	0.0
MY	68	11.4	6.7	2.1	4.6	12.98	5.51	18.49	19.0	4.0
JH	58	11.5	6.2	2.3	3.9	13.21	5.39	18.61	23.0	0.0
JL	64	11.5	6.5	2.2	4.3	13.16	5.42	18.58	22.0	-6.0
AG	64	11.1	6.3	2.1	4.2	12.71	5.64	18.36	14.0	-4.0
SE	51	10.3	5.2	2.2	3.0	12.17	5.91	18.09	3.5	4.5
OC	56	9.0	4.8	1.9	2.9	11.60	6.20	17.80	-6.0	14.0
NV	55	7.7	4.0	1.6	2.5	11.07	6.46	17.54	-16.0	15.5
DI	47	7.0	3.4	1.5	1.9	10.79	6.61	17.39	-23.0	6.5

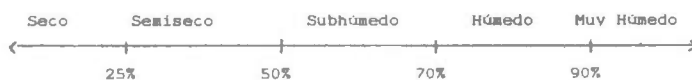
$\frac{\text{Kwh}}{\text{m}^2 \text{ día}} = \frac{1 \text{ KW}}{24 \text{ m}^2} = 66 \frac{\text{calorías}}{\text{cm}^2 \text{ día}}$ ** Para el día 15 de cada mes

CUADRO 2

Valores de (a, b, c) en función de la latitud y la época del año
para la Republica Mexicana

Meses	Latitud	Valores		
		a	b	c
Marzo a Octubre	$> 23.5^{\circ} \text{ N}$	0.026	3.190	-0.375
Noviembre a Febrero	$\geq 23.5^{\circ} \text{ N}$	0.023	3.436	-0.421
Enero a Diciembre	$< 23.5^{\circ} \text{ N}$	0.096	2.422	-0.339

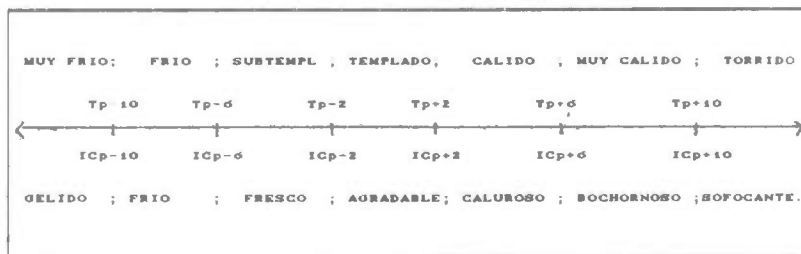
Las categorías de HR el MARDIA.BAS las establece así:



La temperatura preferente por aclimatización (Szokolay, S., 1980) válida en un intervalo de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ a una HR del 50 %, es:

$$T_p = 17.6^{\circ}\text{C} + 0.31 T_{\text{media anual}} \quad \text{Ec. 7}$$

En este programa, al IC se le aplica la misma Ec 7 para situar el intervalo de *agradable*. Así:



Los Cuadros 3 y 4, que se muestran en la página siguiente, ejemplifican la salida numérica y gráfica, respectivamente, del programa MARDIA.BAS

CUADRO No. 3

HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
23	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
22	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
21	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
20	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
19	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
18	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
17	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
16	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
15	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
14	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
13	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
12	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
11	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
10	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
9	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
8	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
7	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
6	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
5	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
4	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
3	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
2	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
1	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6
0	11.5	12.5	13.4	14.6	16.1	17.5	18.2	18.4	18.2	17.5	16.1	14.6

CUADRO S 3 y 4. Salida numérica y gráfica del programa TADIA-BAS. Temperatura ambiente de Cd. Obregón, Son. (21.12N; 109.1W, 85msnm)

HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
23	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
22	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
21	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
20	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
19	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
18	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
17	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
16	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
15	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
14	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
13	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
12	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
11	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
10	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
9	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
8	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
7	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
6	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
5	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
4	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
3	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
2	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
1	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||
0	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||	|||||

TORRIDO
 SUBTEMPLADO

MUY CALIDO
 FRIO

CALIDO
 MUY FRIO

TEMPLADO

(APLICABLE A PERSONAS ACLIMATADAS AL SITIO)

CUADRO No. 4

MANZANILLO, COI.
(19.05 N; 104.23 W; B maritim).

TEMPERATURA (GRADOS CENTIGRADOS)

MES	Tem	Tasa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ene	20.1	22.7	22.2	21.8	21.5	21.2	21.0	20.8	20.3	21.7	23.9	26.3	28.2	29.4	30.1	30.1	29.8	29.1	28.3	27.4	26.5	25.6	24.1	24.0	23.3	
Feb	20.3	22.5	22.8	21.5	21.2	20.9	20.6	20.4	19.9	21.3	23.1	25.3	27.5	29.3	30.2	30.2	29.9	29.2	28.3	27.5	26.4	25.4	24.5	23.8	23.1	
Mar	19.1	21.7	22.2	20.8	20.5	20.2	20.0	19.5	19.8	21.2	23.6	25.9	27.7	29.1	30.1	29.9	29.3	28.6	27.6	26.5	25.5	24.6	23.7	22.9	22.2	
Abr	20.5	19.8	21.7	21.8	21.5	21.1	20.9	20.6	20.5	20.1	21.6	23.4	25.1	26.1	26.1	25.5	24.3	23.3	22.9	22.0	21.0	20.0	19.1	18.3	17.5	16.7
Maj	21.5	24.5	24.1	24.1	23.4	23.2	23.0	22.9	22.9	24.7	26.9	28.8	30.3	31.2	31.5	31.3	30.9	30.2	29.4	28.5	27.7	26.9	26.2	25.5	25.0	
Jun	22.5	24.6	25.5	25.1	25.0	25.4	25.2	25.1	25.1	26.1	28.5	30.2	31.5	32.2	32.5	32.4	31.9	31.4	30.7	29.9	29.2	28.5	27.9	27.4	26.9	
Jul	22.4	24.7	25.6	25.3	25.8	25.8	25.8	25.8	26.9	28.9	30.7	32.1	32.9	33.3	33.0	32.6	32.0	31.2	30.4	29.9	29.2	28.5	27.7	27.1	26.5	
Ago	22.1	24.1	24.6	25.2	25.9	25.6	25.4	25.2	25.0	25.1	26.8	28.9	30.8	32.1	33.0	33.3	33.1	32.7	32.0	31.3	30.4	29.6	28.9	28.2	27.6	27.0
Sep	22.4	24.1	24.2	25.9	25.6	25.3	25.1	24.9	24.8	24.9	26.4	28.3	30.1	31.3	32.1	32.4	32.2	31.8	31.2	30.8	29.8	29.0	28.3	27.6	27.0	26.4
Oct	22.1	24.0	24.0	25.6	25.3	25.1	24.8	24.7	24.5	24.6	26.2	28.2	30.0	31.4	32.2	32.5	32.3	31.9	31.3	30.5	29.7	29.0	28.2	27.6	27.0	26.4
Nov	21.1	22.6	24.0	24.8	25.1	25.3	25.1	25.2	25.0	27.1	29.1	30.5	31.4	31.7	31.5	31.1	30.4	29.6	28.7	27.9	27.1	26.4	25.8	25.2	24.6	24.1
Dic	20.5	23.1	23.6	24.1	23.7	22.4	22.1	21.9	21.8	21.2	22.1	24.1	26.8	28.6	29.9	30.4	30.4	30.1	29.5	28.7	27.9	27.0	26.2	25.4	24.7	24.1

HUMEDAD RELATIVA (%)

MES	Hum	Hum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ene	96	56	86	88	88	91	92	93	94	96	90	81	72	65	59	57	57	58	61	64	68	71	75	78	81	84
Feb	96	55	85	81	89	90	92	93	93	96	90	81	71	63	58	56	55	57	59	63	66	70	74	77	80	83
Mar	96	54	86	98	90	91	92	93	94	93	85	75	66	59	56	54	55	57	60	64	68	72	75	78	81	84
Abr	96	50	80	80	90	91	92	93	93	93	85	76	67	60	56	55	56	58	61	64	68	72	75	78	81	84
Maj	96	49	81	89	90	91	92	93	93	93	86	77	68	64	60	59	60	61	64	67	71	74	77	80	83	86
Jun	96	63	86	89	90	91	92	93	93	93	87	79	72	67	64	63	63	65	67	70	73	76	79	82	84	86
Jul	96	61	87	86	90	91	92	93	93	96	79	71	65	61	61	61	61	63	66	69	72	75	78	81	83	85
Ago	96	60	80	80	89	90	91	92	93	92	86	77	70	64	61	60	60	62	65	68	71	74	77	80	83	86
Sep	96	61	81	86	86	91	92	93	93	93	87	79	72	66	63	62	63	64	67	70	73	76	79	81	84	86
Oct	96	61	87	89	90	91	92	93	93	93	86	79	71	65	62	61	61	63	66	69	72	75	78	81	83	85
Nov	96	64	81	89	94	91	92	93	93	93	86	79	70	64	60	59	60	62	64	68	71	74	77	80	83	85
Dic	96	58	86	88	90	91	92	93	94	96	90	82	73	66	61	59	59	60	62	66	69	72	76	79	82	84

** Los índices relativos máxima, mínima y media se estimaron apartir de las temperaturas máxima y mínima

CUADRO 5. Salida de TIRY TUBAS

CUADRO 6

Coefficientes de regresión de la Ec 12 (A), el error estándar de regresión (ECP) y el coeficiente de correlación (CP), para cada mes.

MES	A ₀	A ₁	A ₂	ECP (°C)	R
Enero	17.04	1.02	0.18	1.25	0.97
Febrero	18.51	1.05	-0.22	1.50	0.98
Marzo	19.91	1.04	0.19	1.40	0.93
Abril	19.17	1.02	-0.36	2.00	0.91
Mayo	20.37	1.06	0.32	2.40	0.90
Junio	21.14	1.04	0.42	1.80	0.91
Julio	21.89	1.01	0.40	2.00	0.91
Agosto	21.03	1.00	0.41	1.90	0.90
Septiembre	21.11	1.00	0.41	1.90	0.90
Octubre	21.00	1.01	0.41	1.90	0.90
Noviembre	20.21	1.04	0.41	1.90	0.90
Diciembre	20.50	1.05	0.41	1.90	0.90

PROGRAMA HIBROTER.BAS

1. Substitivo.

Simular información horaria media mensual de temperatura ambiente y humedad relativa a partir de medias mensuales de temperaturas extremas si se tienen, datos de humedad.

2. Metodología

2.1 Opción 1:

Si se introducen medias extremas de T y HR funciona de manera similar a MAFDIA BAS pero sin salida numérica (Cuadro 5).

2.2 Opción 2:

Los datos de entrada son las medias mensuales extremas de T (Tmax y Tmin) y HR media mensual.

Se calcula la presión de vapor de saturación e_s usando la Tmedia (semisuma de Tmax y Tmin)

$$e_s = 6.11 \exp 19.85 (1-273/Tmedia) \quad Ec. 8$$

Luego se obtiene la presión de vapor e de la expresión

$$HR = e/e_s \quad Ec. 9$$

Si según Geiger (1957) en promedio mensual e es constante entre la hora de HR media (10 Hs) y HRmr (14 Hs. cuando ocurre Tmax) entonces,

$$HR_{min} = e/e_{sTmax} \quad Ec. 10$$

donde e_{sTmax} quiere decir que se usa la Ec. 8 substituyendo Tmax en vez de Tmedia.

De la definición de promedio se obtiene la HRmax:

$$HR_{max} = 2HR - HR_{min} \quad Ec. 11$$

A continuación se sigue el procedimiento de la Opción 1.

2.3 Opción 3:

Si no se tienen datos de humedad se estima la temperatura de bulbo humedo media mensual (Tv)

$$Tv = A_0 + A_1 Tmedia + A_2 (Tmax - Tmin) \quad Ec. 12$$

Los valores de A₀ y A₁ se calculan para cada modelo mensual. Para A₂ se usan los datos de humedad.

Después se calcula la HR media mensual por Haltriner and Martin (1968)

$$HR = 100 \left(\exp 19.85(1-273/Tv) - 0.108(Tv) \right) \exp 19.85(1-273/T) \quad Ec. 13$$

A continuación se procede como en la Opción 1 seguida de la Opción 3 de este programa. Es decir que con los datos de medias de temperaturas extremas mensuales se puede simular información horaria media mensual de T y HR.

El Cuadro 6 muestra la forma impresa de salida de HIBROTER.BAS.

RECONOCIMIENTOS

En la obtención de la Ec. 12 y el Cuadro 6, participaron activamente Ademec Martínez y J. Manuel Mauri estudiantes de la Especialidad en Climatología de la Facultad de Física de la Universidad Veracruzana. El mecanografiado de esta ponencia fue posible gracias a la ayuda de Jaime Carpinteyro.

REFERENCIAS

GALINDO, I. (1977). "Estudio del clima solar en la Republica Mexicana". Pub. Especial, Inst. de Geofísica, UNAM.

GEIGER, R. (1957). "The climate near the ground". Harvard Univ. Press, Cambridge, 494 pp.

GLOVER y Mc. CULLOCH, J.S.G. (1958). The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. Royal Meteor. Soc. Vol. 84. (Citado por Szokolay, S.V., 1982, pg. 19)

HERNANDEZ, E. (1976). "La distribución de la radiación global de México evaluada mediante la fotointerpretación de la nubosidad observada por satélites meteorológicos". 2a Ed. Cir. de Invest. en Materiales UNAM, México.

HERNANDEZ, E. et. al. (1980). "Atlas solar de México". Univ. de Clima, Mimeografiado.

CHETTON, J. (1973). Etude des relations entre le rayonnement solaire global, le rayonnement net et l'ensoleillement de E 21. The sun in the environment of mankind. Conf. Proc. C1131, por Zabolay, S.V., 1980, pg. 199.

PELLER, W.D. (1970). "Physical Climatology". Inst. del Libro, La Habana.

ZABOLAY, S.V. (1982). "Energía solar y edificación". Ed. Blume, Barcelona.

ZABOLAY, S.V. (1980). "Environmental Science Handbook", Construction Press, England.

TEJEDA, A. (1990). "Un modelo de simulación de la marcha diaria del confort higrotérmico en el estado de Veracruz". Tesis de Maestría, Fac. de Ciencias de la UNAM, México.

TEJEDA, A. y ZACAPIAS, T. (1990). "Tres programas computacionales para estimar información climática útil en el diseño urbano o arquitectónico". I. Simposio Internal. Clima Urbano y Contaminación, Guadalajara 90.

ESTIMACION PRELIMINAR DEL POTENCIAL DE AHORRO DE ELECTRICIDAD PARA ILUMINACION Y REFRIGERACION EN EL SECTOR RESIDENCIAL

Rafael Friedmann

Energy and Resources Group
Building T-4, Room 100
University of California
Berkeley, California 94720
Estados Unidos de América

RESUMEN: Se presentan cálculos preliminares en donde se estiman los ahorros potenciales de electricidad en iluminación y refrigeración en el sector residencial mexicano. El análisis mostró que se podría ahorrar en el año 2000 entre 1.6 y 2.1 TWh en iluminación y entre 3.3 y 5.3 TWh en refrigeración. Se ahorraría entre 563 a 1698 GWe; equivalentes a 6% y 19% del incremento previsto en la capacidad instalada para cubrir la demanda del sector residencial.

I. INTRODUCCION.

Durante la década de los noventa, se prevé que México deberá duplicar su capacidad instalada de electricidad (1-4). Esto implica la construcción de unos 25 GWe; equivalentes a una inversión de unos US\$ 25 mil millones.¹

El sector residencial actualmente corresponde alrededor del 20% del consumo total de electricidad (equivalente a una capacidad de unos 5 GWe). Incluso su demanda se ha incrementado a un ritmo cercano al 10% anual ultimamente (7). De continuar esta tasa de crecimiento en la demanda residencial, esta equivaldrá a unos 14 GWe de los 50 GWe necesarios en el año 2000 (cerca de un 28% del total). Esto implica que el sector residencial requerirá la construcción de unos 9 GWe, o unos US\$ 9 mil millones durante esta década.² La alta tasa de crecimiento en la demanda de electricidad se debe a incrementos de la población, de las condiciones de vida, y de la población económicamente activa.³

Actualmente un 88% de los 15 millones de hogares mexicanos cuentan con electricidad (1). Se estima que en el año 2000 habrán unos 19 millones de hogares mexicanos.⁴

Según cifras oficiales, el consumo de electricidad en residencias alcanza un promedio nacional de unos 129 kWh mensuales; siendo de 125 kWh mensuales en el D.F. (en 1989 fue de 114) y de 285 kWh mensuales en la zona norte del país (13,14).

En este trabajo se examinará las posibilidades de reducir la demanda del sector residencial al año 2000 en los rubros de iluminación y refrigeración. Estos cálculos son preliminares debido a la escasez de datos. Los cálculos se hacen para demostrar la importancia de examinar el sector residencial más detenidamente. Un análisis más a fondo requerirá conocer como usan la electricidad los consumidores, y cual es la eficiencia energética de los aparatos electrodomésticos.

Espero que este trabajo inspire a algunos de los presentes a abogarse a depurar estas estimaciones y así lograr un análisis más fundado y de más uso para los tomadores de decisiones en el sector energético nacional.

II. ANALISIS.

La iluminación y refrigeración son probablemente los dos rubros de mayor

importancia en el sector residencial mexicano. La iluminación es generalmente el primer uso que se le da a la electricidad y es probablemente el consumo prioritario en hogares con consumos de electricidad inferiores a los 100 kWh al mes.⁸ El refrigerador cobra importancia a medida que aumentan los ingresos del hogar. Es así que sea importante en hogares con un consumo superior a los 100 kWh mensuales. Enseguida se analizará cada uno de estos rubros por separado.

II.1 Iluminación.

En esta sección se presentan los resultados de un análisis en que se examinó la sustitución de focos fluorescentes compactos por focos incandescentes. El estudio se hizo desde el punto de vista de la nación.⁹

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos. Se examinaron dos tasas de descuento social (5% y 10% anual). Se observa que la nación se beneficiará con la introducción de las lámparas compactas fluorescentes en todas las situaciones en que se utilizan éstas más de una hora por día, la única excepción siendo cuando se tiene una tasa de descuento social del 10% anual.

Aunque casi todos los focos son utilizados más de una hora al día, no se considera que sea razonable cambiar los cerca de 100 millones de focos que se estiman en el sector residencial. Si se utilizara el foco una hora al día, el ahorro de energía sería alrededor de 1642 pesos anuales, con los cuales sólo se pagaría la inversión inicial del foco fluorescente después de unos 10 años (\$22000/\$1642 anuales menos el costo de unos 4 focos incandescentes). Además, para lograr tal reemplazo, es necesario incrementar la capacidad productiva nacional de los focos compactos fluorescentes que actualmente es cercana al millón de focos anuales (18). Una planta que puede producir unos dos millones de focos compactos fluorescentes requiere de una inversión inicial cercana a los 7.5 millones de dólares (19).

En la Tabla 2 se muestra una estimación inicial de la electricidad y potencia instalada que se podría ahorrar con el reemplazo de un 20% de los 125 millones de focos que se estiman habrán en los 19 millones de hogares mexicanos en el año 2000.⁸ También se calculó el ahorro en la potencia instalada si se mantiene en ese año el valor promedio actual de factor de capacidad (FC) cercano al 50 por ciento (1).

Los resultados de la Tabla 2 implican un posible ahorro de 1.64 TWh anuales que equivale a 187 MWe (a 384 MWe para FC = 0.5). Si el cálculo se hiciera tomando un ahorro promedio de 58 watts por foco reemplazado, la energía ahorrada sería de 2.31 TWh anuales que equivale a 241 MWe (a 482 MWe para FC = 0.5).⁸ Estos ahorros equivalen a dos y cinco por ciento de los 9.9 TWh en que se estima crecerá la demanda residencial para el año 2000.

II.2 Refrigeración.

En la actualidad no se conoce con precisión el grado de saturación, ni la eficiencia de los refrigeradores en México. Una encuesta nacional realizada en 1988 encontró una saturación nacional de refrigeradores de los 57.9% a nivel nacional y 76.3% en el Distrito Federal (20). Encuestas realizadas por la Comisión Federal de Electricidad y la Compañía de Luz y Fuerza del Centro en unidades habitacionales en 1989 mostraron grados de saturación más elevados (cerca de 97% en el D.F., 12% siendo refrigeradores de dos puertas y más de 12 pies cúbicos).

La ANFAD reporta ventas cercanas a los seis millones de refrigeradores en la década de los ochenta y un tamaño promedio de 9.8 pies cúbicos (21).¹⁰ Las importaciones se incrementaron de forma significativa con la apertura comercial, alcanzando en 1988 la cifra de 24 millones de dólares, un aumento de 47.7 veces respecto a 1987. Se estima que en 1988 se importaron unos 32000 refrigeradores (a 750 dólares por refrigerador) lo que equivalió a cerca de un 7% de las ventas de refrigeradores mexicanos. Se supone que el tamaño de los refrigeradores importados fue mayor a los 12 pies cúbicos.¹¹

Una continuada importación de refrigeradores implicará grandes incrementos en la demanda residencial. Entre 1980 y 1988 casi 90% de las ventas de refrigeradores fueron en unidades de menos de doce pies cúbicos de capacidad. Un refrigerador importado de 24 pies cúbicos necesita ser dos veces más eficiente que un refrigerador de doce pies cúbicos para tener un consumo de electricidad equivalente.

A continuación se presenta una estimación preliminar del potencial de ahorro que se estima se podría lograr para el año 2000 en el rubro de refrigeración residencial.

Se supone que durante ésta década se venderán otros seis millones de refrigeradores en México

y que su capacidad en promedio será similar a la de la década pasada, es decir unos 9.8 pies cúbicos.¹²

La Universidad Autónoma Metropolitana - Atzacotalco acaba de reportar los resultados de pruebas de consumo eléctrico de un refrigerador de siete pies cúbicos expuesto a una temperatura ambiente de 23.5 °C y 75% de carga simulada (22).

El consumo diario del refrigerador variaba considerablemente según la posición del termostato; duplicándose el consumo al utilizar el termostato en la posición máxima de enfriado en vez de la mínima. En ambas posiciones la temperatura en el interior del refrigerador era adecuada.

Utilizando los valores reportados ahí, se calculó que el consumo anual de tal refrigerador (por litro de capacidad) variaría entre 1.16 kWh/litro y 2.38 kWh/litro. Con estos valores se puede calcular la magnitud del ahorro que se podría obtener con educar a los consumidores a utilizar sus refrigeradores con el termostato en la posición mínima. Asumiendo seis millones de refrigeradores (2/3 de los refrigeradores en México) de una capacidad promedio de 9.8 pies cúbicos (278 litros), se obtiene que se ahorrarían (poniendo el termostato en la posición mínima en vez de la máxima), un total de 2 TWh anuales. Esto equivale a un ahorro de 232 MWe (si FC = 1) ó 464 MWe (si FC = 0.5); que son entre un 2.6% y un 5.2% del incremento estimado de 9 GWe en la potencia total del sector residencial al año 2000. Alternativamente, este ahorro recién calculado se puede tomar como una primera estimación del ahorro que se podría obtener si en todos los nueve millones de refrigeradores residenciales actuales, el consumidor operara su refrigerador con el termostato en la posición mínima.

Otra forma de ahorrar energía en refrigeradores se basa en mejorar su eficiencia utilizando tecnología de punta en su construcción. Posibles mejoras tecnológicas se reportan ampliamente en la literatura y no serán tratadas aquí (23).

A continuación se estima el ahorro posible en refrigeradores utilizando tecnología de punta. Los mejores refrigeradores en el mercado utilizan cerca de 0.4 kWh/litro anualmente (24, 25).¹³ Repitiendo los cálculos anteriores, ahora con un valor de 0.4 kWh/litro, se obtiene que si se introdujeran seis millones de refrigeradores con tecnología de punta en vez de los actuales, se ahorrarían entre 1.3 TWh y

3.3 TWh anuales que equivalen a 144 MWe y 376 MWe respectivamente (con FC = 1 y 288 MWe y 752 MWe si FC = 0.5); que son entre un 1.6% y un 8.4% del incremento estimado de 9 GWe en la potencia total del sector residencial al año 2000.

Estos resultados reiteran la importancia de asegurar que se utilice tecnología de punta en la fabricación de refrigeradores mexicanos. Además también indican la importancia de asegurar que sólo se importen refrigeradores eficientes. Esto se podría lograr con reglamentos que exigiesen una eficiencia mínima de las unidades importadas.

III. CONCLUSIONES.

Se estimaron el ahorro posible en las ramas de iluminación y refrigeración para el sector residencial mexicano al año 2000. Para lograr una estimación más exacta es necesario hacer estudios de usos finales residenciales, y de la eficiencia de electrodomésticos actuales.

Los resultados indican que a la nación le convendría mucho fomentar el reemplazo de focos incandescentes con focos compactos fluorescentes. Con solo reemplazar 25 millones de focos (que equivalen a un 20% de los focos en el año 2000), se ahorrarían entre 1.64 TWh a 2.11 TWh anuales que equivalen a un ahorro de potencia instalada de 187 MWe a 482 MWe.

Los cálculos también mostraron un importante potencial de ahorro en el rubro de refrigeración. Aquí se podía ahorrar tanto educando al consumidor a utilizar su refrigerador con el termostato en la posición mínima, como utilizando tecnologías de punta. El ahorro de energía sería de alrededor de 3.3 TWh a 5.3 TWh anuales que equivalen a un ahorro de potencia instalada de 376 MWe a 1216 MWe.

Finalmente, se observa que en ambos rubros se ahorraría una potencia instalada total de entre 563 MWe y 1698 MWe de los 9 GWe que se prevé será el incremento en la potencia residencial al año 2000. Esto implica un ahorro de entre un 6% y 19% del total y demuestra claramente la necesidad de investigar métodos para fomentar la obtención del ahorro calculado.

IV. BIBLIOGRAFIA.

1. C.F.E., 1989 Información Básica 1988. C.F.E., México.
2. C.F.E., 1988 Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico. C.F.E., México.
3. Poder Ejecutivo Nacional, 1988. Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994. México.
4. Sosapavón, Fernando Estrada, 1989. "El caso de la energía eléctrica." en Energía en México El Arranque del Siglo XXI. PUE UNAM, México.
5. C.F.E., 1989. Desarrollo del Mercado Eléctrico 1984-1998. C.F.E., México.
6. The World Bank, 1989 "Staff Appraisal Report México Hydroelectric Development Project" Report No 7391 M. Banco Mundial, Washington D.C., E.U.D.A., (16 de mayo), 91 pág.
7. S.E.M.I.P., 1990. Balance Nacional Energía 1989. S.E.M.I.P., México (julio), 56 pág.
8. Salinas, Edgar. "Metodología de Cálculo de los Costos Marginales de Energía en la Comisión Federal de Electricidad". Cuadernos Sobre Energía No. 4, Fac. de Ing., UNAM, México (agosto).
9. Ketchiff, Andrea N. y Omar R. Masera., 1989. "Demanda Eléctrica Residencial en América Latina". Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California (octubre).
10. Gadgil, A. y G. De Martino Jannuzzi., 1989. "Conservation Potential of Compact Fluorescent Lamps in India and Brazil". IBI 27210, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California (julio).
11. CONAI., 1990. "Normas de Ahorro de Energía en Aparatos Domésticos e Industriales". SEMIP, México.
12. INEGI., 1990. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 1988-1989. INEGI, México.
13. C.F.E., 1989. Estadísticas por Entidad Federativa - México - 1988. C.F.E., México 43 pág.
14. C.E.F.C., 1989. Información Estadística 1989. C.E.F.C., México.
15. Abacos de C.F.E., 1989.
16. Fernández Luis 1990. Presentación en el seminario "International Workshop on Reducing Carbon Dioxide Emissions from the Developing World: Assessment of Benefits, Costs and Barriers". Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California (14 al 16 de octubre).
17. Friedmann, Rafael, 1990. "Viabilidad Económica de las Lámparas Fluorescentes Compactas en el Sector Residencial Mexicano". Memoria XI Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía y Exposición de Equipos y Servicios. ATPAE, México, D.F., (noviembre). Pág. 203-211.
18. Dato proporcionado por Álvaro Nieves.
19. Gadgil, Ashok, J., y Arthur H. Rosenfeld, 1990. "Conserving Energy With Compact Fluorescent Lamps". Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California (1 de mayo), 11 pág.
20. Sepúlveda Anton, Jaime., 1989. "Estado Nutricional de los Precolectores y las Mujeres en México". Academia Nacional de Medicina, México.
21. ANFAI., 1990. Memoria ANFAI 89. ANFAI, México.
22. Campero Littlewood, Eduardo, Gustavo Monroy Mendoza y Luis Sosa González., 1990. "Medición del Consumo de Energía de Refrigeradores Domésticos". Memoria XI Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía y Exposición de Equipos y Servicios, ATPAE, México, D.F., (noviembre) Pág. 353-357.
23. Turiel, I., 1986. "Design Options for Energy Efficiency Improvement of Residential Appliances". Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California. (octubre).

24. Olivier, David., 1990. "A cool solution to global warming". New Scientist, (12 de mayo), pág. 42-45.
25. Wilson, Alex., 1990 Consumer Guide to Home Energy Savings. ACEEE & Home Energy Magazine, E.E.U.U., 252 pág.

V. ANOTACIONES.

1. Se utilizó un valor de US\$ 1,000/kW que es un poco menor a los costos promedio estimados para la construcción de las hidroeléctricas de Aguamilpa y Zimapán de unos US\$ 1160 (6).
2. Este cálculo menosprecia la importancia del sector residencial ya que no considera su impacto sobre la demanda pico de electricidad que ocurre generalmente entre las 18 y 23 horas, concordante con el retorno a casa (8,9,10). Se estima que gran parte del pico se debe en particular a iluminación residencial.
3. Incluidos en este rubro están la creciente saturación de aparatos electrodomésticos y en especial importados, e incrementos en la población servida con electricidad. Por ejemplo se ha reportado en estudios efectuados por los fabricantes de electrodomésticos que el 15% de las ventas anuales van destinadas a cubrir el mercado de reposición de partes y equipos, y el 85% a nuevos usuarios. Esto por supuesto varía según el electrodoméstico (11).
4. Esta cifra se obtuvo extrapolando exponencialmente el crecimiento entre 1980 y 1988 que equivalió a una tasa de crecimiento de un 2.2% anual (12).
5. En 1988, alrededor de un 45% de las ventas de la tarifa 1 fueron por consumidores menores a los 100 kWh mensuales. Para las tarifas 1a, 1b, y 1c los porcentajes fueron 32%, 27%, y 6% respectivamente (15). A nivel nacional, alrededor de un 33% de las ventas fueron debajo de 100 kWh mensuales; otro 39% siendo entre 100 y 200 kWh mensuales (16). Son estos grupos de consumo en los que se puede esperar el mayor crecimiento en su demanda ya que la saturación de electrodomésticos es baja.
6. Para ver un análisis hecho por el autor desde el punto de vista de los consumidores y las compañías eléctricas, vease el trabajo presentado en el XI ATPAE (17).
7. Varios estudios han encontrado promedios de alrededor de 7 a 9 focos por hogar. Las ventas anuales dan un promedio de 6.7 focos por hogar con un promedio de 77 watts (16,17).
8. Se tomó el promedio actual de 6.7 focos/hogar y la proyección de 19 millones de hogares en el año 2000 calculada anteriormente.
9. En la Tabla 2 se utilizó un ahorro de 45 Watts por foco reemplazado. El valor de 58 watts se obtuvo asumiendo que usando los focos fluorescentes compactos se ahorraría 75% de el promedio ponderado de potencia de las ventas anuales de focos incandescentes que es de 77 watts.
10. INFAD = Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos, A.C.
11. La mayoría de los refrigeradores importados provenían de E.E.U.U. donde el tamaño generalmente está entre los 17 y 24 pies cúbicos.
12. Se piensa que a menos que haya una grave crisis económica, fácilmente se venderán seis millones de refrigeradores, ya que actualmente solo unos nueve millones de hogares tienen refrigeradores. Esto implica que para el año 2000 habrán unos 10 millones de hogares que podrían adquirir su primer refrigerador. La venta de seis millones de refrigeradores en tal caso significaría que se mantendría un grado de saturación similar al actual.
13. Hay investigadores que piensan que valores de 0.1 kWh/litro serán posibles en el futuro cercano (24).

Tabla 1: Beneficio Anual Neto de Lámparas Compactas Fluorescentes

Uso hora/día	FRC		Costo Anual pesos		Beneficio Anual Neto pesos	
	Factor		i=5%	i=10%	i=5%	i=10%
	i=5%	i=10%				
1	0.068	0.108	1137	2009	513	369
2	0.133	0.187	1576	2284	1759	1001
4	0.176	0.208	2412	3129	4158	3441
8	0.325	0.359	4238	4999	8903	8151

Notas: Se asumió un ahorro de 45 watts/lámpara y un costo de generación de la electricidad de 100 pesos/kWh. FRC = factor de recuperación de capital = $i(1+i)^t / (1+i)^t - 1$. Costo anual = FRC * 2,000 pesos/lámpara fluorescente - 1000 pesos * número de focos incandescentes/ anuales. Beneficio Anual Neto = Ahorro anual kWh * 100 pesos/kWh - Costo Anual. Se tomaron vidas útiles de 1000 horas para el foco incandescente y de 10000 horas para el fluorescente.

Tabla 2: Ahorro de Energía y Potencia en Iluminación

Ahorro por foco Watts	Ahorro Anual de Energía TWh/año	Potencia Ahorrada MWe	
		FC = 1.0	FC = 0.5
45	1.64	187	384
58	2.11	241	482

Notas: Se asumió el reemplazo de 25 millones de focos fluorescentes por focos incandescentes y cuatro horas de uso por día.

UN SISTEMA EXPERTO EN DIAGNOSTICO PARA LA SECCION DE
CALENTADORES DE BAJA PRESION DE UNA CENTRAL NUCLEOELECTRICA

JUAN ARELLANO, YAGO CALICIA, EDGAR RAMIREZ

Instituto de Investigaciones Eléctricas
Departamento de Energía Nuclear
Apartado Postal 675
Cheránvaca, México 62000

En este trabajo se describe un sistema experto en reconocimiento de patrones de síntomas y diagnóstico de fallas desarrollado para la Sección de Calentadores de Baja Presión de una Central Nucleoeléctrica tipo BWR. Los principales objetivos del sistema experto son: ayudar durante un disturbio a los operadores del sistema a analizar los síntomas que se están presentando, reconocer los patrones relevantes, separar causas de efectos y diagnosticar las causas raíz del problema. Desde el punto de vista de las técnicas de Inteligencia Artificial, el sistema experto fue construido utilizando una filosofía metodológica, la cual se describe brevemente.

1.1 INTRODUCCION

Uno de los problemas más críticos en la operación de las centrales generadoras de energía eléctrica, y en general de cualquier sistema complejo, es cuando el operador se enfrenta a disturbios que involucran el análisis de muchas alarmas presentándose en un corto periodo de tiempo. Adicionalmente, el operador tiene que considerar muchos sensores, medidores e indicadores operando simultáneamente para poder realizar un diagnóstico efectivo de las causas raíz del disturbio. En general, una alarma atrae la atención del operador hacia problemas locales, en tanto que la ocurrencia de muchas alarmas hace que el diagnóstico de la situación y su seguimiento sea más difícil.

En este trabajo se presenta un sistema experto en reconocimiento de patrones de síntomas (alarmas, medidores, indicadores, etc.) y diagnóstico de fallas para la Sección de Calentadores de Baja Presión de una Central Nucleoeléctrica con reactor tipo BWR. El principal objetivo del sistema experto es ayudar durante un disturbio a los operadores del sistema a analizar los síntomas que se están presentando, reconocer los patrones relevantes, separar causas de efectos y diagnosticar las causas raíz del problema. Para la construcción de este sistema experto se utilizó tecnología del estado del arte en cuanto a adquisición del conocimiento, estructuración de la base de conocimiento, y mecanismos de inferencia se refiere. La herramienta principal utilizada en la construcción de este

experto es el lenguaje especializado GENCLIN III, especial para este tipo de aplicación, y también desarrollado por los autores de este trabajo.

El sistema experto interactúa con el operador a través de menús preguntando por el estado de alarmas e indicadores que considera más relevantes, y presentando los diagnósticos correspondientes. Adicionalmente, cuenta con mecanismos gráficos y textuales de explicación y justificación. Actualmente, el experto cuenta con un conjunto de estrategias de reconocimiento de patrones de síntomas y diagnóstico que pueden ser utilizadas para implantar una versión en la que el diálogo no sea con el operador, sino directamente con un sistema de adquisición de datos (versión tiempo real del sistema experto). El desarrollo e implantación del experto se realizó en una computadora personal 80386.

2.0 DESCRIPCION DE LA SECCION DE CALENTADORES

El sistema de calentadores de baja presión de una central nucleoelectrica tipo BWR forma parte del sistema de condensado y agua de alimentación. La función de estos calentadores de baja presión es aumentar la temperatura del agua de alimentación al reactor aprovechando vapor de extracción de la turbina. La figura 1 muestra una configuración típica de los calentadores de baja presión. Al entrar a este sistema, el flujo proveniente de las bombas de refuerzo de condensado se distribuye en dos líneas para alimentar a

los dos trenes de calentadores de baja presión, cada uno de estos trenes con capacidad del 50%. El condensado fluye por el lado tubos de los calentadores entrando primero al 1 A/B (primera etapa), después al 2 y 3 A/B (segunda etapa), y finalmente al 4 y 5 A/B (tercera etapa). Después de salir del calentador 5 A/B el condensado fluye hacia el cabezal de succión de la bomba de agua de alimentación. Cada una de las etapas de calentadores (1A y 1B, 2A/3A y 2B/3B, 4A/5A y 4B/5B) se pueden colocar en derivación ("bypass") usando la válvula correspondiente (MV 940, para la primera etapa; MV-953 para la segunda etapa; MV 958 para la tercera etapa).

Para la construcción del sistema experto se asumió que el flujo es normal en el cabezal de entrada a los calentadores (PI-0938 indica flujo normal).

1.0 DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

Como ya se mencionó, el sistema experto que aquí se presenta se desarrolló utilizando una metodología novedosa y sistemática [1], la cual ha sido especialmente diseñada para construir sistemas expertos en reconocimiento de patrones de síntomas y diagnóstico. Estos sistemas expertos contribuyen a lograr una operación más segura y confiable de sistemas complejos tales como las centrales generadoras de energía eléctrica. La metodología incluye guías y procedimientos para la adquisición del conocimiento, además de un conjunto de algoritmos para estructurar automáticamente la base de conocimientos, generar estrategias óptimas de diagnóstico, e inferencia. Estos algoritmos se han implementado en un esqueleto para desarrollar sistemas expertos denominado GENESIS [1].

A continuación se describen cada una de las etapas de desarrollo del sistema experto (ver figura 2).

1.1 Adquisición del Conocimiento

En esta etapa, de acuerdo a los lineamientos de GENESIS, los expertos humanos construyeron el árbol de fallas [3] del sistema de calentadores. Brevemente, un árbol de fallas es un modelo lógico gráfico en el cual están representadas las diferentes maneras en que eventos (fallas, errores humanos, etc.) se combinan para producir un evento indeseado. La figura 3 muestra los niveles superiores del árbol para la sección de calentadores. El evento indeseado (tope) que se propuso es "Flujo Insuficiente a la Salida de los Calentadores de Baja Presión". La manera de interpretar el árbol de la figura 3 es incorporando el significado clásico de las compuertas lógicas "Y" y "O". Así,

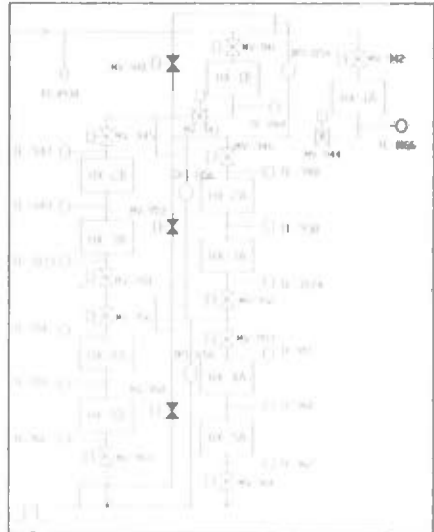


Figura 1. Configuración típica de los calentadores de baja presión de una Central Nucleoelectrica tipo BWR.

por ejemplo, el evento tope ocurre cuando cualquiera de los eventos intermedios (rectángulos) en el nivel inferior ocurre. A su vez, estos eventos ocurren de acuerdo con la lógica de la compuerta que los representa. Un árbol de fallas se considera terminado cuando en la base de todas sus ramas existen sólo eventos básicos (círculos). Estos eventos básicos indican que el nivel de detalle deseado en el desarrollo del árbol se ha alcanzado.

Una vez que se construyó el árbol de fallas, los expertos humanos incorporaron para cada evento básico su probabilidad de ocurrencia y los síntomas (alarmas, medidores e indicadores) que se presentan cuando el evento básico ocurre. Un ejemplo de los síntomas que se proporcionaron para los eventos básicos del árbol de la sección de calentadores es el siguiente:

EVENTO	SINTOMAS
No hay derivación en la tercera etapa	PI-0938 NOR MV 0958 CERR
Válvula MV-0957 falla a permanecer abierta	PI-0938 NOR MV-0957 CERR DPI-1058 ALT

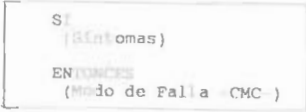
El lector podrá verificar estos síntomas utilizando la figura 1. Es importante darse cuenta que para la construcción del sistema experto se asumió que el flujo es normal a la entrada de la sección de calentadores, por lo que el síntoma PI-0938 NOR está presente en ambos síntomas.

es el número de eventos básicos incluidos en el conjunto. Para el sistema de calentadores se obtuvieron en total 58 CMC todos de orden dos.

Una vez que se tuvieron los modos de falla del sistema (CMC) y los síntomas de cada evento, se generó un conjunto de reglas de producción con la siguiente estructura:

3.2 Estructuración de la base de conocimientos

Aunque en el árbol de fallas están representadas las distintas maneras en que se combinan los eventos para ocasionar el evento tope, éste árbol nos fue de más utilidad al reducirlo a su representación en términos de sus conjuntos mínimos de corte (CMC). Un CMC es un conjunto mínimo de eventos básicos del árbol (círculos) tales que, si todos los eventos en el conjunto ocurren, el evento tope ocurre. Así los CMC de un árbol representan los posibles modos de falla (modos de ocurrencia del evento tope) del sistema. Los CMC se obtienen mediante manipulaciones Booleanas del árbol de fallas [4]. El orden de un CMC



Esta tarea se realizó partiendo de la suposición de que cada uno de los CMC ha ocurrido, por lo que los síntomas de cada uno de los eventos en el conjunto se están presentando; al reunir todos los síntomas de todos los eventos en el CMC se tuvo muchas veces que aplicar reducciones Booleanas para generar el patrón, o grupo de patrones, asociados a cada CMC.



Figura 2. Etapas de desarrollo del Sistema Experto.

Para la sección de calentadores se generaron 58 reglas. Un ejemplo de estas reglas es:

```

SI      MV-0958_CERR (y)
      MV-0957_CERR (y)
      DPI-1058_ALT
      PI-0938_NOR
  
```

ENTONCES

```

  No hay derivación en la tercera etapa
  (y)
  Válvula MV-0957 falla a permanecer
  abierta
  
```

Estas 58 reglas constituyen la base de conocimiento del sistema experto.

Todas las tareas para estructurar la base de conocimiento se realizaron utilizando el módulo constructor de bases de conocimiento de GENESIS.

3.3 Mecanismo de Inferencia

Como ya se mencionó, las reglas generadas constituyen la base de conocimientos del sistema experto; a partir de ellas el operador podría, siguiéndolas una a una, reconocer el patrón de síntomas que se está presentando cuando falla el sistema de calentadores de baja presión. Sin embargo, este es un procedimiento sumamente ineficiente (de hecho no se espera que ningún operador humano experto diagnostique siguiendo una lista de posibles causas), por lo que se utilizó el algoritmo que GENESIS incorpora para, utilizando esta base de conocimientos, generar estrategias óptimas de reconocimiento de patrones de síntomas. Estas estrategias aseguran que únicamente las cuantías de estas reglas tendrán que ser chequeadas antes de realizar un diagnóstico efectivo de las causas de falla del sistema. La referencia [5] explica detalladamente el algoritmo de reconocimiento de patrones de síntomas.

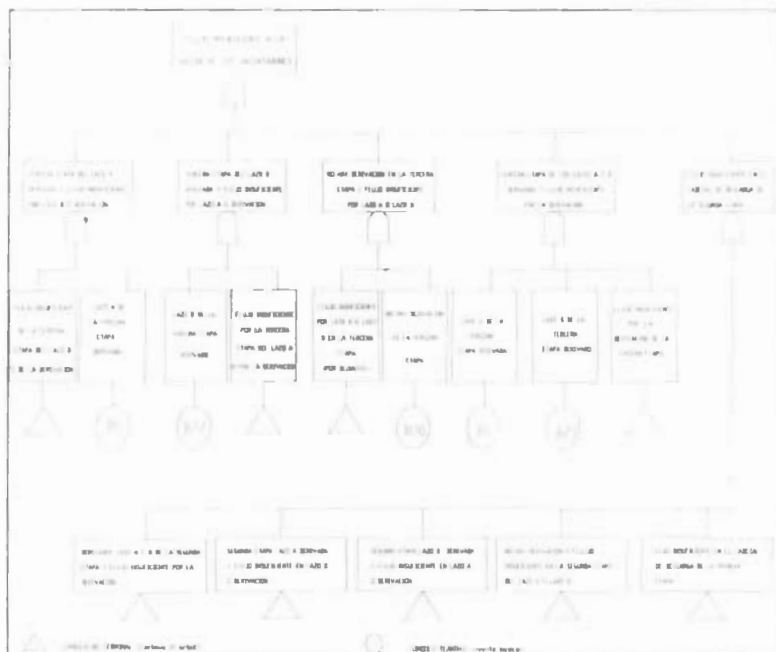


Figura 3. Niveles superiores del árbol de fallas para la sección de calentadores de baja presión.

Suponiendo que el evento indeseado se está presentando (evento tope), la idea general del algoritmo de construcción de estrategias es que, si al revisar un síntoma se detecta que éste no ha ocurrido (no se ha presentado), puede entonces deducirse que ningún patrón (regla) en los que aparece éste síntoma ha ocurrido, y como consecuencia pueden estas reglas eliminarse del espacio de búsqueda. El criterio para seleccionar el síntoma a chequear está en función de la importancia probabilística [5] del síntoma.

La figura 4 muestra los niveles iniciales de la estrategia generada por GENESIS para el sistema de calentadores. Como puede observarse, al ocurrir la falla del sistema, la estrategia recomienda chequear primero si la medición DPI-1058 es alta, ya que en caso de que así sea podrá determinar que es en la tercera etapa de calentadores (4-5 A/B) donde se ubica la falla y procederá a preguntar si la válvula MV-958 se encuentra cerrada. Por el contrario, si DPI-1058 no es alto la estrategia descarta toda la mencionada trayectoria (todas las reglas que incluyen a DPI-1058 ALT) y procede a preguntar si DPI-1056 es alto. En caso de que la respuesta a esta pregunta sea afirmativa la falla se localiza en la segunda etapa de calentadores (2-3 A/B), en tanto que si la respuesta es negativa preguntará si DPI-1054 es alta para saber si la falla se localiza en la primera etapa de calentadores (1 A/B).

Un punto que es muy importante mostrar es que la estrategia generada realmente representa la manera en que un operador trataría de realizar el diagnóstico al analizar los síntomas. Si observamos una vez más la figura 4, podemos darnos cuenta de que la estrategia representa una clasificación hecha automáticamente de las fallas del sistema de calentadores por grupos de componentes. Esta búsqueda de las causas de falla por grupos es lo que muy probablemente haría un operador humano experto, cosa que concuerda muy bien con la labor automática "inteligente" realizada por GENESIS al construir la estrategia de reconocimiento de síntomas de nuestro sistema experto; de hecho, lo más probable es que el operador instintivamente (tal vez con base en un entrenamiento) cheque los mismos síntomas que la estrategia propone.

La estrategia generada es recorrida "hacia adelante" por una rutina de computadora, ya incluida en GENESIS, para poder realizar diagnóstico basado en síntomas de manera muy eficiente. Así, el programa irá recorriendo la estrategia y preguntando al operador el estado de las alarmas, medidores e indicadores, considerados en la búsqueda, hasta llegar

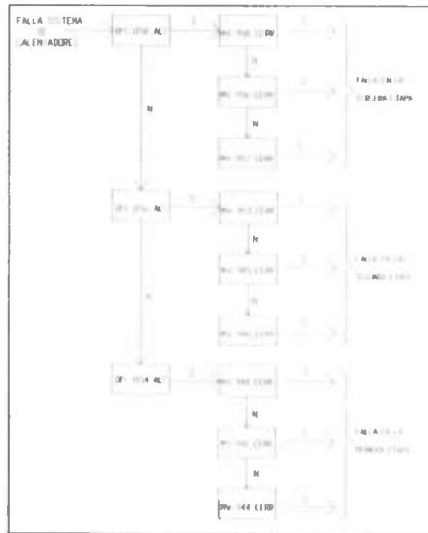


Figura 4. Niveles iniciales de la estrategia en reconocimiento de patrones generada para el sistema experto.

a un diagnóstico de las causas del problema.

El sistema experto interactúa con el operador a través de menús, preguntando por el estado de las alarmas e indicadores que de acuerdo con la estrategia se consideran relevantes, y presentando los diagnósticos correspondientes.

El sistema experto incluye una sección de explicación gráfica, la cual le muestra al operador un diagrama del sistema de calentadores, resaltando los patrones de síntomas que ha identificado y los componentes que han fallado.

4.0 CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema experto en reconocimiento de patrones de síntomas y diagnóstico para la sección de calentadores de baja presión de una central nucleoelectrónica tipo BWR. Este experto computarizado ayuda a los operadores en la tarea de analizar alarmas, medidores e indicadores para diagnosticar las causas de falla del sistema.

El esquema de clasificación y síntesis de síntomas que utiliza el sistema experto

para reconocer patrones es similar al que desarrollaría un operador humano experimentado cuando trata de reconocer las alarmas, medidores e indicadores importantes para diagnosticar las causas de falla del sistema. Esta característica se logró para nuestro sistema experto gracias al enfoque que utiliza el esqueleto GENESIS para generar automáticamente estrategias "inteligentes" de reconocimiento de patrones.

La presente versión del sistema experto interactúa con los operadores a través de menús; sin embargo, llevarla a una versión que dialogue con los sistemas de adquisición de datos (versión tiempo real) es una tarea que se simplificará enormemente apoyándose en el conocimiento ya adquirido, la actual estructura de la base de conocimientos y las estrategias de reconocimiento ya generadas.

5.0 REFERENCIAS

- [1] J. ARELLANO, Y. GALICIA, E. RAMIREZ, "A New Shell for the Development of Alarm Pattern Recognition Expert Systems", Proceedings of the Third Conference on Industrial Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, Charleston South Carolina, Julio 1990.
- [2] J. ARELLANO, Y. GALICIA, E. RAMIREZ, "Using Fault/Event Trees to Construct Alarm Pattern Recognition Expert Systems", Proceedings of the 2nd. TUV Workshop on Living PSA Applications, Hamburgo Alemania, Mayo 1990.
- [3] U.S.N.R.C., "Probabilistic Risk Assessment (PRA) Reference Document", NUREG 1050, 1984.
- [4] J. OLMOS, L. WOLF, "A Modular Approach to Fault Tree and Reliability Analysis", MITNE 209, Agosto 1977.
- [5] E. J. HENLEY, H. KUMAMOTO, Reliability Engineering and Risk Assessment, Prentice Hall, 1981.

ESTUDIO DE UN TRANSFORMADOR TERMICO EXPERIMENTAL

R. M. Barragán R., C. L. Heard, *R. Best B., C. E. Mariano,
B. Bacab, M. L. Domínguez y J. A. Cantellán.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS, DEPTO.
DE GEOTERMIA, A. P. 475, CUERNAVACA, MOR.
*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
LAB. DE ENERGIA SOLAR, TEMIXCO, MOR.

RESUMEN

Los transformadores térmicos por absorción son capaces de elevar la temperatura de calor de desecho sin la necesidad de emplear compresores mecánicos o una fuente de alta temperatura para su operación. Relativamente poca investigación se ha desarrollado en la búsqueda de pares de trabajo (refrigerante-absorbente) adecuadas para estos sistemas siendo el par amoníaco-agua uno de los más estudiados. Sin embargo, es necesario estudiar el comportamiento de otras mezclas que presenten menos riesgo en la operación de los equipos y que además no tengan efecto adverso en el medio ambiente.

INTRODUCCION

La creciente demanda de energéticos en el mundo y la tendencia actual de disminuir el consumo de petróleo han favorecido la investigación de nuevas tecnologías que permitan utilizar eficientemente los recursos energéticos y aprovechar el calor de desecho para suministrar energía en diversas aplicaciones.

En este contexto, el área de Aprovechamiento Integral del Depto. de Geotermia del Instituto de Investigaciones Eléctricas, (IIE), se ha avocado a la asimilación y transferencia de tecnología de bombas de calor y transformadores térmicos. Estos equipos han probado su conveniencia ya que son capaces de utilizar calor de desecho para su funcionamiento y proveer energía de mayor calidad útil para aplicaciones diversas.

Como parte de un convenio de investigación entre la Universidad de Salford, Inglaterra y el IIE, actualmente se ha instalado en el IIE un transformador térmico experimental fabricado en vidrio, con el objeto de evaluar el comportamiento de diversas combinaciones absorbentes y obtener datos confiables para el óptimo diseño de unidades comerciales. En la figura 1 se muestra el equipo experimental. Anteriormente este transformador térmico fue operado exitosamente en la Universidad de Salford, (S. D. Adyanthaya, 1987), empleando substancias absorbentes inorgánicas que incluyeron el cloruro de calcio, bromuro de litio y una

combinación de cloruro de calcio-cloruro de litio. En los tres casos el refrigerante utilizado fué agua.

TRANSFORMADORES TERMICOS

El proceso de transformación de calor se puede definir como aquel en el que se suministra una cantidad de calor a una temperatura dada, de la cual una parte se rechaza a una temperatura menor y el resto se obtiene a una temperatura mayor pudiendo ser utilizado ésta último en diversas aplicaciones. El equipo capaz de lograr esta transformación se denomina transformador térmico o transformador de calor.

El proceso descrito arriba puede representarse mediante el ciclo Rankine/Rankine de la figura 2 donde se ilustran los principales componentes.

Los transformadores térmicos pueden clasificarse en dos tipos; el de compresión mecánica de vapor y el de absorción. El proceso en los primeros puede describirse de la siguiente manera: en el evaporador se lleva a cabo la evaporación del refrigerante (también llamado fluido de trabajo), este vapor es comprimido por un compresor para después condensarse a una temperatura más alta. El calor de desecho es utilizado para alimentar el evaporador y es después liberado a una temperatura menor. El calor útil es proporcionado por el condensador a una temperatura mayor.

El proceso de absorción substituye el uso del compresor en el proceso. La figura 3

ilustra este proceso. Como puede verse en la figura, el equipo consta de las siguientes partes: evaporador, absorbedor, economizador, generador y condensador. Las tres primeras unidades enlistadas se encuentran a la misma presión mientras que las otras dos se encuentran a una presión menor que la anterior e igual para ambas unidades.

El calor de desecho es alimentado al evaporador y al generador. Ambas unidades se encuentran a la misma temperatura, (aunque a diferente presión). En el evaporador el refrigerante es vaporizado y conducido hacia el absorbedor donde el vapor es absorbido por una substancia (o mezcla de substancias), llamada absorbente que presenta gran afinidad por el vapor. El proceso de absorción es exotérmico por lo que se libera calor propio para una aplicación dada en esta unidad. La substancia absorbente es alimentada al absorbedor desde el generador vía el economizador, mientras que la mezcla constituida por el refrigerante y el absorbente es conducida hacia el generador, vía el economizador. En el generador se lleva a cabo la separación del refrigerante del absorbente, el refrigerante en forma de vapor es llevado al condensador y el absorbente pobre en refrigerante es llevado hacia el absorbedor. En el condensador el refrigerante cambia de fase y posteriormente es enviado al evaporador para completar el ciclo.

PROCESO DE ABSORCIÓN

Las bases que constituyen el proceso de absorción son dadas a continuación. Para que un vapor puro (refrigerante), sea absorbido por un líquido (absorbente), a una presión dada, es necesario que la presión de vapor de la mezcla refrigerante-absorbente sea menor que la presión del vapor puro. Si se selecciona un absorbente que presenta gran afinidad fisicoquímica con el refrigerante (lo que implicaría una desviación negativa de la Ley de Raoult), es posible obtener una reducción en la presión de vapor de la mezcla de varios órdenes de magnitud con una concentración substancial de vapor absorbido.

De esta manera, cuando el refrigerante y el absorbente se encuentran a la misma presión, para una temperatura T_1 del refrigerante, se establecerá el equilibrio con el absorbente a una temperatura mayor T_2 , como puede verse en la figura 4.

ELEVACION DE TEMPERATURA

La elevación de temperatura que puede lograrse depende de la disminución de la presión de vapor que pueda alcanzarse por

el medio absorbente. Para muchos absorbentes esto varía de manera inversa con la concentración del refrigerante absorbido en ellos. Estas substancias se llaman bivalentes y en ellos la presión de vapor depende tanto de la concentración como de la temperatura. La solubilidad de la substancia absorbente impone un límite para la concentración de la solución. El bromuro de litio disuelto en agua es un ejemplo de solución absorbente bivalente.

Los absorbentes univalentes son generalmente sólidos cristalinos que son capaces de absorber líquidos para formar nuevas estructuras cristalinas.

En la tabla 1 se muestran las máximas elevaciones de temperatura para algunos pares de trabajo.

COEFICIENTE DE RENDIMIENTO (COP)

El coeficiente de rendimiento (COP) de un transformador térmico se define por la relación entre el calor entregado por el absorbedor y el suministrado tanto al evaporador como al generador. La sustitución de los valores prácticos obtenidos de experimentación en la ecuación nos permite obtener el coeficiente de rendimiento actual ((COP)A).

$$(COP) = Q_{ABS} / (Q_{EV} + Q_{GE})$$

Cuando éste se expresa en términos de entalpía donde se asume equilibrio y reversibilidad, se obtiene el valor máximo para el coeficiente de rendimiento, ((COP)MAX). Este parámetro se obtiene de una manera práctica por la ecuación, (S. Mohamad, 1982):

$$((COP)_{MAX} = \frac{(f-1)H_3 + H_{10} - fH_4}{(f-1)H_1 + H_7 + H_{10} - fH_6 - H_8}$$

donde f representa la relación entre el flujo de absorbente que abandona el absorbedor y el flujo de refrigerante, H se refiere a la entalpía de la solución en los puntos correspondientes a la figura 3.

TRABAJO EXPERIMENTAL

El avance en trabajo experimental que ha sido llevado a cabo consistió en probar el comportamiento de una solución absorbente de cloruro de calcio grado comercial y agua destilada como refrigerante.

Previamente el equipo fué instrumentado convenientemente colocando transductores de presión y termopares tipo T DIN de fabricación alemana en los puntos señalados en la figura 5. Tanto los

transductores de presión como los termopares fueron calibrados y conectados al adquisitor de datos HP3947A con el propósito de reducir el riesgo de errores en la etapa de colección de los datos.

Los rotámetros instalados fueron calibrados de acuerdo a la substancia que circula por ellos. El equipo fué aislado y probado en su funcionamiento circulando agua destilada para verificar el buen funcionamiento de rotámetros, bombas, etc.

La concentración de las soluciones de cloruro de calcio fué determinada por medio de un refractómetro Abbe 600 efectuando las lecturas a una temperatura constante de 40 °C.

La pureza del cloruro de calcio grado comercial fué determinada empleando fluorescencia de rayos-x y se encontró un valor de 96.7 %, después de ser secado a 200 °C hasta peso constante. La determinación se realizó contra un estándar de cloruro de calcio grado analítico, secado de igual manera que la sal comercial.

Mediciones experimentales de la solubilidad, presión de vapor y entalpía de solución de las soluciones de cloruro de calcio grado comercial serán efectuadas con el propósito de corregir los resultados obtenidos en los que se utilizaron datos de cloruro de calcio grado analítico para el cálculo del (COP).

En el experimento se estudió el comportamiento de diversos parámetros con la variación de la temperatura del absorbedor, manteniendo constante la concentración del absorbente tanto en el absorbedor como en el generador. Los valores de concentración de absorbente fueron los siguientes 44.95 y 47.016 % en peso para el absorbedor y generador respectivamente y la temperatura del absorbedor varió de 45 a 95 °C. La temperatura del generador se mantuvo muy cerca de la temperatura del evaporador en un valor constante para cada corrida. En total se realizaron catorce corridas de las cuales en sólo tres casos se tuvieron pérdidas de calor mayores a 20 %. En promedio las pérdidas de calor se estimaron en 18.4%.

RESULTADOS

El comportamiento de la elevación de temperatura alcanzada con respecto a la temperatura del absorbedor se muestra en la figura 6 en donde se nota una tendencia creciente. La máxima elevación de temperatura lograda fué de casi 19 °C. Una tendencia similar se observa en la figura 7 donde se presenta el comportamiento del calor obtenido en el absorbedor con respecto a la temperatura

del absorbedor. La figura 8 muestra el valor del coeficiente de rendimiento actual, con respecto al calor cedido por el absorbedor. En esta figura se puede observar el alto valor para el coeficiente de rendimiento obtenido en dos de las corridas alcanzando valores superiores a 0.5.

El factor de flujo se define como la relación entre el absorbente que abandona el absorbedor y el flujo de refrigerante. Este factor afecta al coeficiente de rendimiento máximo ((COP)MAX) de manera inversa. En la figura 9 se puede observar la tendencia encontrada para todas las corridas efectuadas. Se aconseja trabajar con factores de flujo menores a 30 para lograr buenos coeficientes de rendimiento. En la figura 10 se muestra la variación del calor cedido por el absorbedor con respecto al factor de flujo. Es clara una tendencia creciente que se mantiene para factores de flujo menores a 30. Los valores marcados con diferente signo pertenecen a las corridas donde se tuvieron pérdidas de calor significativas.

En la figura 11 se muestra la variación entre la elevación de temperatura lograda y el coeficiente de rendimiento máximo. La recta presenta el ajuste de los puntos que corresponden a factores de flujo menores a 30. En la figura 12 se muestra el comportamiento del coeficiente de rendimiento máximo con respecto a la temperatura del absorbedor. La línea marcada contiene los datos correspondientes a factores de flujo menores a 30. La línea de la parte derecha fué encontrada experimentalmente por B. E. S. Mohamad (1982), empleando una solución de cloruro de calcio grado analítico como absorbente cuya concentración en el absorbedor era de 41.9 % y en el generador de 46.8 %. En la figura 13 se presenta el comportamiento de la elevación de temperatura alcanzada con respecto al factor de flujo. En esta figura puede observarse que a altos valores para el factor de flujo disminuye la elevación de temperatura alcanzada por la unidad.

CONCLUSIONES

La operación del transformador térmico experimental fué llevada a cabo empleando una solución de cloruro de calcio grado industrial como absorbente. Se seleccionó esta substancia absorbente tomando en cuenta su bajo costo y sus características termodinámicas. Los resultados presentados son preliminares debido a que es necesario emplear los datos termodinámicos correspondientes a esta sal en particular, los cuales no se encuentran en la literatura y será necesario investigarlos para lograr mayor consistencia.

Las corridas efectuadas pusieron de manifiesto que el equipo se encuentra bien aislado y es capaz de reproducir los resultados. Se efectuara un numero mayor de experimentos empleando tanto este absorbente como otros y cuidando que no tengan efecto nocivo al medio ambiente.

El coeficiente de rendimiento alcanzado presenta valores muy atractivos y las posibilidades de mejorar el diseño del equipo experimental son muy amplias lo cual es altamente provechoso para nuestro país, dado que cuenta con abundantes recursos energéticos de baja entalpia los cuales podrian ser utilizados para la operación de los transformadores térmicos.

REFERENCIAS

S. D. Adyanthaya, (1987), Performance studies of aqueous halides in a heat transformer, M. Sc. Thesis, University of Salford, U. K.

B. E. Siddig Mohamad, (1982), Performance studies on a reversed absorption heat pump, Ph.D. Thesis, University of Salford, U. K.

REFERENCIAS ADICIONALES

Manual sobre tecnología de bombas de calor, (1990), Instituto de Investigaciones Eléctricas, editado por H. Fernández, J. Siqueiros, D. Barragán y F. Muña.

Barragán R. M. (1990). Monthly reports no. 1, 2, 3, 4. Proyecto no. 3 del Convenio de Cooperación en Investigación entre el IIE y la Universidad de Salford.

C. L. Heard y R. M. Barragán, (1990). Instalación y pruebas de un transformador térmico experimental en el Laboratorio de Aprovechamiento Integral del IIE, (Informe interno, en proceso).

Tabla 1. Características de los experimentos con algunos casos de trabajo.

Experimento	Temperatura de trabajo
Exp. 1	30
Exp. 2	40
Exp. 3	50
Exp. 4	60
Exp. 5	70
Exp. 6	80
Exp. 7	90
Exp. 8	100
Exp. 9	110
Exp. 10	120



Figura 1. Transformador térmico

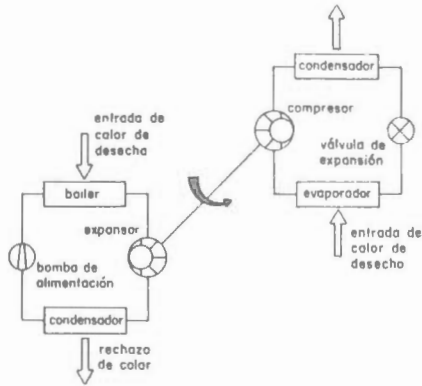


Fig 2 El ciclo Rankine/Rankine en un transformador térmico

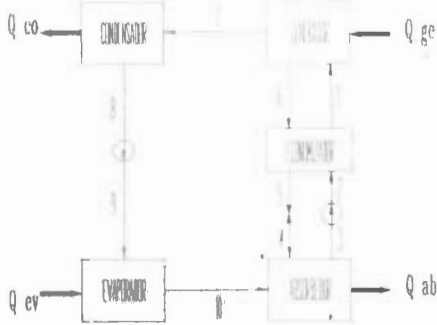


Fig 3. - Transformador térmico.

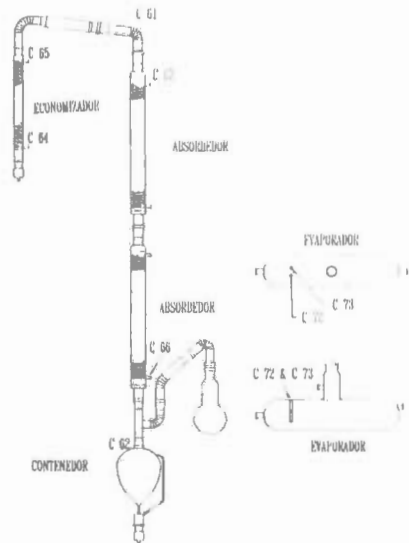
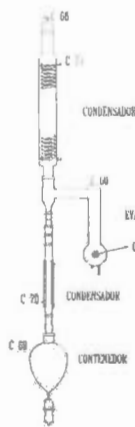


Figura 5. - Localización de los termopares en el transformador térmico

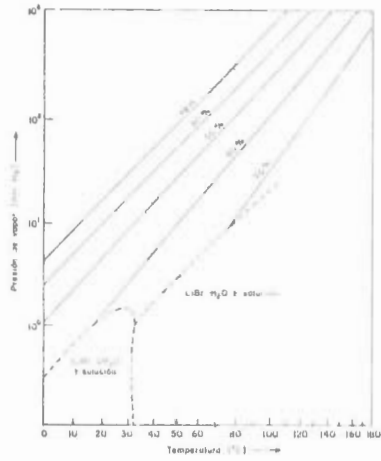


Fig 4 Presión de vapor del sistema LiBr/H₂O contra temperatura y concentración (% en peso)

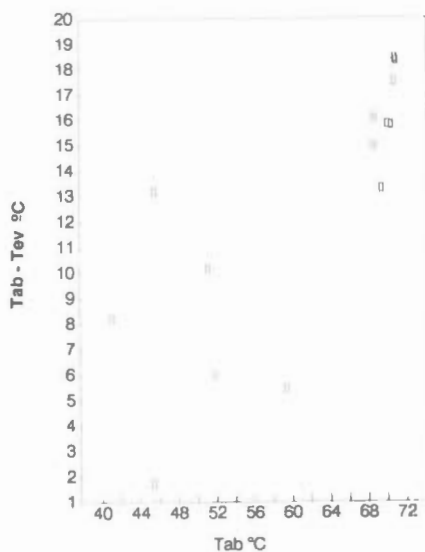


Fig 6. - Elevación de la temperatura respecto a la temperatura del absorbedor

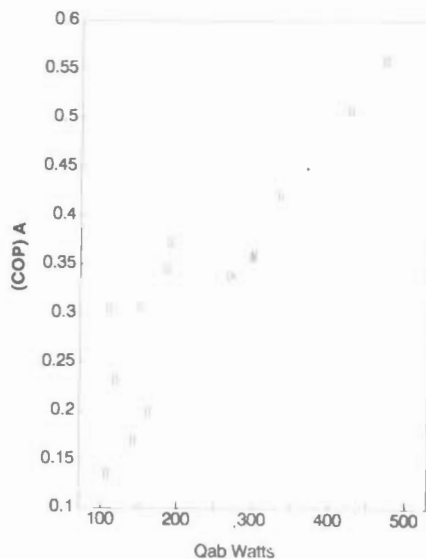


Fig 8. - COP actual vs calor del absorbedor.

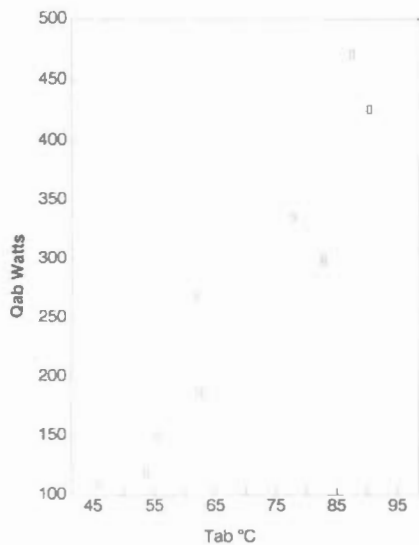


Fig 7. - Calor cedido en el absorbedor respecto a la temperatura del absorbedor

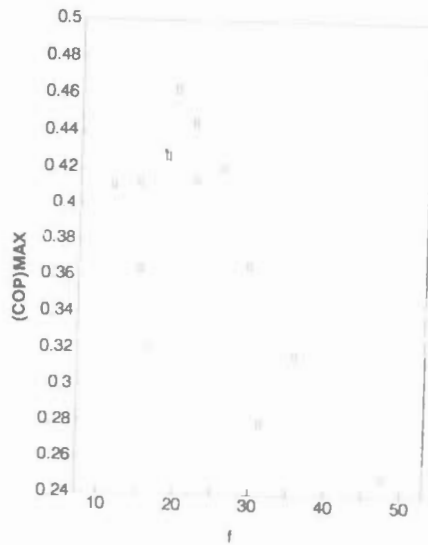


Fig 9. - Tendencia del COP maximo en relación al factor de flujo.

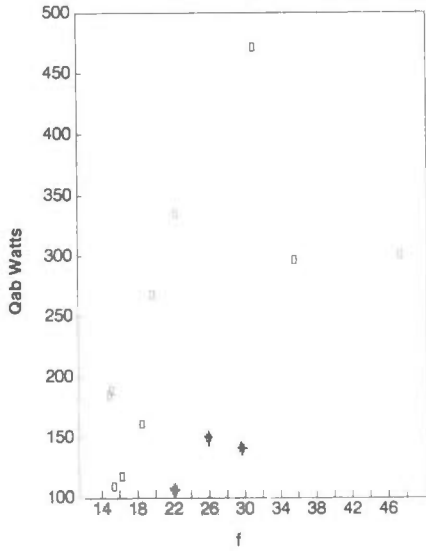


Fig 10. - Calor del absorbedor en función del factor de flujo.

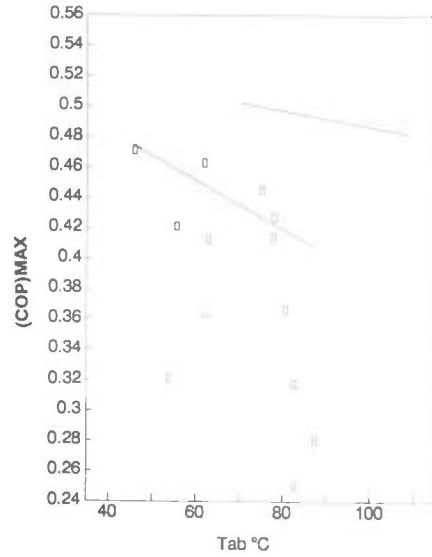


Fig 12. - Variación del COP maximo respecto a la temperatura del absorbedor.

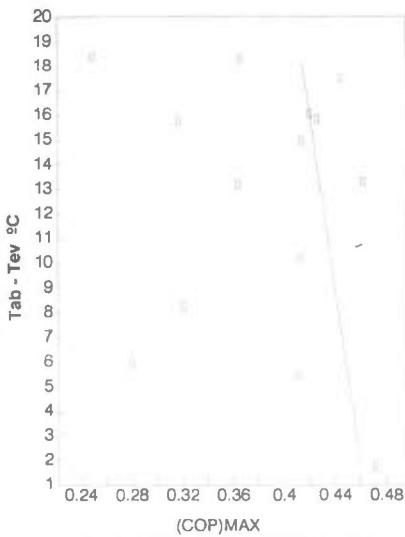


Fig 11. - Elevación de la temperatura en función del COP maximo

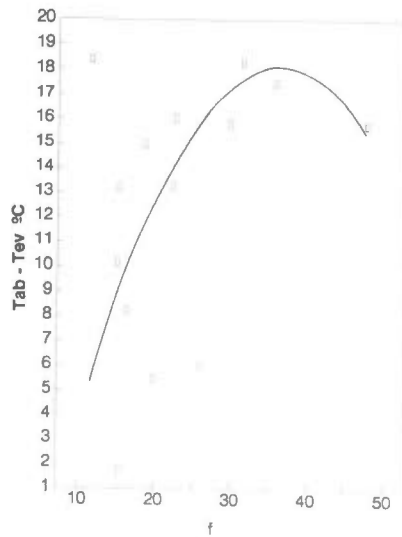
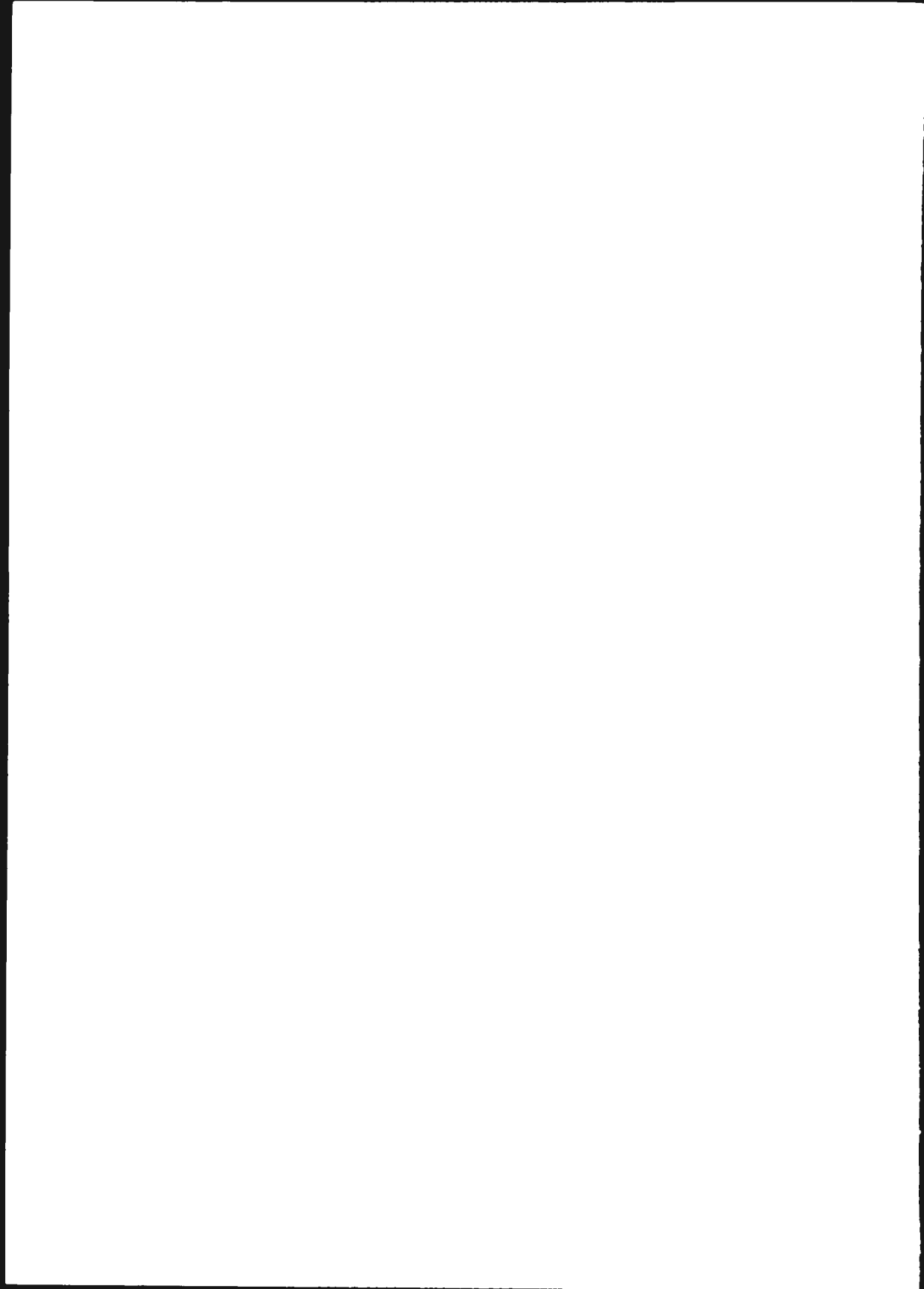


Fig 13 Comportamiento de la elevación de temperatura con la relación de flujo



EFFECTO DE FLUJO TRANSVERSAL SOBRE EL TRANSPORTE DE
FLUIDOS EN DUCTOS CERRADOS

Alan Díaz-Cárdenas
Departamento de Energía - Área de Termofluidos

UAM - AZCAPOTZALCO
México, D.F.

RESUMEN

Este trabajo trata sobre el efecto que produce un flujo transversal de inyección o succión sobre el transporte de fluidos en ductos cerrados. El efecto se observa al alterar el espesor de la capa límite y por tanto, el coeficiente de fricción y fuerza de arrastre en el flujo. Las ecuaciones de movimiento, no similares de la capa límite laminar, se resuelven en forma numérica usando el método de diferencias finitas. Los resultados revelan que el factor de fricción depende fuertemente del flujo lateral inyectado.

El problema estudiado en este trabajo es el efecto que tiene un flujo transversal de inyección o succión sobre el transporte de fluido en ductos cerrados.

El caso general considera un flujo transversal variable, sin embargo, en este estudio, en primera aproximación, se analiza y reportan resultados para inyección o succión uniforme a través de las paredes del ducto.

La inyección o succión de fluido a través de la superficie de un cuerpo es una técnica muy usada para alterar la estructura de la capa límite a lo largo del cuerpo. Esto produce efectos deseables y en ocasiones también efectos indeseables. Entre los efectos indeseables se tiene el que puede llegar a producirse desprendimiento de la capa límite o pegarse el fluido a la superficie del cuerpo, según sea el caso de inyección o succión.

Otra dificultad radica en la estructura de las ecuaciones de movimiento, dado que debido al flujo transversal se introduce un fuerte acoplamiento entre el campo de presión y la velocidad, además, las ecuaciones de movimiento y condiciones de frontera no se pueden transformar, de manera que se tenga sólo un parámetro similar como variable independiente, esto es no se tiene la posibilidad de aplicar la técnica de soluciones similares.

Entre los efectos deseados alterar la capa límite permite reducir la energía perdida por fricción al transportar un fluido debido a la reducción del gradiente de velocidad en la pared.

Para cuantificar el ahorro de energía, se resuelve la ecuación de movimiento para un flujo

con capa límite laminar, restringida a la condición de frontera representada por un flujo transversal a través de la pared del ducto. El efecto de inyección o succión, de alguna manera ya ha sido estudiado en diversos procesos industriales [1,2]. En forma particular se han estudiado casos relacionados con transferencia de calor [3,4]. En todos los casos, debido a que no es posible usar soluciones similares, se han usado soluciones numéricas para resolver las ecuaciones de capa límite [5].

En el presente trabajo para calcular la distribución de velocidad de fluido se usa el método de diferencias finitas. Este método numérico es considerado el más efectivo y rápido para estudiar este tipo de problemas [6].

Los resultados presentados contemplan condiciones diversas de flujo transversal de fluido inyectado, prestando atención especial al caso particular de una placa plana horizontal con inyección o succión uniforme.

ANÁLISIS Y SOLUCIÓN NUMÉRICA

La figura 1, muestra en forma esquemática el modelo físico usado en este estudio, así como el sistema de referencia empleado. Se tiene un flujo de fluido con velocidad uniforme sobre una placa plana porosa horizontal. El fluido, sobre la placa, genera una capa límite laminar viscosa. Repentinamente se agrega un flujo lateral normal al flujo principal a través de la placa porosa.

El flujo que puede ser expresado por $v = Mx^m$ [3], donde M es constante, representa la relación de fluido inyectado. La constante M es positiva para el caso de inyección de fluido y negativa para el caso de succión. Para una superficie imper-

meable M=0. El caso particular de $M=0$ representa una inyección o succión uniforme.

Las ecuaciones de movimiento, para flujo permanente, que describen este proceso, utilizando las aproximaciones de capa límite de Prandtl [7] son:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2)$$

Las condiciones de frontera usadas para resolver este problema son:

$$u=0 \text{ y } v=Mx^m \text{ en } y=0$$

$$u=U \text{ y } v=0 \text{ en } y \rightarrow \infty \quad (3)$$

Despreciando el término de presión en la ecuación (2) se tiene:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (4)$$

En términos de la función corriente se tiene que para $u = \partial\psi/\partial y$ y $v = -\partial\psi/\partial x$ la ec. (1) se satisface en forma automática y la ec. (4) se transforman en:

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \nu \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3} \quad (5)$$

Las condiciones de frontera para la función de corriente son:

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \text{ y } \frac{\partial \psi}{\partial x} = Mx^m \text{ en } y=0$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = U \text{ y } \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0 \text{ en } y \rightarrow \infty \quad (6)$$

Cada derivada parcial en la ecuación (5) es representada por una expresión de diferencias finitas. La ecuación resultante para este caso es:

$$A\psi_{i-1,j-1} + B\psi_{i-1,j} + C\psi_{i,j-1} + D\psi_{i,j} + E\psi_{i,j+1} = 0 \quad (7)$$

donde el coeficiente A, B, C, D y E son función de datos conocidos y se calculan como sigue:

$$A = \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i-1,j}}{\Delta x \Delta y} \quad (8)$$

$$B = \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i-1,j}}{\Delta x \Delta y} + \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i-1,j}}{\Delta x \Delta y^2}$$

$$C = \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y} + \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y^2} + \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y^3} + \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y^4}$$

$$D = \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y} + \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y^2} + 2 \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y^3} + \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y^4} + 12 \nu \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y^5}$$

$$E = \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y} + \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i,j-1}}{\Delta x \Delta y^2}$$

En la práctica la ecuación (7) primero es linealizada usando el trabajo de Holt [1964], quien propone para linealizar un sistema no-lineal de ecuaciones, reemplazar cada término lineal, tal como $F_1 G_j$, como el promedio de dos términos lineales, esto es, $\frac{1}{2}(F_1 G_j + F_1 G_j)$ entonces se tiene:

$$F_1 G_j = \frac{1}{2}(\tilde{F}_1 G_j + F_1 \tilde{G}_j)$$

donde los términos con tilde son valores dados, supuestos o calculados en una iteración anterior.

El programa numérico permite calcular la distribución de velocidad del fluido sobre la placa porosa, el espesor de la capa límite, la fuerza de arrastre, etc. para distintas condiciones de inyección o succión.

Algunos de los resultados se muestran en las figs. 2-4, que se presentan posteriormente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como primer acercamiento a la solución del problema general, usando el modelo físico simplificado de la fig. 1 y considerando el flujo transversal como succión o inyección uniforme, se presentan los resultados derivados del cálculo numérico para el campo de velocidades.

Del análisis de los resultados se infiere que la influencia del espesor de la capa límite es el parámetro determinante del problema.

Resultados preliminares obtenidos durante el estudio se presentan en la tabla I y en las figs. 2, 3 y 4 respectivamente.

EJE X	PLACA IMPERMEABLE	PERFOR. SUCCION	PERFOR. INYECCION
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.0000	3.1910	2.9188	3.0000
2.0000	5.1142	4.1111	11.5812
3.0000	6.8533	5.0101	15.4153
4.0000	10.0000	5.0000	17.8872
5.0000	11.4011	6.4111	19.7011
6.0000	12.9111	7.1111	21.0000
7.0000	13.4977	7.6777	22.5477
8.0000	14.4222	8.2222	23.1111
9.0000	15.0000	8.2222	24.1111
10.0000	16.1111	9.1111	24.1444
11.0000	16.9111	9.6111	24.1111
12.0000	17.6667	10.0000	24.0111
13.0000	18.0000	10.4556	24.0000
14.0000	19.0000	10.8511	24.0111
15.0000	19.7778	11.2222	24.0111

Tabla 1. Resultados comparativos del espesor de la capa límite sobre una placa impermeable porosa con flujo transversal.

Tanto la tabla de resultados como las figuras, muestra variación en la estructura de la capa límite, sus aspectos cuantitativos y cualitativos. De ambas representaciones, se desprende que cuando se tiene inyección de fluido incompresible, el espesor de la capa límite aumenta, disminuyendo significativamente el coeficiente de fricción debido a la reducción del gradiente de velocidad en la pared y así la fuerza de arrastre correspondiente. Por el contrario para una succión de fluido disminuye el espesor de la capa límite y aumenta el coeficiente de fricción y por tanto la fuerza de arrastre. Esto último

al parecer ocurre debido a que al tener una succión de flujo lateral, el flujo del fluido principal tiende a pegarse en la pared del ducto, generando mayor dificultad para el transporte del mismo.

Cuando se tiene inyección transversal el flujo de fluido principal tiende a despegarse de la pared del ducto, generando un desprendimiento de la capa límite, además de un punto de inflexión en el perfil de velocidad.

Un punto de inflexión en la distribución de velocidad, dado por $\partial^2 u / \partial y^2 = 0$ es una indicación de inestabilidad de flujo, que origina el desarrollo de turbulencia con mucha facilidad en el flujo principal transportado.

Esto, al parecer, es lo que hace que disminuya el coeficiente de fricción dado que se reduce el gradiente de velocidad en la pared y así la fuerza de arrastre. Esto ofrece la posibilidad de un ahorro considerable de energía al transportar fluidos en ductos cerrados. Resultados similares han sido también observados por otros investigadores [9].

Los resultados aquí visualizados tiene interés en una gran cantidad de aplicaciones prácticas. La succión de un flujo transversal se recomienda para evitar el desprendimiento de capa límite.

La inyección, caso de interés en este estudio, se recomienda para ahorrar energía al transportar un fluido, debido a la reducción de la potencia de bombeo.

CONCLUSIONES

El efecto de un flujo transversal sobre el transporte de fluidos en ductos cerrados es estudiado en forma teórica, usando el método de Diferencias Finitas. En régimen laminar el espesor de la capa límite para un fluido incompresible, aumenta con la inyección de fluido y disminuye con la succión. Al coeficiente de fricción le ocurre lo contrario, esto es, disminuye con la inyección y aumenta con la succión de fluido.

Los resultados muestran que el flujo transversal influye fuertemente en el coeficiente de fricción y en la fuerza de arrastre al transportar fluidos.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido patrocinado por la UAM-A. El autor agrade al Dr. Juan R. Morales Gómez, la revisión y comentarios del mismo. También agradece al CONACYT el apoyo económico para la difusión del trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Lau S.C., et al., Turbulent Heat Transfer and Friction in Pin Fin Channels with later at Flow Ejection JOURNAL OF HEAT TRANSFER, Vol. 111, pp. 51-58, Feb. 1989.
- [2] Albanese, R., et al., On the Numerical Solution of the Navier-Stokes Equations for internal Incompressible Flows in the Presence of Filtration Walls, ISTITUTO DI GASDINAMICA Napoli, Italia, 1985.
- [3] Hsiao-Tung and Wen-Shing, Free Convection on a Horizontal Plate with Blowing and suction, JOURNAL OF HEAT TRANSFER, Vol. 110, pp 791-796, August 1988.
- [4] Koh, J. C., and Hartnett, J. P., Skin Friction and Heat Transfer for Incompressible Laminar Flow Over Porous Wedges with Suction and variable wall temperature, INT. J. HEAT MASS TRANSFER, Vol. 2 pp. 185-193, 1961.
- [5] Merkin, J. H., Free Convection with Blowing and suction, In J. HEAT MASS TRANSFER, Vol. 15, pp. 989-999, Pergamon Press 1972.
- [6] Roache P. J., Computational Fluid Dynamics, HERMOSA PUBLISHERS, N.M. 1976.
- [7] Schlichting, H., Boundary Layer Theory, MCGRAW HILL, N. Y. Sixth Edition 1968.
- [8] Holt, J. F., Numerical Solution of non-linear two-point Boundary Value Problems by finite difference methods COMM. OF THE A.M. Numerical Analysis Vol. 7, p. 366, 1964.
- [9] Koh, J. C. and J. P. Hartnett. Skin friction and Heat Transfer for Incompressible Laminar Flow over porous wedges with suction and variable wall temperature INT. J. HEAT MASS TRANSFER, Vol. 2, pp. 185, 1961.



FIG. 1 PLACA POROSA Y SISTEMA DE SUCCIÓN

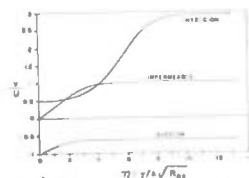


FIG. 2 VARIACION DE LA VELOCIDAD VERTICAL PARA DIFERENTES COEFICIENTES DE FLUJO TRANSVERSAL

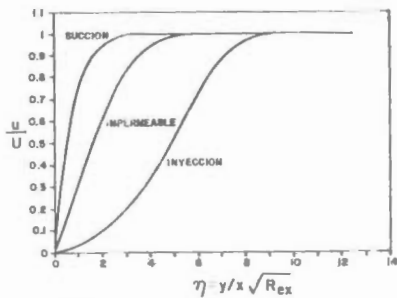


FIG. 3.- VARIACION DE LA VELOCIDAD HORIZONTAL PARA DIFERENTES CONDICIONES DE FLUJO TRANSVERSAL.

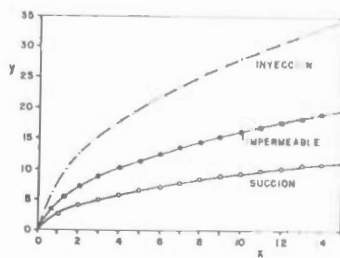


FIG. 4.- ESTRUCTURA DE CAPA LIMITE PARA DIFERENTES CONDICIONES DE FLUJO TRANSVERSAL.

CONSERVACION DE ENERGIA EN DESTILACION.

Dr. GERGE FRANCISCO RODRIGUEZ GONZALEZ.

Area de Procesos y Medio Ambiente
 Departamento de Energía
 Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
 Av. San Pablo No. 180 Col. Reynosa Tamaulipas

El presente trabajo está enfocado al establecimiento de los diferentes criterios, que se pueden adoptar para economizar energía en la destilación.

Se discuten varios métodos, tanto de diseño como de operación, basados principalmente en un estudio termodinámico y en datos obtenidos experimentalmente.

La destilación se encuentra entre las operaciones más comunes de la industria química por lo que se puede suponer que se enfoca hacia esta operación los mayores esfuerzos en su optimización y mejora; desafortunadamente, no es así, y su diseño y/o evaluación generalmente se hace en México por métodos indirectos o basándose en experiencias previas y que más o menos funcionan.

La literatura muestra (1) que se puede alcanzar un mínimo de un 10% de ahorro de energía que consume una torre de destilación por algo tan simple como un reacomodo o rediseño de los platos de una torre.

Se pretende discutir varios métodos para ahorrar energía en los procesos de destilación e indicar las zonas en las cuales nos hemos avocado a trabajar con miras a determinar cuando es o no efectivo un buen diseño o alguna modificación, el trabajo se basa en un análisis similar al realizado por Stephenson y colaboradores. (2)

Análisis Termodinámico

Como siempre, se debe realizar un análisis termodinámico a conciencia del proceso en cuestión, buscando en que partes la entropía alcanza sus valores más altos para atacar el problema justo en estos puntos.

En la destilación se tienen muchas pérdidas especialmente en procesos de transferencia de calor y/o transferencia de masa cuando hay gradientes de temperatura y/o gradientes de concentración. Es por esta razón que una excelente alternativa lo es re-

lizar reacciones químicas dentro de una torre de destilación, pues aunado al ahorro de equipo, se encuentra un aprovechamiento ideal de la ley de acción de masas y se permite el atacar el problema convenientemente por los gradientes de temperatura y masa que se presentan.

Por comodidad siempre suponemos que tenemos condiciones estables (régimen permanente) - de acuerdo a la 1ª. Ley de la Termodinámica tenemos: (3)

$$\Delta U = Q - W \quad (1)$$

pero si consideramos a la torre de destilación como un sistema aislado, tenemos:

$$\Delta U = 0$$

$$Q = W$$

En un caso real, el trabajo es de dos clases W_e = trabajo externo hecho sobre y/o por la torre y que es útil.

W_p = trabajo que se pierde por ineficiencias del sistema. (siempre es positivo)

y para un caso real el calor es también de dos clases:

Q_c = calor transferido por la torre (puede ser positivo o negativo)

F = variación en el calor entre la entalpía y la entropía = $H - T\sigma$

Acomodando estos términos en la ecuación (1) nos queda; considerando que solo $(T_1 - T_2/T_1)$ del calor se transfiere (según Carnot)

$$W_e + W_p = m_1 F + (T_1 - T_2 / T_1) Q \quad (2)$$

Donde m se refiere a la masa en una corriente, T_i es la temperatura de dicha corriente y T_a es la temperatura que rodea a la torre de destilación (ambiente).

La ecuación (2) es muy útil para evaluar la eficiencia termodinámica de una torre o de un proceso de separación.

Si no añadimos ni obtenemos trabajo de la torre, podemos suponer que $w_e = w_p = 0$ o sea que:

$$(T_i - T_a / T_i) Q = -m_i F$$

con lo que puede calcularse una eficiencia como:

$$\eta_{\text{torre}} = -m_i F / (T_i - T_a / T_i) Q \quad (3)$$

Examinando la ecuación (3) vemos que en teoría, podemos alcanzar un valor de la relación cercano a 1 en dos condiciones:

1. obteniendo un T_i muy cercano a T_a , de tal forma que $T_i - T_a$ sea casi cero.
2. haciendo que m_i o $m_i F$ muy grande.

Vemos que en forma práctica, sería un error el buscar el tener una T_i o $m_i F$ muy elevada, pues esto conlleva un sinnúmero de inconvenientes.

Por otro lado se ve que es imposible que tengamos $T_i = T_a$ y así no podremos destilar, con lo que, en un caso real, la eficiencia siempre será menor a 1.

todavía existe otra alternativa, que sería añadir trabajo a la torre, con lo que nos quedaría:

$$\eta_{\text{torre}} = \frac{w_e + w_p}{m_i F + (T_i - T_a / T_i) Q} \quad (4)$$

En este caso debemos buscar que sea casi cero y que el término $(T_i - T_a / T_i) Q$ sea de buscar que sea pequeño, al multiplicarlo por Q , adquiere el signo contrario a $m_i F$ para que de esta forma se acerque a 1 (en teoría puede sobrepasar este valor).

En este análisis y los que, desde el punto de vista termodinámico, debemos buscar optimizar la destilación en tres puntos a saber:

- 1.- Acercar la ΔT lo más que se pueda al cero.
- 2.- No hay que buscar corrientes de diferentes composiciones (que afecte al potencial químico).
- 3.- El vapor y el líquido deben de estar en equilibrio siempre (o bien hacer que ΔC sea lo más cercano a cero).

Dentro de esta análisis termodinámico, suponemos una torre con pérdidas de calor que el calor que le damos en el reboilidor es justo el calor que retiramos en el condensador, o sea

$$Q_H = Q_C$$

y que en ambos casos, la temperatura ambiente es la temperatura más baja; así tenemos un gradiente $(T_H - T_a)$ en el reboilidor y $(T_D - T_a)$ en el condensador.

Si usamos nuevamente el principio de Carnot podemos obtener un trabajo ideal en el reboilidor de:

$$W_{\text{reboilidor}} = (T_H - T_a / T_H) Q_H$$

y en el condensador

$$W_{\text{condensador}} = (T_D - T_a / T_D) Q_C$$

De acuerdo con esto, la diferencia entre los trabajos, es un trabajo que no podemos utilizar (o sea pérdida):

$$W_p = W_{\text{reboilidor}} - W_{\text{condensador}}$$

$$W_p = (T_H - T_a / T_H) Q_H - (T_D - T_a / T_D) Q_C$$

$$W_p = \frac{Q_H T_H - T_a Q_H}{T_H} - \frac{T_D Q_C + T_a Q_C}{T_D}$$

$$W_p = T_a \left(\frac{Q_C}{T_D} - \frac{Q_H}{T_H} \right)$$

o bien:

$$W_p = Q T_a \left(\frac{T_H - T_D}{T_H T_D} \right) \quad (5)$$

Para conseguir $W_p = 0$ o necesitaríamos acercar T_D a T_H lo cual no lo podemos hacer pues depende del potencial químico de la mezcla.

Trabajo a realizar

Si aquí, pudimos concluir que nuestro trabajo está encaminado a un análisis y uso adecuado de la ecuación (4) en lugar de ver otros dos casos importantes como sea el intentar obtener ΔT y ΔC pequeños y acercarnos lo más que se pueda al equilibrio. Los tres objetivos en un caso ideal, se consiguen con un flujo total a la torre, pero esto es en práctico, nada tenemos que obtener siempre un destilado. Por lo tanto, se puede establecer una composición en el flujo de salida, en la cual se realicen los equilibrios de la destilación.

Con estos datos tenemos un flujo de salida, y un diagrama termodinámico w vs y , en este caso

$$w = \frac{x_d - y}{y - x} \quad (6)$$

donde x_d es la composición en el líquido del destilado.

En el gráfico muy claro que se puede observar, x_d y y_d se refieren al vapor de salida que y_d corresponde a la composición en el líquido de salida. Para obtener $w = 0$ o necesitaríamos que $x_d = y_d$ lo cual es imposible.

mismo análisis se puede hacer para la zona de agote.

Un intento interesante por tener un reflujo total, lo sería poniendo un condensador y/o rehedridor en cada plato (lo cual no es práctico, pero bajo este esquema tiene dict (4) supuso un condensador en cada plato que extrae solo la mitad del reflujo si obtuvo la siguiente ecuación:

$$W_p = T_a \left(\frac{Q}{2T_D} + \frac{Q}{2(T_D + \Delta T)} - \frac{Q}{T_R} \right)$$

Expandiendo el término $1/(T_D + \Delta T)$ en una serie binomial nos queda (eliminando T_D^2)

$$W_p = T_a \left(\frac{Q}{T_D} - \frac{Q}{T_R} \right) - \frac{T_a Q \Delta T}{2T_D^2} \quad (7)$$

Se aquí se puede ver que el trabajo perdido es menor que el que se obtuvo por la ecuación (5) y por lo mismo la eficiencia es mayor.

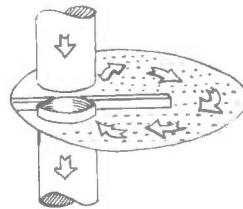
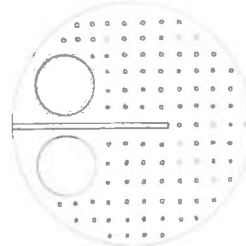
Originalmente habíamos propuesto construir una sola torre de 40 platos, pensando en que sería más eficiente, pero se puede ver con este análisis, que tiene una enorme ventaja al construir dos torres, no solo energéticamente sino también porque hemos alcanzado una mejor rectificación y agotamiento.

De la misma forma en otros ramos los siguientes métodos:

CRITERIOS DE DISEÑO:

- 1.- Si se cuenta con un número suficiente de platos (en este caso 2 torres de 20 platos) se puede reducir la relación de reflujo, siendo esto consero, e con el análisis presentado en los párrafos anteriores.
- 2.- En parte de buscar una mejor eficiencia de platos, se buscó el que fueran lo más ligeros posible (nunca se consideró una torre de acero) y las paredes lo más livianas posible, con el fin de contar con una torre que presente la menor inercia térmica posible. Aunque esto conlleva problemas de control.
- 3.- Un aislamiento adecuado, pues de esta forma se evitan pérdidas, especialmente en el rehedridor y cuando se terman destilaciones de baja temperatura.
- 4.- Intercambiadores de calor en la alimentación, condensados y fondos para recuperar el calor sensible en fondos y destilados.
- 5.- Se hicieron cálculos y esfuerzos limando soportar el metal para reducir al máximo las vibraciones producidas en los platos y canal de salida de tal forma que no existan puntos débiles por fatiga o estrés cíclico.
- 6.- La alimentación en cada plato se hizo de tal forma que el reflujo se encuentre en un diferente porcentaje fuera del plato.

dual, tal y como se muestra en la figura:

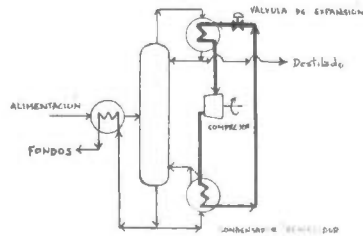


CRITERIOS DE OPERACIÓN.

7.- Como se vé en la ecuación (6), si introducimos trabajo mejoramos la eficiencia así, pensamos en realizar un proceso de "bombeo de calor" mismo que a continuación se describe:

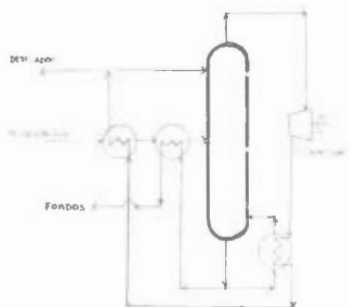
Se ha pensado en 3 sistemas:

- a) Sistema cerrado, en el cual se está accionando un sistema de refrigeración comercial a una torre según el siguiente esquema:



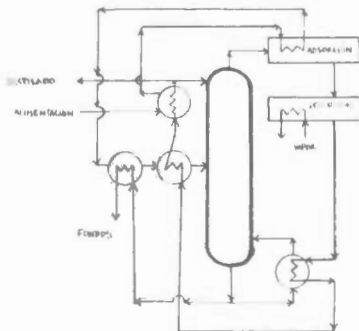
La ventaja de este sistema es que el trabajo se aprovecha casi en su totalidad en forma de calor, pero desafortunadamente queda limitado a diferencias de temperatura de 50°C (máximo).

b) Sistema absorber, los vapores se condensan y se absorben en un líquido que se calienta y se desorbe, el líquido se calienta y se desorbe en un líquido que se calienta y se desorbe.



La ventaja de este sistema es que puede operar a presiones y temperaturas más bajas, economizando trabajo al hacer el vacío directamente en el sistema. Su desventaja es que no todos los vapores o sistemas a destilar se prestan para efectuar eficientemente el proceso pues depende de la resistencia del material en el compresor.

c) Sistema trítérmino, en el cual una fuente de temperatura más alta se emplea para desorber el destilado, el cual, brevemente ha sido adsorbido o absorbido y por medio de un sistema de intercambiadores recuperar parte del calor.



La ventaja de este sistema sobre los comentados antes es que no requiere de artes más viles, pero depende de que se pueda adsorber o absorber los vapores a destilar. Lo cual puede ser una gran ventaja, pues se pueden

destilar los vapores destilados.

Este sistema es un ejemplo más, de como se puede hacer la separación de la tierra con un sistema de destilación, siempre cuando sea a la presión de los vapores que se necesitan por relación a los líquidos.

Conclusiones:

Este sistema y método de destilación de emulsión de vapor en un sistema de destilación de los vapores de los vapores que se necesitan por relación a los líquidos, siempre cuando sea a la presión de los vapores que se necesitan por relación a los líquidos.

Concluimos que los sistemas de destilación de los vapores de los vapores que se necesitan por relación a los líquidos, siempre cuando sea a la presión de los vapores que se necesitan por relación a los líquidos.

Este sistema de destilación de los vapores de los vapores que se necesitan por relación a los líquidos, siempre cuando sea a la presión de los vapores que se necesitan por relación a los líquidos.

Bibliografía:

- (1) J. K. Gill y col., Chem. Eng. Prog., 49, April 1959.
- (2) J. K. Gill y J. C. Van Ness, "Effect of suction to chemical absorption", Ind. Eng. Chem., 51, 1959.
- (3) H. L. Stammers y J. F. Davidson, Trans. Inst. Chem., 36, 1958.
- (4) H. Benedict, Trans. Inst. Chem., 36, 1958.

ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LAS FUENTES ALTERNAS
DE ENERGIA EN MEXICO.

ING. JOSE ANTONIO LUVIANO LOMELI.

DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACION Y
DESARROLLO.
SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA
PARAESTATAL.

RESUMEN

La energía puede servir como un impulso al desarrollo, pero también puede frenarlo, si se le da un uso inadecuado. El Sector Energético Mexicano ocupa el octavo lugar mundial en cuanto a sus reservas de hidrocarburos y el sexto lugar por su producción petrolera. La política energética nacional considera el desarrollo de todas las fuentes de energía con que cuenta el país. Las fuentes energéticas nuevas y renovables, que se abordan en este trabajo, conllevan en sí mismas la promesa de lograr una participación creciente en la oferta energética del país, que contribuya al logro de los objetivos de la política sectorial en materia de diversificación.

ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LAS
FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA EN MEXICO

Es muy clara la relación que existe entre la disponibilidad y uso de energía y el desarrollo económico, así como con los niveles de vida que caracterizan a una sociedad.

La energía puede servir como impulso al desarrollo, pero también puede frenarlo, si se le da un uso inadecuado. Para que la energía sirva efectivamente al primer fin, es necesario producirla en cantidad y calidad suficientes, así como darle una utilización apropiada.

El Sector Energético Mexicano ocupa en la actualidad el octavo lugar mundial en cuanto a sus reservas de hidrocarburos y el sexto lugar por su producción petrolera. La capacidad instalada en la rama eléctrica se ubica entre las primeras veinte del mundo. El Sector Energético en nuestro país es signo de avance y evolución. Cada vez más población tiene acceso a sus beneficios. La ampliación de la cobertura y la mejor calidad y eficiencia en el servicio son preocupaciones cotidianas en la acción del sector.

La política energética nacional considera el desarrollo de todas las fuentes de energía con que cuenta el país y plantea que su aprovechamiento sea acorde con la dotación relativa de esos recursos, junto con otros criterios de diversa índole, desde financieros hasta ambientales.

Entre los propósitos del proyecto energético nacional, se ubica el contribuir de manera decidida a la conservación ecológica y a la protección del medio ambiente, como respuesta a la demanda social para corregir y prevenir el deterioro que diversas actividades humanas hacen sobre la naturaleza desde la producción energética hasta su uso final. En este contexto, la acción del sector energético no debe limitarse a las zonas aledañas a las instalaciones productivas, sino también apoyar decisivamente los esfuerzos que en la materia se realizan en grandes zonas urbanas del país.

La evolución de la sociedad humana a través del dominio de los recursos energéticos, se caracteriza por un mejoramiento en las condiciones de vida del hombre, prueba de esto, es el aumento de la vida media del ser humano. En la actualidad, el promedio de vida es de 68 años, cuatro veces mayor al del hombre primitivo y dos veces mayor al del hombre medieval.

Las formas tradicionales de suministrar energía están siendo superadas por la demanda mundial. Además, el uso irracional de los combustibles fósiles ha ocasionado grandes problemas colaterales.

En la primera mitad del siglo, el carbón sirvió como base para la expansión de la industria y aún cuando fue desplazado gradualmente como el principal energético primario, todavía en los años setenta

ocurre alrededor de una quinta parte del consumo energético de los países industrializados.

En una etapa posterior, desde la puesta de los ríenentos hasta principios de los setenta, los hidrocarburantes se caracterizaron como los combustibles más pesados, difundidos, debido a su oferta abundante, baratos y accesibles y a sus ventajas como combustibles de gran versatilidad.

Aunque la energía nuclear y la hidroelectricidad tuvieron algunos impactos importantes en la producción, el balance energético evolucionó hacia una creciente dependencia de una sola fuente de energía, el petróleo y se desarrollaron patrones de consumo distorsionados que propiciaron un uso excesivo de estos productos.

A partir de la primera crisis petrolera de 1973-1974, cuando los precios del petróleo casi se cuadruplicaron, se gestaron transformaciones repentinas y de largo alcance en el balance energético mundial. En esos años, concluyó la era de los energéticos baratos que había servido de base a la expansión económica mundial.

El cambio más importante ocurrió del lado de la demanda. Como respuesta a las crisis petroleras, los países industrializados implantaron una política de ahorro de energía cuyos resultados son francamente espectaculares.

En la actualidad, reveses que reclaman una profunda reestructuración de las energéticas fáciles; desarrollar tecnología que nos permita utilizarlos sin causar daño o provocar molestias; tenemos que enfatizar el uso e investigación de fuentes energéticas renovables, para equilibrar el consumo de energía y tratar de llevarla a lugares donde el empleo de energéticos no renovables es inestable.

Para los propósitos de esta participación se consideran fuentes energéticas alternas a las correspondientes a los recursos solar, eólico, de la biomasa y microhidráulicas.

Las fuentes energéticas nuevas y renovables, tales como las que son abordadas en esta plática, con llevan en sí mismas la promesa de lograr una participación creciente en la oferta energética del país, que contribuya al logro de los objetivos de la política sectorial en materia de diversificación.

En cuanto al aprovechamiento de la energía solar, México se encuentra en el cinturón latitudinal de insolación anual máxima.

Esta propiedad que está en el nivel de irradiación, es la principal ventaja de disponibilidad de radiación solar para hacer posible el uso eficiente y económico de esta energía.

En el país se han ido haciendo esfuerzos para hacer factible el uso de energía solar. A este propósito, los esfuerzos más exitosos se han dado en el desarrollo, aplicación y promoción de tecnologías apropiadas y sistemas gubernamentales.

En la actualidad uno de los esfuerzos más exitosos se dedica a la investigación y comercialización de equipos para uso doméstico.

En la actualidad, también se ha desarrollado una tecnología para sistemas solares centralizados a gran escala en zonas urbanas. Los esfuerzos de investigación, desarrollo y comercialización de esta tecnología se están haciendo en colaboración con el extranjero.

El empleo de la arquitectura solar en el acondicionamiento de edificios habitacionales de interés social ha pasado por un período de gran actividad. La puesta en marcha de esta estrategia de desarrollo y el propósito de utilizar las grandes habitaciones de este tipo, han sido para suplir la demanda de viviendas mejor arquitectónicas.

Diversas tecnologías solares como paneles, como las de calentamiento, sistemas de concentración, desalinización y sistemas híbridos, son el objeto de nuevas actividades en diversas instituciones del país.

En este mismo orden de ideas, el aprovechamiento del recurso radiación solar pequeña, sobre todo en la vertiente de interconexión a la red convencional, así como en la atención de demandas específicas aisladas de electricidad, puede constituir una importante alternativa.

En México diversas instituciones se han abocado a la investigación y el desarrollo tecnológico en materia de microgeneración hidroeléctrica.

En el plano industrial, la mayor parte del equipo eléctrico que requieren las pequeñas plantas se comercializa en el país desde tiempo atrás. Por otro lado, se ha registrado recientemente el inicio de la fabricación industrial de microturbinas. En lo que corresponde a la obra civil, la ingeniería nacional del país posee sobrada capacidad para hacer frente a los requerimientos de este género que involucre el desarrollo de proyectos.

Actualmente se desarrolla por parte del Instituto de Investigaciones Eléctricas

(IIE) un proyecto demostrativo de microgeneración hidroeléctrica en El estado de Jalisco, en la costa occidental del país, de 100 Kw de capacidad, cuyo propósito básico es el desarrollo nacional de tecnología.

Por lo que respecta al aprovechamiento de la energía de la biomasa, la biodigestión es la tecnología que ha sido más estudiada en el país. Esta tecnología se considera atractiva no sólo por la producción de energía que conlleva, sino también por la versatilidad que presenta para el control de efluentes que de otro modo propiciarían efectos de contaminación ambiental.

A principios de la década pasada, los esfuerzos en el país se orientaron mayormente al desarrollo de pequeñas instalaciones familiares dirigidas al medio rural. En los estados del centro, principalmente en Tlaxcala y Morelos, se instalaron algunas decenas de sistemas de este tipo.

En la actualidad el desarrollo de la biodigestión en México se dirige a la instalación de sistemas medianos y grandes. El empleo de digestores en granjas porcícolas ha logrado relevantes resultados en cuanto al control de desechos animales, principalmente en Michoacán.

Para el aprovechamiento de la energía eólica, en el país existe la capacidad industrial para la fabricación de aerogeneradores y aerobombas. Una buena proporción de los aerogeneradores manufacturados en México se destina a la exportación.

Los sistemas de bombeo que aprovechan la energía del viento se han empleado en áreas rurales aisladas del país desde hace tiempo.

Recientemente se ha avanzado en cuanto a la evaluación del recurso eólico en México, habiéndose dado mucho interés a evaluar la factibilidad de la generación eléctrica centralizada en algunas regiones del territorio nacional, privilegiadas en cuanto a la disponibilidad del recurso.

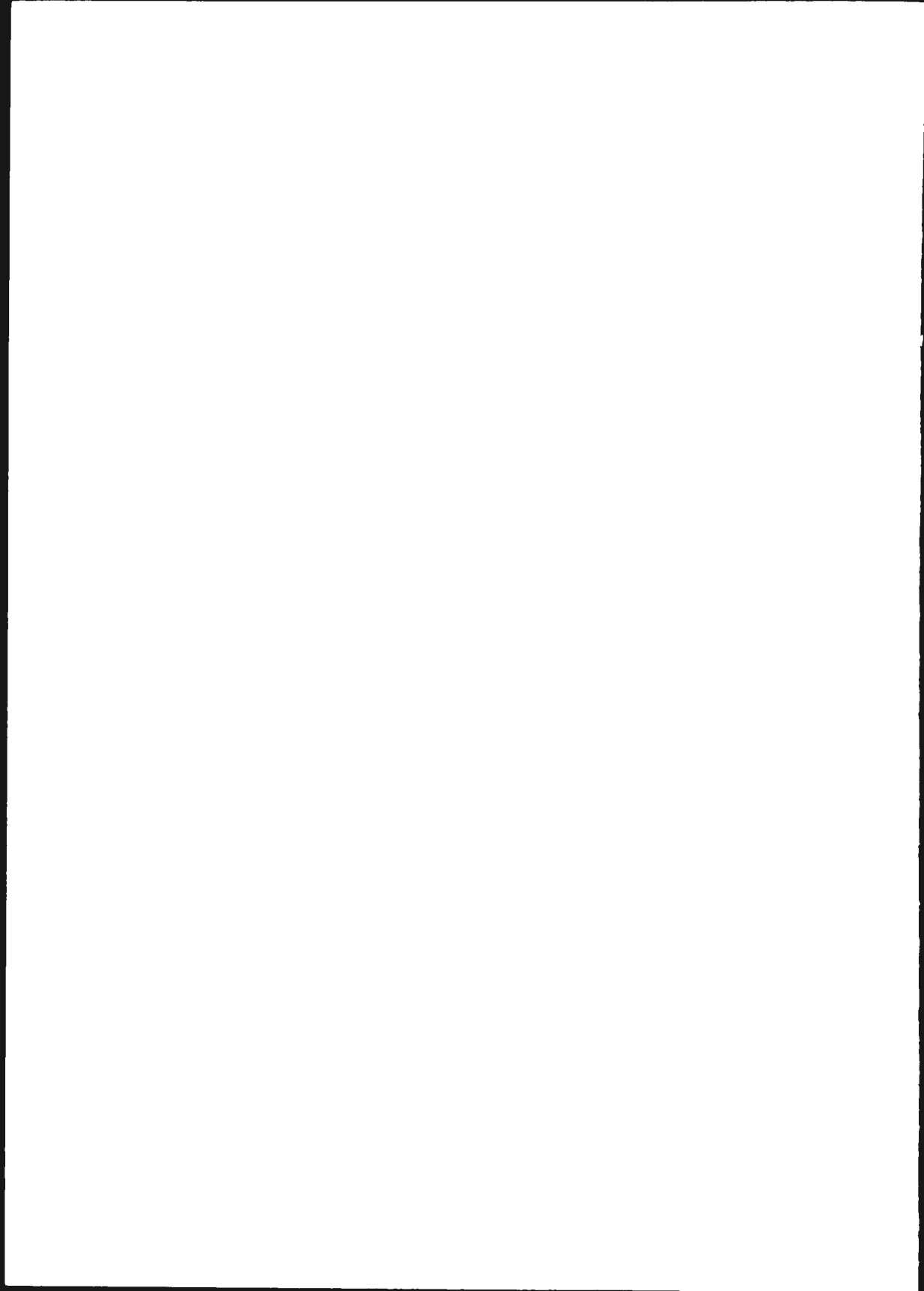
El Programa Nacional de Modernización Energética 1990-1994, establece para el desarrollo del sector tres objetivos fundamentales:

- 1) Garantizar la suficiencia energética.
- 2) Fortalecer su vinculación con la economía, la sociedad y la protección ambiental.
- 3) Consolidar un Sector Energético más moderno y mejor integrado.

Sobre esta base, se establece la estrategia de desarrollo para el Sector Energético, la cual combina de manera óptima el fortalecimiento estructural con un incremento de su acervo productivo.

Dentro del conjunto de lineamientos de política para la modernización del Sector Energético, en varios de ellos se hace referencia explícita a las Fuentes Alternas de Energía. En materia de diversificación, se habla de fortalecer y ampliar la prospección de los recursos energéticos como carbón, uranio, geotermia e hidráulicos, incluyendo asimismo a las fuentes no convencionales. Con relación a la contribución del Sector Energético al desarrollo regional, se enfatiza en la utilización de las fuentes no convencionales de energía, en acciones de autoabastecimiento o incluso de servicio público limitado. Finalmente, por lo que respecta a la investigación y desarrollo, se señala que en fuentes alternas a los hidrocarburos se continuará el estudio de las diferentes etapas para su aprovechamiento, incluyendo el diseño de los prototipos para el caso de las no convencionales y la promoción para su fabricación en la industria nacional.

En todo caso, es menester dejar claro que la modernización energética sólo es viable con la participación de la sociedad civil. Esta es la receptora y demandante de la acción del sector energético, pero sobre todo la responsable de hacer un uso más eficiente de los recursos energéticos en su consumo cotidiano y de fungir como centinela de lo que el propio sector realiza para hacer más productiva su operación.



DISEÑO Y MANUFACTURA DE UNA MINITURBINA HIDRAULICA.

Ing. Flavio Ferrán Riquelme.

Instituto de Investigaciones Eléctricas.
 Interior Internado Palmira.
 Apartado Postal 475, C.P. 62000
 Tel. (91-73) 18-38-11; Fax: (91-73) 18-98-54
 Cuernavaca, Morelos, MEXICO.

R E S U M E N

En este documento se consideran los aspectos principales relacionados con el diseño y manufactura de una miniturbina hidráulica de tipo -- axial-hélice de 100 kilowatts de capacidad, proyecto que está siendo realizado por el Departamento de Fuentes no Convencionales de Energía, División Fuentes de Energía del I.I.E., mismo que a la fecha está en proceso de terminación para su instalación y puesta en servicio en una Pequeña Central Hidroeléctrica que será construida bajo la supervisión del I.I.E.

1. ANTECEDENTES.

Una de las principales limitaciones para iniciar la implementación de Pequeñas -- Centrales Hidroeléctricas (PCH) en el -- país consiste en la carencia de fabricación nacional de miniturbinas hidráulicas. Por tal razón, desde hace varios -- años, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha buscado la oportunidad de realizar proyectos que permitan la asimilación y desarrollo de una tecnología nacional de diseño y manufactura para lograr la fabricación en el país de este tipo de equipamiento.

Como resultado de las gestiones realizadas por la Dirección General de Investigación y Desarrollo de la Subsecretaría de Energía de la SEMIP, se ha aprobado por -- la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) un financiamiento para la realización por parte del IIE de diseño y -- manufactura de una miniturbina hidráulica de tipo axial, tubular, hélice de 100 kilowatts de capacidad.

Por otra parte, la instalación de la miniturbina hidráulica, así como la construcción de la PCH en la comunidad indígena de Tomatlán, Jalisco, permitirá disponer de una pequeña planta que podrá ser -- utilizada con fines demostrativos a la -- vez que servirá para impulsar el desarrollo económico de la comunidad rural beneficiada con el suministro de la energía -- eléctrica generada.

Los parámetros principales de diseño son los siguientes: Gasto Hidráulico, $Q = 2.00 \text{ m}^3/\text{s}$. Carga Hidráulica Total, $H = 8.01 \text{ m}$. Capacidad por instalar, $P = 100 \text{ kW}$. Frecuencia de Generación, $F = 60 \text{ Hz}$. Velocidad de rotación de la miniturbina, $N = 450 \text{ RPM}$. Velocidad nominal de rotación del generador eléctrico, $N' = 1,800 \text{ RPM}$.

La localización definitiva del sitio del proyecto se encuentra en la margen izquierda del Canal Principal de Tomatlán, Rápida km 13+200, del Distrito de Riego No.93 de Tomatlán, Jalisco, México.

2. OBJETIVOS.

El objetivo principal de este proyecto consistió en la realización del diseño electromecánico y la manufactura de una miniturbina hidráulica de tipo hélice de 100 kW que está siendo realizado por el IIE.

Como objetivo derivado, se pretende obtener energía eléctrica para beneficio de una comunidad rural al mismo tiempo que podrá disponerse de una Pequeña Central Hidroeléctrica demostrativa. Lo anterior se conseguirá con la supervisión del IIE en los trabajos de instalación y montaje que están siendo realizados para poner en operación esta pequeña unidad.

Otro de los objetivos del proyecto es el iniciar el desarrollo de una tecnología industrializable, con una integración nacional cercana al cien por ciento, que responda a las demandas de equipamiento electromecánico para el aprovechamiento del potencial hidroenergético de pequeña escala del país.

3. METAS DEL PROYECTO.

Realizar el diseño y manufactura, supervisar la instalación y montaje de una miniturbina hidráulica de 100 kilowatts de capacidad.

Poner en operación una Pequeña Central Hidroeléctrica de tipo demostrativo de 100 kilowatts.

Iniciar el desarrollo de tecnología nacional para lograr el diseño y manufactura de miniturbinas hidráulicas.

4. IMPORTANCIA DEL PROYECTO.

En México se ha identificado un importante potencial microhidráulico tanto en aprovechamientos naturales como en distritos de riego. Según los últimos datos proporcionados por la Comisión Federal de Electricidad (1), y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (2) se cuenta con un potencial conjunto de aproximadamente 9,000 MW de los cuales 300MW están disponibles en distritos de riego.

Asimismo, la ejecución de este proyecto ayudará a sentar las bases para iniciar el desarrollo de la tecnología nacional requerida para empezar a explotar recursos hidroenergéticos del país que actualmente no se están aprovechando, así como para contribuir al impulso de la productividad y el bienestar social en las áreas rurales de México que dispongan de este recurso aún a pequeña escala, toda vez que, como se sabe, el país cuenta con infraestructura industrial subutilizada en algunos casos que fácilmente podría abordar la fabricación industrial de estos sistemas.

5. REQUERIMIENTOS DEL SITIO.

El sitio seleccionado para el emplazamiento de la PCH, cumple con los siguientes requerimientos:

- Potencial hidroenergético suficiente para cubrir la demanda de energía eléctrica.
- Disponibilidad permanente del agua.
- Factibilidad socioeconómica demostrable.
- Demanda de energía eléctrica conocida.
- Lista de los recursos locales disponibles: Mano de obra, talleres y materiales.



- Existencia de vías de acceso para la - instalación del equipo.
- Definida la forma en que será adminis- trada la PCH una vez que sea puesta en servicio.
- Identificación de la contraparte inter- resada en la realización del proyecto y aceptación de la misma, así como de las autoridades locales responsables - del funcionamiento de la PCH.
- Contratistas disponibles para la reali- zación de los trabajos correspondien- tes a: construcción de la obra civil, topografía, instalación y montaje de - los equipos eléctricos.
- Financiamiento disponible para el dise- ño y construcción de la obra civil, -- así como para los trabajos de instala- ción y montaje.
- Permisos autorizados para el uso y con- cesión del agua utilizada para la ge- neración.
- Terreno disponible para el emplazamien- to de la PCH y estructuras requeridas.

6. DESCRIPCION DEL PROYECTO.

El proyecto ha consistido en el diseño, - manufactura y supervisión técnica de la - instalación de una miniturbina hidráulica de tipo hélice de 100 kW de capacidad. El equipamiento será instalado en el lugar - previamente indicado. La preparación de los planos de construcción de la obra ci- vil será también realizada por el IIE.

El proyecto está formado por las partes - siguientes:

6.1. Diseño hidromecánico de la minitur- bina hidráulica, el cual consiste en el -

diseño hidráulico-geométrico del rodete - móvil, distribuidor, estructura de alimen- tación y salida de agua, así como la selec- ción de las válvulas y compuertas para con- trol de flujo. Ver Figura 6.1.

En la parte mecánica del diseño se revisó el estado de esfuerzos de los componentes señalados y se hizo la selección de los ma- teriales apropiados para resistir los es- fuerzos que se presentarán durante el fun- cionamiento de la miniturbina. El diseño mecánico también incluyó el dimensionamien- to de la flecha motriz principal, de sus co- jinetes de soporte, así como la selec- ción del material requerido para su manufactura y sistema de lubricación.

6.2. Por otra parte, dentro del diseño me- cánico fue realizada la selección del mul- tiplicador de velocidad para lograr el aco- plamiento de la miniturbina con el genera- dor eléctrico.

Este generador eléctrico (marca REMSA), es de inducción, del tipo jaula de ardilla, - abierto a prueba de goteo, de 150 C.P. - - 1800 RPM, con 4 polo y 3 fases 60 CPS, - - 220/440 Volts. Aislamientos clase "H" di- seño NEMA 'B', factor de servicio 1.0, e- quipado con detectores de temperatura en - devenados, armazón 445 T para operación -- continua, 40°C temperatura.

En lo que respecta al Multiplicador de ve- locidad (marca FALK) es de flechas parale- las, con relación de velocidad 1:4.056. Ve- locidad de entrada 450 RPM. Velocidad de - salida: 1825.2 RPM. Potencia de catálogo: 242 HP. Potencia requerida: 134 HP. Factor de servicio real 1.8. Potencia térmica con con ventilador: 168 HP. Máquina motriz: -- Turbina hidráulica. Máquina movida: genera- dor síncrono. Servicio al día: 24 horas. - Tipo de conexión: Cople flexible.

6.3. El diseño de la parte eléctrica de la PCH consistió en la selección del generador eléctrico descrito en el párrafo 6.2 y también de la selección y ensamble de los dispositivos eléctricos para el funcionamiento y protección de la PCH, así como toda la instrumentación necesaria para el control. El diseño de la subestación eléctrica, línea de transmisión para interconexión con la línea de distribución: Vallarta - Tomatlán (34.5 kV), estuvo comprendido dentro de la fase del diseño eléctrico, buscando siempre de utilizar equipos y materiales de fabricación nacional.

6.4. La selección y adquisición del regulador de velocidad para el control y operación automática de la pequeña planta, fue también una parte importante que estuvo comprendida dentro de las actividades realizadas en este proyecto.

En lo relativo al Regulador de Velocidad éste fue adquirido de la empresa brasileña Turbinas Hidráulicas WIRZ, LTDA. Siendo del tipo taquimétrico, Modelo "Wirz" - C-3 HDE, con servomotor de pistón diferencial, sensor con péndulo centrífugo.

6.5. El proyecto también incluyó el diseño y preparación de los planos de construcción de la obra civil que contiene tanto a las estructuras de captación y retención de agua, como a las estructuras de conducción, protección y desagües hasta la casa de máquinas.

6.6. En lo relativo a la fase de manufactura, el proyecto comprende la subcontratación de los trabajos relativos a la fundición y maquinado del rodete de la miniturbina, el maquinado de la flecha motriz y la supervisión técnica del IIE para la realización de estas actividades.

6.7 Finalmente, además de lo señalado en los párrafos anteriores, el proyecto incluye los trabajos de supervisión relativos a la construcción de la obra civil que realiza el contratista encargado de esta fase del proyecto, así como la supervisión de los trabajos de instalación y montaje que efectúan los contratistas correspondientes a la parte mecánica y eléctrica requerida por la PCH.

7. ALCANCES DEL PROYECTO.

Las principales actividades realizadas en este proyecto son las siguientes:

- Diseño y manufactura de la miniturbina hidráulica de tipo hélice de 100 kW de capacidad.
- Selección o diseño del servomecanismo para control automático. Adquisición del mismo.
- Selección o diseño del acoplamiento - turbina-generador de fabricación nacional. Adquisición.
- Selección o diseño del generador eléctrico de fabricación nacional. Adquisición.
- Diseño de la subestación eléctrica y del sistema de interconexión.
- Selección o diseño del ensamble de las componentes eléctricas e instrumentación.
- Supervisión técnica de los trabajos de manufactura, instalación y montaje señalados en los párrafos anteriores.
- Realización del diseño de la obra civil.
- Supervisión de la puesta en marcha de la PCH.

8. PRODUCTO FINAL.

Puesta en operación de una Pequeña Central Hidroeléctrica de 100 kW de tipo demostrativo.

Prototipo de miniturbina hidráulica de tipo hélice de 100kW de capacidad.

Planos de diseño y manufactura de una miniturbina hidráulica de tipo hélice de 100 kW de capacidad.

REFERENCIAS.

1. Comunicación personal. SEMIP. 1988.

2. Ferrán Riquelme Flavio. "Estimación del potencial hidroenergético de los Distritos de Riego del país." Informe IIE/4/3988/I-01/F. Marzo, 1986.

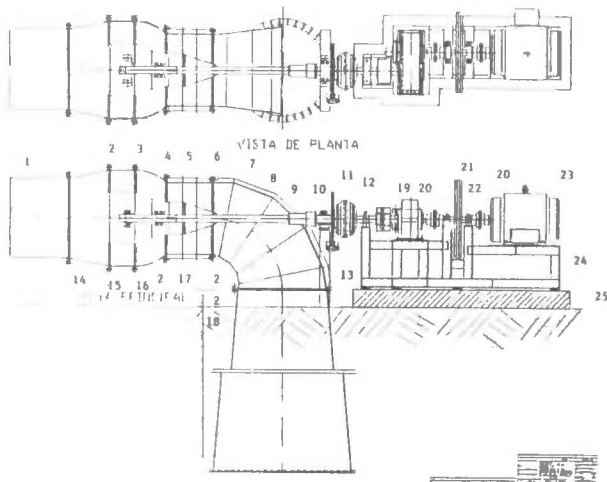


Figura 6.1

IDENTIFICACION DE PARTES.

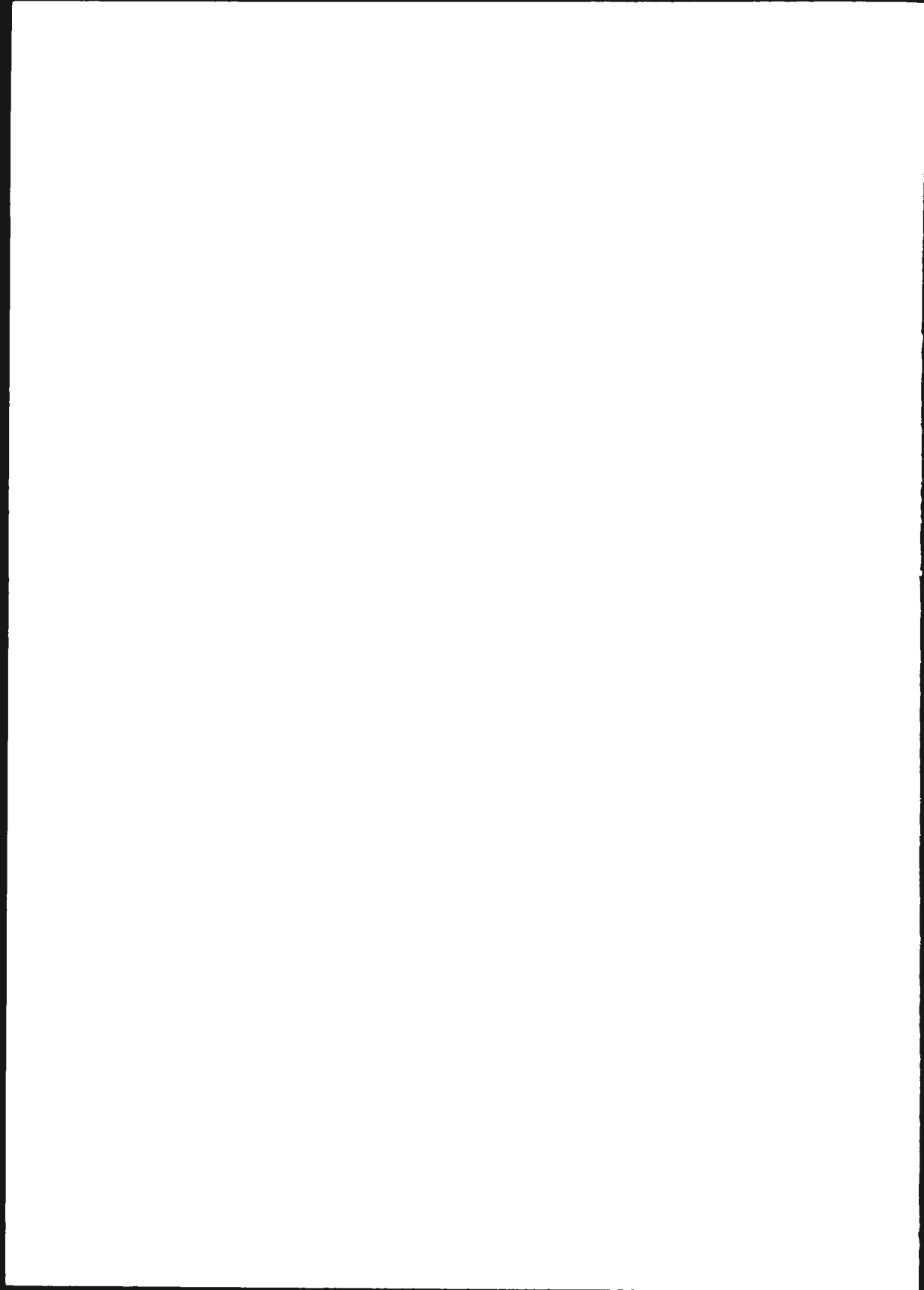
1. Tubería de presión.
2. Bridas de ensamble.
3. Carcaza zona del distribuidor.
4. Chumacera interior bulbo.
5. Sello mecánico.

6. Nariz del rodete.
7. Codo de salida.
8. Flecha motriz.
9. Sello flecha motriz.
10. Chumacera flecha motriz.

11. Freno de emergencia.
12. Cople flexible.
13. Soporte chumacera.
14. Carcaza. Zona acceso.
15. Bulbo interior.

16. Zona interior distribuidor.
17. Rodete móvil.
18. Tubo de desfogue.
19. Multiplicador de velocidad.
20. Cople rígido.

21. Volante de inercia.
22. Chumaceras.
23. Generador eléctrico.
24. Bastidor.
25. Base de concreto.



DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS DE PRODUCCION EN POZOS
DEL CAMPO GEOTERMICO CERRO PRIETO

V.M. Arellano G.* , D. Nieva G.* , R.M. Barraquán R.*
y J. de León V.†

* Instituto De Investigaciones Eléctricas
Apartado Postal 475
Cuernavaca, Mor., México

† Comisión Federal de Electricidad
Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos
Alejandro Volta No. 655
Morelia, Mich., México

En este trabajo se describe un procedimiento de diagnóstico que permite identificar algunas de las causas del decaimiento de la producción de un pozo dado. El procedimiento, que se encuentra basado en el análisis de los datos químicos y de producción de los pozos, toma en consideración la incrustación de las instalaciones superficiales, daño mecánico en los pozos, entrada de fluidos de menor temperatura e incrustación de la formación. Como parte adicional del procedimiento de análisis se diseñó un parámetro de rapidez de depositación de sílice (Rd), el cual puede ser empleado como una herramienta de pronóstico del proceso de incrustación de un pozo dado.

INTRODUCCION

Con el objeto de determinar los mecanismos responsables de la disminución de la productividad en algunos de los pozos del campo geotérmico Cerro Prieto (Figura 1), personal del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) efectuaron el análisis detallado de los historiales químicos y de producción de aproximadamente 20 pozos de este campo (Figura 2). Como resultado de este análisis, se encontró que entre los principales mecanismos responsables de la disminución de la productividad en algunos de los pozos de este campo se encuentran la incidencia de daño mecánico en las instalaciones de los pozos, la entrada de fluidos de menor temperatura en algunas zonas del campo, y la existencia de procesos incrustantes de la formación.

Con el objeto de facilitar el estudio futuro del comportamiento de pozos del campo geotérmico Cerro Prieto y en base a la experiencia ganada en el estudio detallado de casos particulares, se integró un procedimiento de diagnóstico, el cual permite identificar algunas de las causas del decaimiento de producción.

Adicionalmente, se desarrolló una herramienta de pronóstico, que permite indicar en un momento dado cuándo un pozo se está operando a un gasto excesivo, o bien cuándo el proceso de incrustación de la formación no está ocurriendo a niveles peligrosos y en principio se podría aumentar el gasto.

CORRELACION ENTRE DECAIMIENTO DE
PRODUCCION Y PRESION DE CABEZAL

Como un primer paso para la eliminación de casos de abatimiento de producción que hubieran ocurrido por causas ajenas a procesos en la formación, o a obturación de la tubería se hizo un análisis de la relación entre decaimiento de producción y la variación de presión de cabezal.

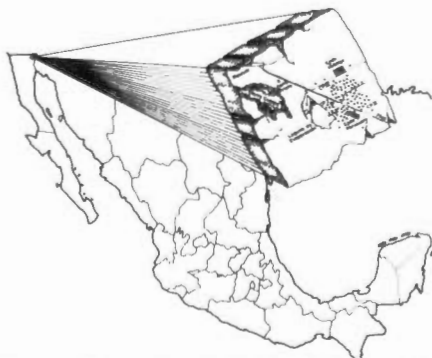


Fig. 1. LOCALIZACION DEL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO.

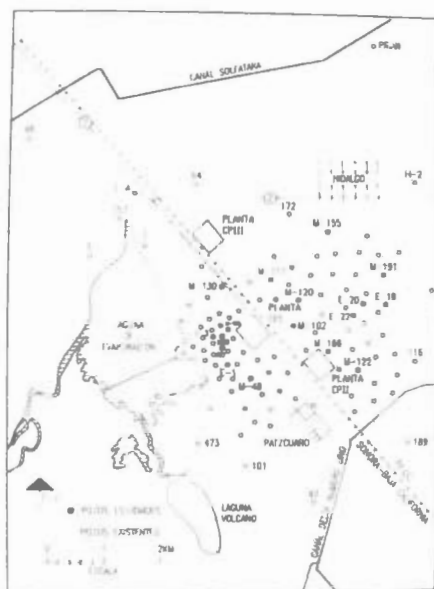


Fig. 2. LOCALIZACIÓN DE LOS POZOS A LOS CUALES SE LES EFECTUÓ UN ANÁLISIS DETALLADO DE LOS HISTORIALES QUÍMICOS Y DE PRODUCCIÓN.

En la Figura 3 se presenta la gráfica correspondiente a pozos de Cerro Prieto II y III. Como se puede observar, la mayoría de los casos muestran un decaimiento de producción aunado a un decaimiento de presión de cabezal. Esto es lo que se esperaría en un caso en que el abatimiento de producción se debiera a un correspondiente abatimiento de presión de yacimiento, o a una obturación dentro de la tubería del pozo.

Existe, sin embargo, un buen número de casos en que se observa un abatimiento de producción asociado con un INCREMENTO de presión de cabezal (pozos en el segmento inferior derecho de la figura). La explicación más razonable para estos casos, es que ha ocurrido una obturación en las instalaciones superficiales, en algún sitio exterior al punto de medición de la presión de cabezal. El lugar más probable es el lado de baja presión de la placa de orificio que controla el flujo total, donde puede ocurrir una obturación por la rápida caída de presión (y temperatura) del fluido, y por la separación de fases, que llevan a una marcada sobresaturación de la salmuera con respecto a la sílice.

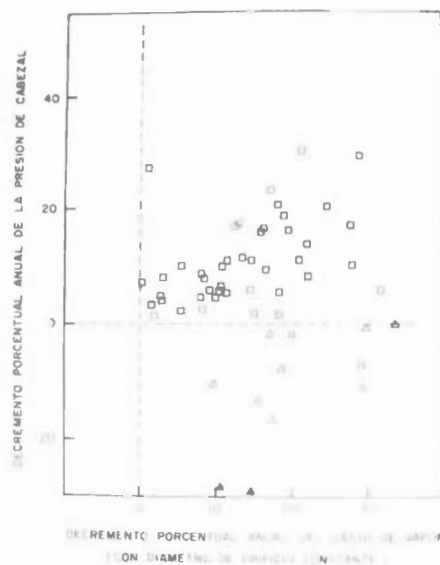


Fig. 3. RELACION ENTRE DECAIMIENTO DE PRODUCCION Y VARIACION DE PRESION DE CABEZAL. POZOS DE CERRO PRIETO II Y III.

Dado que este efecto sería más pronunciado cuanto más fuera la caída de presión, se buscó una correlación entre presión inicial de cabezal y decaimiento de producción, para los casos anteriores. La Figura 4 muestra que, en efecto, existe una correlación entre estos dos parámetros.

La recomendación lógica es que para los pozos que presenten este tipo de comportamiento se proceda a la revisión y limpieza de las instalaciones superficiales.

PROCEDIMIENTO DE DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS DE DECLINACION DE PRODUCCION

En esta sección se describe el procedimiento de diagnóstico de problemas de abatimiento de producción de pozos, el cual se hace en las siguientes etapas:

1. Bajo condiciones invariantes de operación (diámetro de orificio constante), un pozo que se alimenta de un solo estrato normalmente tenderá a variar gradualmente su

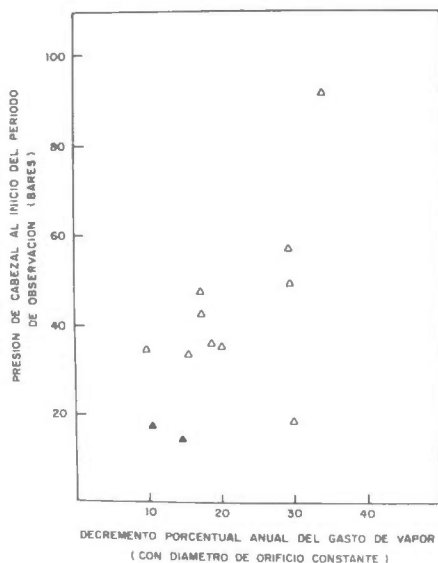


Fig. 4. RELACION ENTRE DECAIMIENTO DE PRODUCCION Y PRESION INICIAL DE CABEZAL PARA LOS CASOS ANOMALOS.

gasto, presión de cabezal, entalpía y propiedades químicas de su fluido. Los cambios abruptos en estos parámetros se deberán a alimentación de más de un estrato (a través de la tubería ranurada o de una zona de daño mecánico de la tubería), a un proceso de incrustación de la formación o del pozo, o al arribo de un frente de agua de menor temperatura.

- Un pozo en buen estado mecánico, que se alimente de un solo estrato con fluido bifásico (agua-vapor), mostrará una alta correlación entre los parámetros de entalpía específica (H) y presión de cabezal (P_{ci}).
- La temperatura calculada con el geotermómetro de sílice (T_{SiO_2}) indica la temperatura "cerca" del pozo, mientras que la calculada con el geotermómetro de sodio-potasio (T_{Ccp}) (Nieva y Nieva, 1987) indica condiciones "lejos" del pozo. La comparación del historial de entalpía, y de las temperaturas de fondo de pozo calculadas con estos geotermómetros, permite explicar fenómenos que ocurren en la zona de alimentación de un pozo (Lippmann y Truesdell, 1990; Truesdell et al, 1989; Truesdell et al, 1984).

- Durante el avance de un frente de fluido frío en el yacimiento, la perturbación de los parámetros químicos de los fluidos del pozo antecede la perturbación de los parámetros termofísicos (Grant et al, 1982).

A continuación se presenta (diagrama 1), en la forma de un diagrama de flujo, el procedimiento de diagnóstico, que incorpora las consideraciones arriba señaladas. Hasta el momento el procedimiento ha sido adecuado para la mayoría de los casos estudiados (Arellano, et al., 1990). Sin embargo, cabe enfatizar que, para casos en que el historial de uno o más de los parámetros se encuentre incompleto, o en casos en que el pozo se alimente de más de un estrato y esto cause grandes variaciones con el tiempo en los diversos parámetros, su aplicación tenderá a un diagnóstico de caso incierto. Para estos casos se requerirá un análisis más detallado, empleando los preceptos arriba enlistados.

RAPIDEZ DE DEPOSITACION DE SILICE

Como parte adicional del procedimiento de análisis se diseñó un parámetro de rapidez de depositación de sílice (R_d), el cual puede ser empleado como una herramienta de pronóstico del proceso de incrustación de un pozo dado. Este parámetro es de fundamental importancia al momento de delinear criterios de producción que permitan minimizar los efectos de procesos incrustantes en la formación.

El parámetro se calcula de la siguiente manera:

$$R_d = G * [Clp * [SiO_2]_{lp} - Ccp * [SiO_2]_{cp}] * 0.0010$$

donde G es el gasto total (ton/h), C es la calidad de líquido en el yacimiento, $[SiO_2]$ (mg/kg) es la concentración de sílice en equilibrio a la temperatura dada, y los subíndices cp y lp significan "cerca del pozo" y "lejos del pozo". La temperatura cerca del pozo se calcula con el geotermómetro de sílice (T_{SiO_2}), mientras que la temperatura lejos del pozo se calcula con el geotermómetro de composición catiónica (T_{Ccp}).

La Figura 5 muestra una gráfica de la declinación porcentual anual vs R_d para algunos pozos del campo Cerro Prieto. Como se puede observar, una buena fracción de los pozos muestra declinaciones altas. Los casos de baja declinación, y algunos de

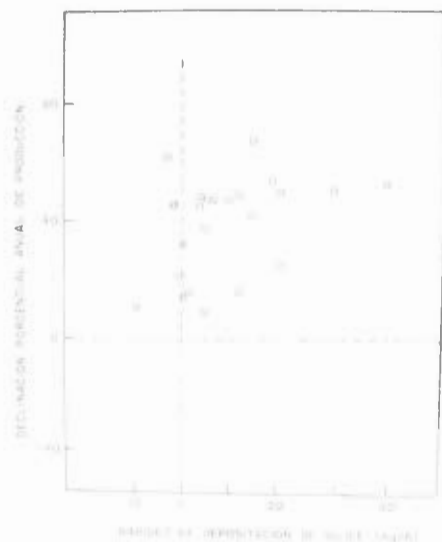


Fig. 5. PAPIRIZ DE DEPOSITACION DE SILICE VS DECLINACION PORCENTUAL ANUAL.

mediana y alta declinación se agrupan a lo largo de la línea vertical que marca el valor cero del parámetro R_d ; presumiblemente esto corresponde a pozos cuya declinación se ha debido a otras causas independientes del fenómeno de incrustación de la formación por sílice.

Por otro lado, es importante observar que todos los pozos para los cuales el valor calculado de R_d es mayor de 10 kg/h muestran un alto decaimiento porcentual anual (todos, salvo dos, con decaimientos mayores del 40% anual). Los pocos datos disponibles, y la inevitable mezcla de efectos de otros procesos, no permiten obtener una relación cuantitativa entre R_d y la declinación de producción. Sin embargo, se toma el valor de 10 kg/h como el mínimo indicativo de nivel de peligro de incrustación de la formación.

ESTUDIO DE CASOS PARTICULARES DE POZOS

El procedimiento de diagnóstico que se presenta en este trabajo se aplicó al estudio de 17 pozos del campo geotérmico Cerro Prieto.

En esta sección se presenta el análisis detallado de los históricos químicos y de producción del pozo M-20.

POZO M-20

Los puntos en la Figura 6, que corresponden a las condiciones termodinámicas del fluido que entra al pozo, indican que durante el período de agosto de 1971 a septiembre de 1978 el pozo M-20 se alimentó de fluido bifásico, lo cual está de acuerdo con el elevado coeficiente de correlación entre la entalpía y la presión de cabecera (0.9856). En la Figura 7 se muestra la variación con el tiempo del gasto, en la Figura 8 puede verse el comportamiento de la presión de fondo de pozo y en la Figura 9 puede observarse el comportamiento de la entalpía a fondo de pozo. Durante los primeros cuarenta meses de historial se presenta la indicación de ebullición en la zona de alimentación (Figura 10); es decir la temperatura en el fondo del pozo (definida con el geotermómetro de cuarzo) es consistentemente mayor que la temperatura del yacimiento no perturbado. Durante este período el gasto y la presión de fondo decrecen de manera regular pero relativamente rápida, hasta que ocurre un aumento súbito. A partir de este punto, con un gasto muy pequeño, se produce fluido de muy alta entalpía, y con un gran abatimiento de temperatura de fondo de pozo (205-215 °C a pesar por la presión), indicando un acusado proceso de ebullición local, que lleva a un incremento de la concentración de un sulfuro en la salmuera (Figura 11) y de la sílice, que no alcanza a equilibrarse (Figura 12).

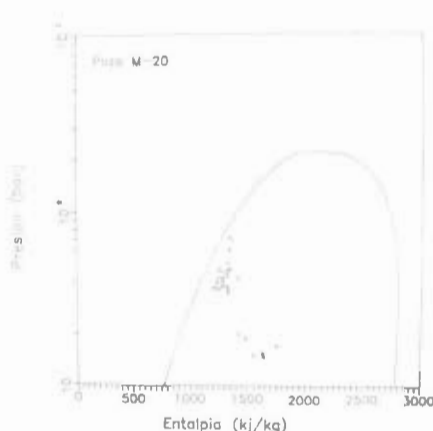


Fig. 6. CONDICIONES EN EL FONDO DEL POZO M-20 CALCULADAS EN BASE A LOS DATOS DE PRODUCCION.

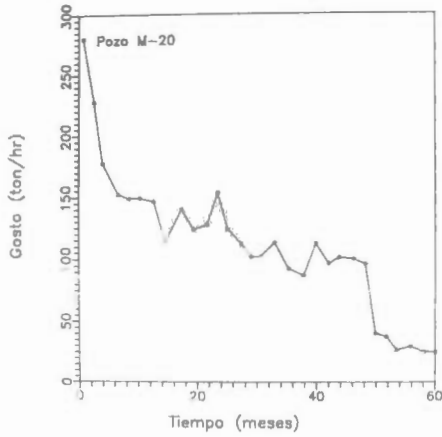


Fig. 7. COMPORTAMIENTO DEL GASTO DEL POZO M-20.

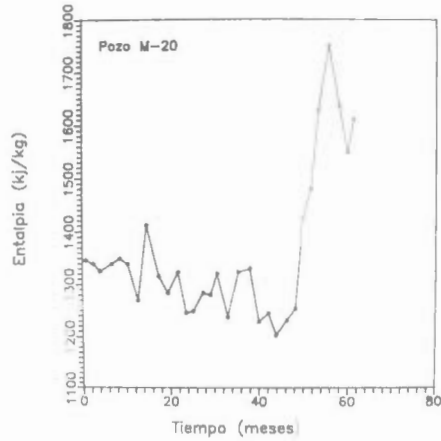


Fig. 9. COMPORTAMIENTO DE LA ENTALPIA ESPECIFICA DEL POZO M-20.

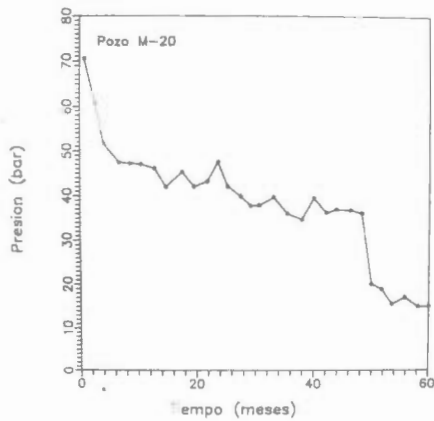


Fig. 8. COMPORTAMIENTO DE LA PRESION DE FONDO DE POZO.

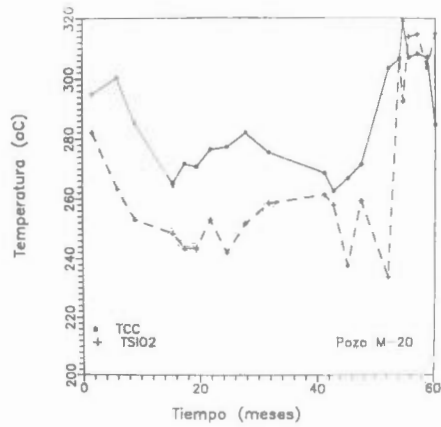


Fig. 10. TEMPERATURAS CALCULADAS CON LOS GEOTERMOMETROS DE SILICE Y DE SODIO - POTASIO.

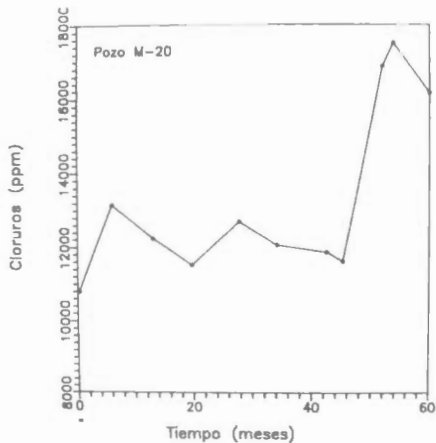


Fig. 11. CONCENTRACION DE CLORUROS EN EL AGUA SEPARADA

La interpretación más razonable es que en este pozo el proceso de ebullición local en la zona de alimentación ocasionó la incrustación de la formación, llevando a un abatimiento de la permeabilidad.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Es evidente que los procesos que pueden ocasionar el decaimiento acelerado de la producción de un pozo geotérmico son variados. El diagrama de flujo que se presenta en este trabajo, puede ayudar a diagnosticar algunos de estos problemas. En los casos en los que el historial de uno o más de los parámetros requeridos en el análisis se encuentre incompleto, la aplicación del procedimiento puede tender a un diagnóstico de caso incierto. Para estos casos se requerirá un análisis más detallado, aplicando los preceptos básicos sobre los que se desarrolló el procedimiento de diagnóstico, y estudiando la información existente de desarrollos y pruebas de presión.

La aplicación del procedimiento de diagnóstico a pozos del campo geotérmico Cerro Prieto ayudó a la identificación de casos de incrustación de las instalaciones superficiales, daño mecánico en los pozos, arriba de frentes fríos, e incrustación de la formación.

El parámetro de rapidez de depositación de sílice (Rd) puede ser empleado como una herramienta de pronóstico del proceso de

incrustación de un pozo dado. De los pozos del campo geotérmico Cerro Prieto que permitieron el cálculo de este parámetro y de la declinación porcentual anual de producción en un período inmediato subsecuente, todos los que mostraron un valor calculado de Rd mayor de 10 kg/h, muestran un alto decaimiento porcentual anual (decaimientos mayores del 40% anual). Dado que la rapidez de depositación de sílice depende de la caída de presión entre yacimiento y pozo, y esta caída a su vez es mayor mientras mayor sea el gasto, para un pozo que exceda el valor de Rd=10 kg/h se recomienda reducir el diámetro del orificio de producción antes de que el proceso de incrustación tenga efectos irreversibles en la formación.

Se desarrollará un sistema experto computarizado que pueda efectuar el análisis automático de los historiales químicos y de producción.

BIBLIOGRAFIA

- Arellano V. M., Barragán R. M., García, A., Morales, M y Nieva D (1990) "Desarrollo de criterios de operación para minimizar problemas de obturación de la zona de alimentación de pozos de Cerro Prieto" Informe IIE/11/2730/I 01/p.
- Fournier R. O. y Potter R. W. II (1982) "A revised and expanded silica (quartz) geothermometer". Trans. Geothermal Resources Council 11 (10), 3-12.
- Grant M. A., Donaldson I. G. y Hixley F. F. (1982) "Geothermal Reservoir Engineering". Academic Press.
- Lippmann M. J. y Truesdell A. H. (1990) "Reservoir simulation and geochemical study of Cerro Prieto 1 wells" Proc. Fifteenth Annual Workshop on Reservoir Engineering, Stanford University, Enero 1990.
- Nieva D. y Nieva R. (1987) "Developments in geothermal energy in Mexico-Part Twelve. A national geothermometer for prospecting of geothermal resources". Heat Recovery Systems & CHP 7, 241-254.
- Truesdell A., Terrazas E., Hernández L., Janik C., Quijano L. y Tovar E. (1988) "The response of the Cerro Prieto reservoir to exploitation as indicated by fluid geochemistry". Actas: Simposio en el campo de la energía geotérmica. Reunión bajo el convenio CFE-DOE, San Diego, Cal., Abril 1989.
- Truesdell A. H., D'Amore F. y Nieva D. (1984) "The effects of localized boiling on fluid production at Cerro Prieto". Trans. Geothermal Resources Council 8, 223-229.

ESTUDIO TRANSITORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA ROCA
CIRCUNDANTE AL POZO M-205

ALFONSO GARCIA

DEPTO. DE GEOTERMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS
A.P. 475, CUERNAVACA, MOR., MEXICO
C. P. 62000.

RESUMEN

Se presentan resultados de transferencia de calor en la roca circundante al pozo M-205 del campo Cerro Prieto, B.C. La roca es calentada por el calor del pozo. Las pérdidas de calor hacia la roca varían en menos de 1% al pasar de 60 a 135 días, y se reducen a un 2% de cambio al pasar del 5° al 6° mes. Estas pérdidas son del orden de 625 kW/200m a los 60 días y 555 kW/200m a los 180 días. La temperatura en el pozo cambia en menos de 1°C/mes a partir de los 120 días. La estabilización es más lenta a menores profundidades.

INTRODUCCION

En la parte oriental del campo geotérmico de Cerro Prieto, B. C., existen pozos profundos cuya productividad inicial puede verse afectada por fuertes pérdidas de calor del fluido hacia la formación, así como por la entrada de fluidos de baja entalpia debido a problemas en la terminación mecánica de los pozos. Un caso en cuestión es el pozo M-205, el cual al parecer, no mantiene la descarga de aire inducido mediante burbujas de aire comprimido. Esta impide "desatascar" el pozo.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el tiempo necesario para que la roca circundante al pozo M-205 se estabilice térmicamente. En decir, suponiendo que existe un flujo dado en el pozo, determinar la variación de la temperatura en el pozo y la roca, así como las pérdidas de calor hacia la roca como función del tiempo y de la altura. Este tiempo podría usarse para estimar el tiempo necesario que se requiere para inducir el pozo mediante inyección de aire comprimido para aligerar la columna de agua "fría" existente en el pozo.

Un análisis más completo fue reportado por García [1980].

PLANTEAMIENTO MATEMATICO

Considerando flujo radial y transitorio de calor conductivo, la ecuación gobernante para propiedades constantes

en la roca es:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r K r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \rho_r C_{p_r} \frac{\partial T_r}{\partial t}$$

Esta ecuación debe resolverse sujeta a las condiciones siguientes:

CONDICION INICIAL

$$\text{Para } t = 0, \quad T_r(r, z, 0) = T_0$$

CONDICION DE FRONTERA 1

$$\text{en } r = R, \quad T_r = T_0$$

(lejos del pozo)

CONDICION DE FRONTERA 2

$$\text{en } r = r_w \text{ (pared del pozo),}$$

$$hA (T_f - T_p) = KA \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=r_w}$$

En las ecuaciones mencionadas, la nomenclatura empleada es:

A área para transferencia de calor

h coeficiente de transferencia de calor

r coordenada radial

r_w radio del pozo

T_f temperatura del fluido circulando en el pozo

T_p temperatura de la pared del pozo
 T_r temperatura de la roca
 T_0 temperatura inicial de la roca
 t tiempo
 z coordenada axial

Debido a que $T_p = f(T_r, T_f)$, ésta se obtiene como sigue:

Aplicando la Primera Ley de la Termodinámica a un elemento de fluido monofásico de espesor Δz , se obtiene que:

$$dq = dH = dE_p + dE_c$$

donde:

q = calor

H = entalpia

E_c = energía cinética

E_p = energía potencial

Para un fluido no compresible, el término de energía cinética se hace cero y, para flujo hacia arriba en el pozo, la pérdida de entalpia debida al decrecimiento de presión es aproximadamente igual al aumento de energía potencial. Así, la ecuación anterior se reduce a:

$$dq = dH$$

Con un balance de calor en el pozo, se obtiene:

$$\rho_f C_{p_f} v \left[\frac{\partial T_f}{\partial t} + v \frac{\partial T_f}{\partial z} \right] = hA (T_p - T_f)$$

donde v es la velocidad del fluido en el pozo

La ecuación anterior permite determinar la temperatura del fluido en el pozo y se resuelve sujeta a:

CONDICION INICIAL

$$\text{Para } t = 0, \quad T_f(z, 0) = T_0$$

CONDICION DE FRONTERA

$$\text{en } z = 0, \quad T_f = T_f(0, t)$$

(fondo de pozo)

SOLUCION

El problema planteado para la roca y el fluido del pozo constituye un problema acoplado de ecuaciones interdependientes. Físicamente se puede visualizar como un tubo con fluido circulando internamente y anillos de roca adheridos al tubo cuyo espesor es Δz

Como inicialmente se conoce T_p y T_r el sistema se puede resolver como sigue.

Para el instante de tiempo $n+1$:

• determinar la temperatura en el pozo $T_f(z, t)$ en función de temperaturas anteriores

• determinar la temperatura en la roca radialmente para cada nivel z

• repetir el procedimiento para el instante $n+2$ y así sucesivamente hasta el tiempo deseado

El problema matemático descrito arriba fue resuelto mediante una formulación de diferencias finitas.

DETALLES DEL ESTUDIO

Con el propósito de determinar la variación transitoria y radial de la temperatura en la roca para diversos niveles Δz , así como la variación transitoria y vertical de la temperatura del fluido en el pozo, se utilizaron los siguientes parámetros para el estudio del pozo.

DATOS DEL POZO:

$$D = 0.25 \text{ m (9 5/8")}$$

$$z = 4200 \text{ m (} z = 0 \text{ a fondo de pozo)}$$

$$h = 100 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

$$v = 1 \text{ m/s (115 ton/hr aproximadamente)}$$

DATOS DEL FLUIDO

$$C_{p_f} = 4000 \text{ KJ/Kg-K}$$

$$\rho_f = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$T_f(z=0, t) = 350^\circ\text{C}$$

$$T_f(z, t=0) = 100^\circ\text{C}$$

DATOS DE LA ROCA

$$C_{p_r} = 1000 \text{ KJ/Kg-K}$$

$$\rho_r = 2550 \text{ kg/m}^3$$

$$K_r = 3 \text{ W/m K}$$

$$R = 100 \text{ m (espesor de la roca)}$$

PARAMETROS COMPUTACIONALES

$$\Delta t = 200 \text{ seg}$$

$$\Delta z = 200 \text{ m}$$

$$n_z = 20$$

$$\text{iter} = 10$$

$$n_r = 10$$

RESULTADOS

Los resultados del presente estudio se encuentran en las Figs. 1-4. Para la presentación de los resultados se tomó $z=0$ en la superficie.

La Fig. 1 muestra la variación de la temperatura del fluido del pozo como función de la profundidad a diferentes tiempos. De los resultados se ve que la temperatura en el pozo cambia en menos de $1^\circ\text{C}/\text{mes}$ o menos a partir de los 120 días. El cambio es mayor hacia la superficie del pozo que a profundidades mayores, es decir, la estabilización es más lenta hacia la superficie.

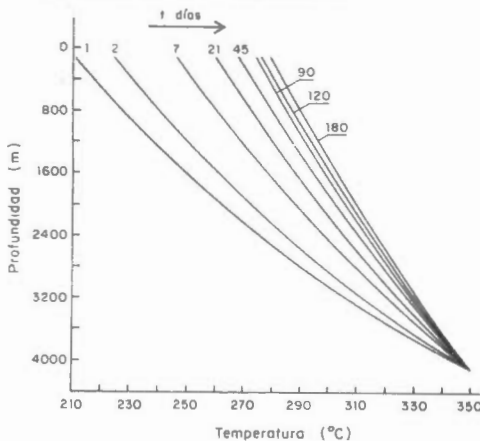


Fig 1 Variación de la temperatura del pozo M-205 como función de la profundidad y del tiempo.

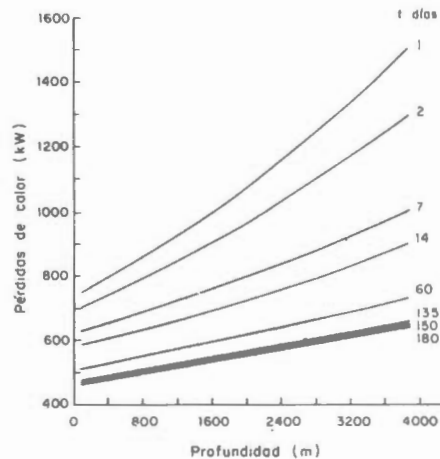


Fig 2 Variación del flujo de calor del pozo M-205 hacia la formación circundante

La Fig. 2 muestra la variación de las pérdidas de calor convectivo hacia la formación como función de la profundidad a diferentes tiempos. Estas pérdidas cambian muy poco después de 135 días y su magnitud es mayor a mayor profundidad. Las pérdidas de calor hacia la roca varían en menos de 10% al pasar de 60 a 135 días y se reducen a un 2% de cambio al pasar del 5° al 6° mes. Las pérdidas son del orden de 625 kW/200m a los 60 días y 555 kW/200m a los 180 días.

La Fig. 3 muestra la variación radial de la temperatura de la roca a diferentes tiempos a la profundidad de 2500 m. Como se ve, la roca acusa el calentamiento por el fluido en una distancia muy pequeña, 14 m o menos aún a los 6 meses desde el inicio del flujo en el pozo. La variación es muy rápida los primeros 2 meses y luego se hace muy lenta. Es notorio que a una distancia radial de 10 m, la máxima temperatura alcanzada en la roca es de unos 110°C a los 6 meses.

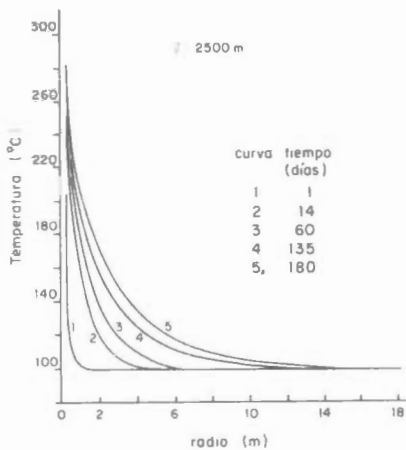


Fig 3 Variación radial de la temperatura de la roca circundante al pozo M-205 a diferentes tiempos.

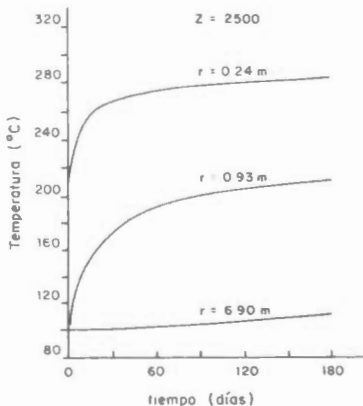


Fig 4 Variación transitoria de la temperatura de la roca alrededor del pozo M-205 en tres posiciones radiales.

La Fig. 4 muestra la variación de la temperatura de la roca como función del tiempo en diferentes posiciones radiales y 2500 m de profundidad. La estabilización de las temperaturas es más rápida a mayor profundidad y menor

distancia radial desde el pozo. Para cualquier profundidad, la estabilización de temperatura es más lenta a mayor distancia desde el pozo debido a que el calor se difunde lentamente.

CONCLUSIONES

Para el estudio descrito de transferencia de calor en la roca circundante al pozo M 205, con éste actuando como condición de frontera para la formación, se encontró que la temperatura de la formación y del pozo se estabiliza a unos 4 meses después de iniciar el flujo en el pozo.

REFERENCIAS

García, A., (1990), "Estudio transitorio de transferencia de calor en la roca circundante al pozo M 205 del Campo Geotérmico Cerro Prieto, B. M., Instituto de Investigaciones Eléctricas, Informe IIE/11/3753/1 20/P, Cuernavaca, Morelos, Agosto de 1990.

TRANSFORMACION DE MINERALES ARCILLOSOS
EN SISTEMAS HIDROTHERMALES.

G. Izquierdo M. y E. Libreros

Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Departamento de Geotermia.
Apdo. Postal 475, Cuernavaca 6200, Mor., México.

RESUMEN

El estudio sistemático de la fracción arcillosa de varios pozos del campo geotérmico de los Azufres, Mich., México, ha permitido establecer los cambios mineralógicos que ocurren en función de la profundidad, composición de las rocas y de la temperatura del yacimiento. La misma metodología, empleada a los campos geotérmicos de Chipilapa, El Salvador y de Los Humeros, Pue., México, ha reafirmado el comportamiento de los filosilicatos en sistemas hidrotermales.

INTRODUCCION

El desarrollo y exploración en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich., México, ha proporcionado una excelente oportunidad para el estudio de la interacción agua-roca en este sistema hidrotermal. Teniendo en cuenta que los cambios en composición y temperatura de los fluidos geotérmicos, en función del tiempo, quedan registrados en la composición de ciertas asociaciones mineralógicas. Las paragénesis y la composición de ciertos minerales pueden emplearse para conocer la evolución de un sistema geotérmico.

Dentro de los minerales formados como producto de la alteración hidrotermal de las rocas de un yacimiento se encuentra el grupo de las arcillas. Cuya composición es susceptible a cambios de temperatura, composición de la roca y del fluido (Eberl et al. 1978; Cathelineau et al., 1981). Existen numerosos estudios acerca del modo de su ocurrencia y mecanismos de formación en diversos ambientes geotérmicos, pero pocos en sistemas hidrotermales.

Con base en estos antecedentes y en los resultados obtenidos para el campo de Los Azufres (Cathelineau et al. 1981; Izquierdo y Cathelineau, 1981; Cathelineau et al. Impreso, 1981), el estudio se extiende a otros sistemas hidrotermales con el objeto de caracterizar los minerales presentes en la fracción arcillosa formada en otros ambientes hidrotermales y compararlos su comportamiento con el observado para el

campo de Los Azufres.

EL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES

El campo geotérmico de Los Azufres se localiza en el Cinturón Volcánico Mexicano, en la Sierra de San Andrés, en el estado de Michoacán, México. Este yacimiento debido a su desarrollo, es el segundo en importancia en la República Mexicana. Actualmente se han perforado más de 53 pozos y cuenta con una capacidad instalada de 65 MW.

En términos generales, estudios petrográficos han mostrado que el yacimiento de Los Azufres está formado por flujos de composición andesítica, cubiertos por domos y flujos de riolita y dacitas. En este campo se ha puesto en evidencia la existencia de un metamorfismo progresivo de las rocas que forman el yacimiento, el cual es función de la profundidad y la temperatura (Cathelineau et al. 1981).

EL CAMPO GEOTERMICO DE LOS HUMEROS.

El campo geotérmico de Los Humeros se encuentra localizado en el extremo occidental del Cinturón Volcánico Mexicano, en los límites de los estados de Puebla y Veracruz. Este campo se encuentra constituido dentro de una Caldera, llamada Caldera de Los Humeros (CHH). A la fecha se han perforado 14 pozos en su mayoría explotatorios.

Worison y Bellon (1969), han delimitado

4 unidades litológicas del subsuelo. La primera constituida por andesitas básicas con intercalaciones de basaltos. La segunda, evidenciando un visible contraste petrológico, está formada por ignimbritas vítreas y vítreas; las primeras constituidas por fragmentos de andesitas, basaltos, calizas, hornfels y de intrusivos. La tercera unidad se caracteriza por la presencia de andesitas de augita y de hornblenda. Finalmente la cuarta unidad, se trata de un hornfels de calcita, diópsida, wollastonita y granate.

EL CAMPO GEOTERMICO DE CHIPILAPA

El campo geotérmico de Chipilapa, se encuentra localizado en la región poniente-centro de la República de El Salvador. En la actualidad se han perforado cinco pozos. Uno de ellos de carácter exploratorio con una profundidad de solo 400m.

El estudio petrográfico del pozo CH-7 (Rentería, 1990), ha mostrado la presencia de basaltos, ignimbritas vítreas, andesitas y en la parte más profunda se encuentra un paquete de andesitas con intercalaciones tobáceas.

EXPERIMENTAL

La mineralogía de la fracción arcillosa, se determinó en recortes de perforación de quince pozos del campo de Los Azufres, 3 del campo de Los Humeros y uno del campo de Chipilapa. Las muestras se seleccionaron para cada pozo a intervalos de 40 a 60 metros hasta la máxima profundidad disponible. Los minerales arcillosos se disgregaron mecánicamente en un baño de ultrasonido. La fracción arcillosa se obtuvo por medio de sedimentación (Izquierdo et. al 1987). Las muestras orientadas se analizaron en un difractorómetro de rayos-X, Siemens D-500 con radiación de cobre, en el rango de 2 0 de 2 a 65 . La misma preparación, saturada en una atmósfera de etilenglicol, se registró de 2 a 45 de 2 0. Ocasionalmente se recurrió a tratamientos térmicos con la finalidad de distinguir entre algunas especies mineralógicas. La identificación de los minerales se llevó a cabo por medio del archivo JCPDS (Berry G.L.) y del manual de Thorez (1975). La composición de los minerales interstratificados se determinó comparando los patrones de las muestras tratadas con etilenglicol, con los patrones teóricos de Reynolds y Hower (1970). La abundancia relativa de cada mineral se determinó por medio de la intensidad, a la altura media, de la reflexión d001 de cada mineral.

La estimación de la temperatura se realizó por medio de sondas microtermométricas de inserción directa formadas por cristales transparentes con conductividad térmica, epidota y anhidrita, presentes a la misma profundidad que los minerales arcillosos (Reportes internos del IIE 1988, 1989). Con la temperatura de homogeneización se generaron, para cada pozo, perfiles térmicos en función de la profundidad

RESULTADOS

Como ya se mencionó, el campo de Los Azufres ha proporcionado una excelente oportunidad para realizar una serie de estudios geoquímicos, isotópicos y mineralógicos que han permitido definir y caracterizar el yacimiento. En este campo se seleccionaron quince pozos A9, A16, A18, A23, A25, A26, A27A, A28, A35, A40, A44, A49, A50, A52 y A53 los cuales por su localización cubren la mayor parte del campo; en su mayoría se encuentran perforados sobre andesitas. A excepción del pozo A23 que atraviesa un domo de composición riolítica hasta aproximadamente 1000 m., proporcionando un marco de comparación entre las dos principales unidades litológicas del campo.

En el campo de Los Humeros, se han estudiado los pozos, H15, H17 y H29. Los tres ubicados en la parte central de la Caldera de Los Humeros, en la zona conocida como Colapso Central. Los estudios petrográficos indican que estos pozos atraviesan las cuatro unidades litológicas antes mencionadas.

Con lo que respecta al campo de Chipilapa, a la fecha, se ha llevado a cabo la caracterización de los minerales arcillosos de un solo pozo: el CH-7. El cual se encuentra en la parte central del campo geotérmico.

Así, por medio del análisis de la fracción arcillosa (por difracción de rayos - X) de los recortes de perforación de cada uno de los pozos estudiados, se identificaron principalmente: caolinita, esmectitas sódicas y cálcicas, illitas y clorititas. La ocurrencia de minerales interstratificados se limita a pequeños espesores de la columna litológica de varios pozos; por lo regular en profundidades y temperaturas intermedias. Para cada pozo, se elaboraron gráficas, que incluyen: columna litológica, composición de la fracción arcillosa, profundidad y perfil térmico.

El análisis mineralógico, para el campo

El estudio petrográfico de los pozos H15 y H29 muestra la intercalación de tobas riolíticas con andesitas (A.Ortega, comunicación personal). Siendo la composición ácida de la roca favorable para la formación de illita. La cual se determinó en distintas proporciones, acompañada de esmectita, clorita y raramente con estratificación de illita/esmectita. En general la especie dominante a profundidad es la clorita. Aunque a partir de 1830m en el pozo H15 y de 1690m en el pozo H29, se tiene la ocurrencia de esmectita en alta proporción. La secuencia mineralógica observada en el campo de Los Humeros es la siguiente:

Esmectita

Esmectita - illita/esmectita
illita/esmectita
clorita/esmectita - illita - clorita

Esmectita - illita - clorita

Clorita.

Para el campo de Los Humeros, en la unidad litológica formada por tumbritas se determinó la presencia de caolinita en distintas proporciones, tendiendo a disminuir en función de la profundidad y por lo tanto de la temperatura. Dada la ocurrencia de caolinita y cloritas en una misma muestra, cabe hacer mención de la dificultad aparente en la identificación de estas especies mineralógicas. Siendo un patrón de difracción el reflejo estructural de un compuesto, es posible distinguir en un difractograma los cambios estructurales causados por distintos tratamientos térmicos que, en este trabajo han sido empleados como auxiliares para diferenciar una clorita de una caolinita.

El estudio petrográfico de los pozos H15 y H29 muestra la intercalación de tobas riolíticas con andesitas (A.Ortega, comunicación personal). Siendo la composición ácida de la roca favorable para la formación de illita. La cual se determinó en distintas proporciones, acompañada de esmectita, clorita y raramente con estratificación de illita/esmectita. En general la especie dominante a profundidad es la clorita. Aunque a partir de 1830m en el pozo H15 y de 1690m en el pozo H29, se tiene la ocurrencia de esmectita en alta proporción. La secuencia mineralógica observada en el campo de Los Humeros es la siguiente:

Caolinita - esmectita

Esmectita - illita/esmectita -
illita - clorita

Clorita

La mineralogía de la fracción arcillosa observada en el pozo CH 7, es semejante a la observada en los otros campos. La esmectita se identifica como cálcica, siendo la especie dominante de la superficie a los 500m. A partir de los 400m disminuye su proporción favoreciendo la formación de clorita. En general, en función de la profundidad y de la temperatura, la secuencia mineralógica observada para este pozo del campo de Chipilapa es:

Esmectita

Esmectita - illita/esmectita -
clorita/esmectita - illita - clorita

Clorita

CONCLUSIONES

De las observaciones descritas, resulta evidente que la mineralogía de la fracción arcillosa depende básicamente, como se propuso para el campo de Los Azufres, de la composición de la roca y de la temperatura del medio. De tal manera es posible establecer tres zonas térmicas en función de la mineralogía observada. Lo cual resulta de gran utilidad en el transcurso de la perforación de pozos geotérmicos.

I. Zona de esmectita - caolinita:
T menor a 200°C.

II. Zona de esmectita-illita-clorita-
m.interestratificados:
T entre 200 y 250°C.

III.A. Zona de illita (rocas ácidas):
T mayor a 250°C.

III.B. Zona de cloritas:
T mayor a 280°C.

Así, de acuerdo con Weaver (1989), la caolinita puede ser destruida a temperaturas tan bajas como 800°C y persistir hasta 2200°C (bajo condiciones extremas de pH y presión). Asimismo, Weaver sugiere que el Mg y el Fe liberados de la estructura de montmorillonita y de minerales interestratificados, reaccionan con caolinita para formar cloritas; lo cual favorece nuestras observaciones.

Por otro lado la ocurrencia de montmorillonita sódica o cálcica, esta ligada exclusivamente al tipo de roca de la cual se forma. Montmorillonita cálcica se encontró únicamente en rocas básicas.

Para la formación de illita se conocen dos mecanismos (Pollastro, 1985). Uno: formación directa a partir de montmorillonita y el otro vía interstratificación de illita/smectita. Con los resultados obtenidos no es posible dar una conclusión definitiva sobre el mecanismo de formación, pues de acuerdo a las secuencias observadas se tiene evidencia de los dos mecanismos.

Izquierdo M.G., Barragán R.M., Guevara G.M., González P.E., Nieva D.D., Oliver H.R., Portugal M.E., Cantayo G.E. y Verma M. (1988). Caracterización de yacimientos geotérmicos por medio de la determinación de parámetros fisicoquímicos. Informe final. IIE/11/2386/I 01/f.

Kristmannsdottir H. (1977). Types of clay minerals in hydrothermally altered basaltic rocks. Reykjanes, Iceland, *Jokull.* 26, 30-39.

Pollastro R.M. (1985). Mineralogical and morphological evidence for the formation of illite at the expense of illite/smectite. *Clays and Clay Minerals.* 33, 4. 265-274.

Rentería T.D., Izquierdo M.G., Guevara G.M. y González P.E. (1986). Petrología del poco CH-7, Chapala, El Salvador C.A. Informe Técnico del Instituto de Investigaciones Científicas.

Reynolds R.C. y J.Hower. (1970). The nature of interlayering in mixed layer illite + montmorillonite. *Clays and Clay Minerals.* 18. 25-36.

Thorez L. (1975). *Phyllosilicates and Clay Minerals*, Editions G. Leclotte, B4820 Dison, Bélgica.

Viggiano G.J.C. y Ruelas C.G. (1986). Mineralogía hidrotermal en el campo de Los Hornos, Puebla. 1: Una zona como indicadora de temperatura y del régimen hidroclógico. *Geotermia.* 4, 1. 15-20.

Weaver Ch.E. (1979). Diagenetic alteration of clay minerals and clays: Diagenesis. Informe Técnico ONR 122 National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C. 20540.

REFERENCIAS

Barragán R.M., Guevara G.M., González P.E., Izquierdo M.G. y Nieva D.D. (1987). Estudios geoquímicos, isotópicos, mineralógicos y de intrusiones fluidas aplicados a la evaluación de los yacimientos geotérmicos de Los Azufres, Mich. y Los Hornos, Pue. Informe final IIE/11/2746/I 01.F.

Berry L.G. ed. (1944). Selected powder diffraction data for minerals. Joint Committee on Powder Diffraction Standards. 833p.

Cathelineau M., Oliver H., Izquierdo G., Garfias A., Nieva D. y Izquierdo O. (1988). Mineralogy and distribution of hydrothermal mineral zones in Los Azufres Mexican geothermal field. In: *Workshop on Reservoirs*. Res. Board. 1. 267-274.

Cathelineau M., Poppeo G. (1987). Temperature controlled crystallization of authigenic illite/smectite in the Los Azufres geothermal system. *Contrib. Mineral. Petrol.* 100. 317-330.

Eberl D., Giffney G. y Khoury H. (1978). Hydrothermal reactivity of smectite. *Am. Miner.* 63. 401-409.

Imparato G., Cathelineau M. y Nieva D. (1986). Estudio de la estructura molecular y de la distribución de los minerales hidrotermales en el yacimiento de Los Azufres, Mich. Fase II. IIE/11/2746/I 02.F.

Izquierdo M.G. y Cathelineau M. (1987). Asociación de minerales hidrotermales en el yacimiento de Los Hornos, Mich. y su zona hidrotermales. *Mem. Inst. Geológico Nacional* 1-199. Secretaría de Educación y Recursos Culturales. México, México.

GEOQUIMICA DE ISOTOPOS ESTABLES EN LA EXPLORACION Y EXPLOTACION DE LA ENERGIA GEOTERMICA

Mahendra P. Verma, E. Portugal, F. Tabaco y D. Nieva

Departamento de Geotermia, Instituto de Investigaciones Eléctricas,
Apartado Postal 475, CP 62000, Cuernavaca, Mor.

Se presentan aspectos fundamentales sobre la geoquímica de isótopos estables como una herramienta para esclarecer los procesos de formación de manifestaciones naturales, y proponer modelos de mezcla, lo cual permite conocer las condiciones físico-químicas que imperan en los yacimientos geotérmicos, tales como son la distribución de temperaturas en el campo, estados de equilibrio químico entre la roca y el fluido, etc. Los modelos geohidrotermales de los yacimientos proporcionan información sobre los procesos que ocurren en el yacimiento como son la ebullición y condensación parcial del fluido, deposición de minerales, etc. Estos modelos desarrollados con base en los estudios isotópicos, durante las etapas de explotación de un campo geotérmico proporcionan un mejor entendimiento sobre la capacidad energética del mismo y su aprovechamiento adecuado.

1. INTRODUCCION

La era de la geoquímica de isótopos estables se inició con los estudios realizados por el Prof. Harold Urey sobre las propiedades termodinámicas de las sustancias isotópicas publicados en 1947. Apartir de esa fecha se han venido realizando enormes esfuerzos para calcular los coeficientes de fraccionación isotópica entre las especies de interés geoquímico, mediante la mecánica estadística utilizando datos de espectroscopia infra roja y Raman, y para mejorar las técnicas experimentales en la determinación de la proporción isotópica de los elementos ligeros, los cuales se encuentran en las especies naturales, con la precisión para explicar procesos geológicos.

Los isótopos son átomos del mismo elemento, cuyos núcleos presentan el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones. Se ha encontrado que la estructura externa nuclear de un elemento determina esencialmente su comportamiento químico, mientras que el núcleo es el responsable de sus propiedades físicas. Ya que todos los isótopos de un elemento dado, contienen el mismo número y arreglo de neutrones, la similitud de su comportamiento químico es una consecuencia lógica. Sin embargo, la diferencia que existe en la masa atómica ocasiona que los diversos isótopos de un elemento presenten propiedades físico químicas diferentes. Este fenómeno es conocido como efecto isotópico.

La geoquímica de isótopos estables, a la par que la química de fluidos geotérmicos, desempeña un papel muy importante para comprender el modelo hidrotermal de los sistemas geotérmicos, los cuales se originan a causa de la interacción entre el agua y la roca caliente en la corteza superior de la tierra en un tiempo geológico. La formación de un sistema geotérmico de este tipo está fuertemente influenciada por su ambiente geológico. Una de las características importante de estos sistemas es la presencia de una masa magmática a distancia relativamente somera y la infiltración profunda de

aguas meteóricas a través de fracturas y fallas. Los sistemas geotérmicos se localizan en regiones de alto flujo de calor donde se encuentran rocas calientes y permeables cerca de la superficie de la tierra, especialmente al lado de fallas activas, al margen de placas y otros áreas de volcanismo reciente. Los fluidos de descarga representan la parte final de un sistema de circulación convectiva que ocurre en el subsuelo liberando de esta manera la energía procedente de regiones de la corteza superior de la tierra que presentan anomalías térmicas. Los ambientes intrusivos epizonales son particularmente conductivos al desarrollo de tales sistemas. Existen sistemas que presentan una capa de rocas sello, la cual impide la descarga del fluido hacia la superficie conservando el calor en la fuente. A diferencia de estos, existen sistemas como Los Geysers en California, E.U. que no presentan esta estructura. La temperatura medida en estos yacimientos se encuentra entre 100 y 350°C y es lógico esperar que a mayores profundidades se encuentren temperaturas más altas.

En este trabajo se presentan aspectos básicos de la espectrometría de masas (de isótopos estables) empleada en la determinación de la composición isotópica de los fluidos de descarga, como una herramienta de apoyo de decisión durante las etapas de exploración y explotación de los sistemas geotérmicos. Así mismo, se presenta una breve discusión de los estudios isotópicos del sistema geotérmico de Los Azufres, Mich.

2. TERMINOLOGIA

(a) El valor δ

A causa de las dificultades que plantea la medición de las cantidades absolutas del contenido isotópico, se ideó la notación delta. Este parámetro se utiliza para evaluar cualitativamente la composición isotópica de una muestra en relación a la composición de un estándar. Por definición, el pará

metro se expresa mediante la siguiente expresión

$$\delta = \left(\frac{R_M}{R_{ST}} - 1 \right) \times 1000$$

donde R es el cociente del isótopo menos abundante en relación al más abundante.

La referencia que se maneja a nivel internacional es el estándar del agua oceánica promedio (SMOW; Standard Mean Oceanic Water) para el oxígeno e hidrógeno. Mientras que para el carbono es el PDB (PeeDee Belemnite).

(b) Fraccionación isotópica

Debido a las diferencias en las propiedades físico químicas las transformaciones y transiciones de las sustancias isotópicas van acompañadas generalmente por efectos de fraccionamiento isotópico. La partición de los isótopos entre dos sustancias con diferente proporción isotópica es conocido como *fraccionamiento isotópico*. El coeficiente de fraccionamiento isotópico entre las fases A y B se define como:

$$\alpha_{A/B} = \frac{R_A}{R_B}$$

al combinar la ecuación anterior con la definición del parámetro δ , se obtiene la siguiente expresión

$$\alpha_{A/B} = \frac{1000 + \delta_A}{1000 + \delta_B}$$

tomando en cuenta que casi la totalidad de los valores de los factores de fraccionamiento equivalen aproximadamente a la unidad, se tiene que para $\alpha \approx 1$, $\ln \alpha \approx \alpha - 1$

al sustituir el valor anterior de α la ecuación se transforma en:

$$\ln \alpha_{A/B} = \frac{\delta_A - \delta_B}{1000 + \delta_B}$$

para $\delta \ll 1000$

$$\ln \alpha_{A/B} \approx \delta_A - \delta_B$$

En la figura 1 se presentan las curvas del coeficiente de fraccionación isotópica como función de la temperatura para los sistemas de las especies de interés geotérmico.

3 GEOTERMOMETROS DE ISOTOPOS ESTABLES

La distribución relativa de los isótopos entre las fases o componentes de un sistema geotérmico es función únicamente de la temperatura. La diferencia en composición isotópica entre un par de especies que contiene un elemento (átomo) común puede emplearse para evaluar temperatura del fondo del yacimiento geotérmico, si existe equilibrio isotópico entre las especies y dicho equilibrio se mantiene en las muestras recolectadas y durante el período de análisis. La dependencia de la constante de equilibrio (α) con respecto a la temperatura generalmente se expresa mediante la siguiente relación

$$10^3 \ln \alpha = A + BT^{-1} + CT^{-2}$$

donde A, B, C son constantes y T es temperatura (en °K). La tabla 1 presenta las ecuaciones empíricas desarrolladas

para estimar la temperatura del yacimiento basándose en las variaciones isotópicas

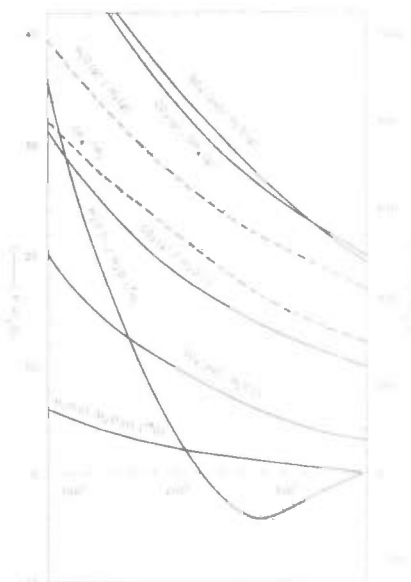


Figura 1. Curvas de los factores de fraccionamiento isotópico como función de la temperatura, para los sistemas de las especies de interés geotérmico (Giggenbach et al 1983)

4 ORIGEN DE LAS AGUAS GEOTÉRMICAS

La determinación sistemática de la proporción de isótopos estables del hidrógeno y del oxígeno de los diversos tipos de aguas y vapores de los campos geotérmicos realizado por Craig (1963) demostró el origen meteórico de los fluidos geotérmicos. Las aguas meteóricas locales se infiltran a través de fracturas y fallas en el campo hasta alcanzar el yacimiento. Sin embargo, existe la posibilidad de encontrar en algunos sistemas una pequeña proporción de otro tipo de aguas. La figura 2 presenta la correlación entre las composiciones isotópicas de fluidos de pozos geotérmicos y de aguas meteóricas locales de diferentes sistemas geotérmicos en el mundo. Los puntos situados cerca de la línea del agua meteórica representan a las aguas de precipitación pluvial local, mientras que los datos para las aguas geotérmicas o vapor muestran un grado variable de enriquecimiento de oxígeno 18 con un contenido de deuterio en la mayoría de los casos casi similar al valor de la precipitación local. La correspondiente similitud del contenido de deuterio entre el agua térmica y el agua meteórica, generalmente se considera como indicativo del origen predominantemente meteórico de las descargas geotérmicas, mientras que el enriquecimiento con oxígeno 18 evidencia un intercambio isotópico del agua con la roca del reservorio a altas temperaturas.

GEOTERMOMETRO	ECUACION
$SO_4 - H_2O$	
Lloyd	$1000 \ln \alpha = 3.215 \times 10^6 / T^2 - 5.6$
$SO_4 - H_2O$	
Mizutani-Rafer	$1000 \ln \alpha = 2.88 \times 10^6 / T^2 - 4.1$
$CO_2 - CH_4$	$1000 \ln \alpha = -9.01 + 15.301 \times 10^3 / T + 2.361 \times 10^6 / T^2$
$CO_2 - H_2O_{sup}$	$1000 \ln \alpha = -10.55 + 9.289 \times 10^3 / T + 2.61 \times 10^6 / T^2$
$H_2 - CH_4$	$1000 \ln \alpha = -90.888 + 181.269 \times 10^6 / T^2 + 8.949 \times (10^6 / T^2)^2$

Tabla 1. Ecuaciones de algunos geotermómetros isotópicos aplicados en sistemas geotérmicos.

De los sistemas geotérmicos graficados en la figura 2, tres de estos muestran una marcada desviación del patrón geotérmico. Tal es el caso de Arima, Campi Flegrei y El Tatio. La salmuera de los sistemas Arima y Campi Flegrei presenta una alta salinidad debido probablemente a la presencia de agua oceánica u otro tipo diferente a la meteórica. La desviación observada para El Tatio puede ser explicada en términos de una baja precipitación pluvial, permitiendo que el agua de una zona de mayor precipitación con composición isotópica diferente localizada a 15 km al este sea la que recargue al sistema.

5. PROCESOS QUE AFECTAN LA COMPOSICION ISOTOPICA DE LOS FLUIDOS GEOTERMICOS

(a) En el Yacimiento

Como se ha mencionado anteriormente los fluidos geotérmicos generalmente se forman a partir de aguas meteóricas locales las cuales se infiltran a través de las fallas y fracturas. La interacción e intercambio isotópico entre las aguas infiltradas y las rocas a altas temperaturas conduce a un incremento en el contenido de oxígeno 18 de las aguas. La respuesta de los sistemas isotópicos al intercambio fluido-roca depende de varios factores, de la composición isotópica inicial del fluido ($\delta_f W$) y de la roca ($\delta_f R$), de la temperatura como se refleja en el factor de fraccionación agua-roca (Δ), de las proporciones relativas de fluido y roca involucradas en el intercambio (la relación agua/roca, abreviado W/R), del grado de aproximación al equilibrio y de las condiciones frontera. En el más simple caso, un sistema cerrado donde se obtiene el equilibrio isotópico, la relación de conservación es (Taylor, 1977)

$$\frac{W}{R} = \frac{(\delta_f R - \delta_f W)}{\delta_f W - (\delta_f R - \Delta)} \left| \frac{C_f R}{C_f W} \right|$$

donde $\delta_f R$ es la composición isotópica final de la roca, la diferencia $\delta_f R - \Delta$ es igual a la composición isotópica final del fluido, y $C_f R$ and $C_f W$ son las concentraciones del elemento particular en el agua y la roca, respectivamente.

Los procesos de ascenso y ebullición-condensación parcial del fluido en el yacimiento geotérmico incrementa las concentraciones de las especies volátiles en la parte superior del yacimiento (Nieva et al, 1987). La fraccionación de los isótopos de hidrógeno entre las fases vapor y líquido es función de la temperatura que prevalezca en el sistema y su tendencia cambia a temperaturas mayores de 220°C verificándose una fraccionación preferencial hacia

la fase vapor. Es decir, la composición isotópica de hidrógeno tiene un comportamiento volátil arriba de 220°C.

(b) Durante su Ascenso a la Superficie

Los dos procesos secundarios más importantes que afectan la composición isotópica del fluido geotérmico durante su ascenso hacia la superficie son la separación de vapor debido a la expansión adiabática de los fluidos termales con un decremento en la presión, y la dilución del fluido con aguas procedentes de fuentes poco profundas. En el caso de la separación de vapor la composición isotópica de las fases vapor y agua formadas depende en gran medida en el modo de la separación de fases en etapa simple o continua. Se encontró que los máximos efectos sucedían en la separación por etapa simple, que corresponde al caso donde el vapor y el agua viajan juntos y permanecen en contacto y en equilibrio isotópico hasta que el vapor se separa del sistema a una temperatura dada.

Debido a la alta velocidad a la que se obtiene el equilibrio isotópico entre la fase vapor y la fase líquida, se puede asumir que la distribución de oxígeno-18 y deuterio sea muy cercana al equilibrio y, por lo tanto, este proceso sea gobernado por la constante de equilibrio α .

El contenido isotópico medido en las fases líquida y vapor están entonces relacionados con α , ya sea para el oxígeno o el deuterio, a través de la siguiente ecuación

$$\epsilon = 1000 \ln \alpha \approx 1000 (\alpha - 1) \approx \alpha W - \alpha S$$

Si se asume una separación de vapor efectiva en el subsuelo, lo cual corresponde a un proceso de separación de una etapa, la composición isotópica del agua y vapor separado puede evaluarse mediante un balance isotópico

$$\delta_S Y_S + \delta_W (1 - Y_S) = \delta_O$$

donde δ_O representa la composición isotópica de la fase líquida antes de la separación de la fracción de vapor Y_S , la cual está dada por

$$Y_S = \frac{H_O - H_S}{H_S - H_W}$$

donde H_S , H_S y H_W representan las entalpías de mezcla, vapor y del agua, respectivamente, a la temperatura de separación.

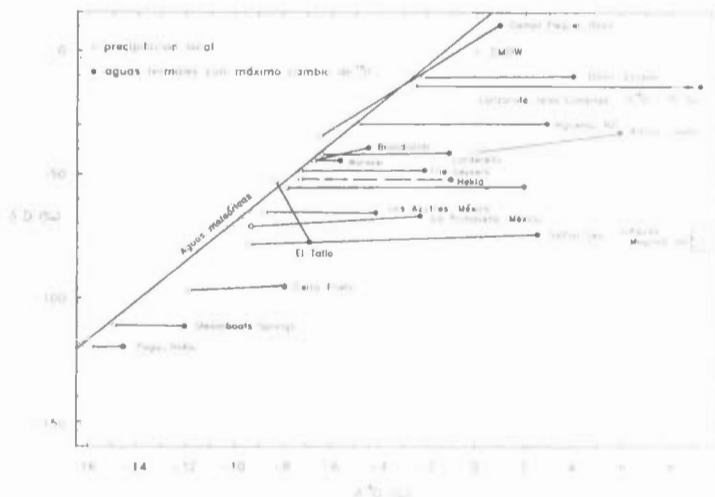


Figura 2. Correlación entre las composiciones isotópicas de fluidos de pozos geotérmicos y de aguas meteorológicas locales de diferentes campos geotérmicos en el mundo (Giggenbach et al 1981).

Estas relaciones permiten evaluar la composición isotópica de la fase líquida, δ_{H_2O} y vapor, δ_S , como función de δ_{H_2O} :

$$\delta_H = \delta(\epsilon + 1) \delta_{H_2O}$$

$$\delta_S = \delta(\epsilon + 1) \delta_{H_2O}$$

Los dos procesos principales que afectan la composición isotópica del fluido durante su ascenso hacia la superficie, evaporación y mezcla, pueden ocurrir en cualquier orden.

• En La Superficie

El proceso de evaporación modifica la composición isotópica del fluido geotérmico en la superficie. Giggenbach y Stewart (1982) presentaron un método teórico para predecir los efectos de la evaporación en albercas calentadas por vapor. La evaporación de los manantiales termales con rápido flujo tiene, generalmente, solo un efecto pequeño sobre la composición isotópica de la descarga.

LOS AZUFRES: UN CASO ESTUDIADO

I. INTRODUCCION

México ocupa actualmente un tercer lugar mundial en la generación geotermoelectrónica con aproximadamente 700 MW de capacidad instalada, lo cual equivale a un 3% de la producción eléctrica nacional. Existe un número muy alto de campos

termales en el país, los cuales están concentrados principalmente en la Península de Baja California N. y en el Cinturón Volcánico (CVM) en la parte central. A pesar de que las actividades en el área de la Geotermia en México se iniciaron desde los 50's, no fue sino hasta los 70's cuando se iniciaron los estudios sistemáticos para el aprovechamiento del recurso. Actualmente se tienen dos campos geotérmicos en explotación dedicados a la producción de energía eléctrica: el campo de Cerro Prieto en Baja California N. con una capacidad instalada de producción de 620 MW, y el de Los Azufres en Michoacán con una capacidad instalada de 80 MW y más de 50 pozos perforados. Además se cuenta con dos campos en etapa de desarrollo; el de Los Hornos en Puebla y el de La Primavera en Jalisco. En esta sección se presentan los principales trabajos realizados sobre la geoquímica de los isotopos estables en el campo de Los Azufres, Mich y los resultados que se han obtenido.

II. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL CAMPO DE LOS AZUFRES

El campo geotérmico de Los Azufres se localiza en la parte alta de la Sierra de San Andrés en el estado de Michoacán, aproximadamente a 200 Km al Norte de la ciudad de México, y forma parte del Cinturón volcánico Mexicano. Abarca una extensión aproximada de 30 Km². El campo está dividido en dos zonas. La zona Norte o Macitaro, que cuenta con pozos productores de mezcla líquido vapor, y la Zona Sur, o Tejamaniles, con pozos productores de vapor y mezcla. Las profundidades de los pozos van desde los 600 m para el mas somero hasta los 3600 m para el mas profundo. Las elevaciones de los cabezales de los pozos varían entre 2750 y 3000 msnm. Con base en estudios de geoquímica de fluidos, de alteración hidrotermal de los minerales y de ingeniería

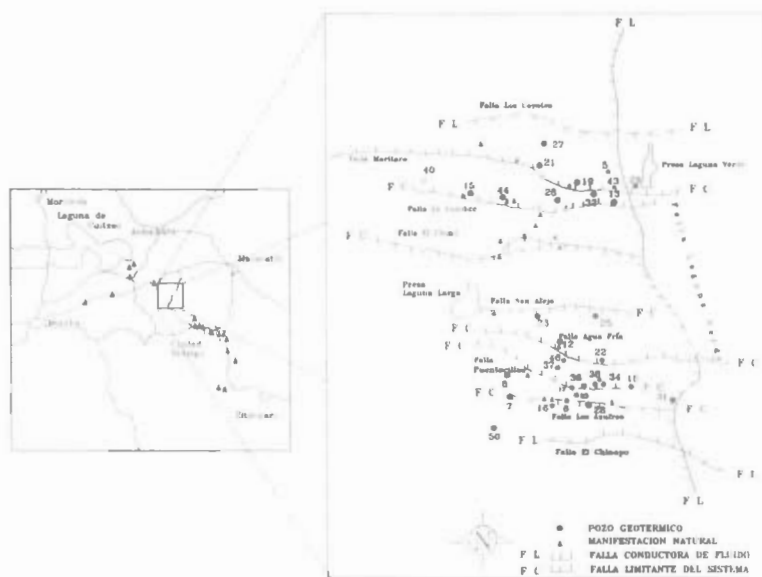


Figura 2 Mapa de localización de los manantiales en el campo geotérmico de los Azufres, regiones azuarañas

de yacimientos, Nieva et al (1987a) sugirió una estructura en forma de domo para el sistema de Los Azufres dividido en dos zonas principales: una en la zona Norte con características de un sistema de líquido dominante y otro en la zona Sur con características de un sistema de vapor dominante. Un modelo unidimensional vertical del yacimiento sugiere una distribución del fluido por capas en el siguiente orden descendente; vapor sobrecalentado, zona bifásica dominada por vapor, zona bifásica dominada por líquido y en la parte inferior líquido caliente comprimido (Iglesias et al 1985).

III. GEOQUIMICA DEL OXIGENO-18 Y DEL DEUTERIO

Desde antes del inicio de la explotación del campo de Los Azufres, comenzada en 1982, se han venido realizando análisis de la composición isotópica de O 18 y D del fluido hidrotermal de manera más o menos sistemática, cuya interpretación ha permitido tener un conocimiento más aproximado de los procesos y parámetros físico químicos que lo caracterizan. Giggenbach y Quijano (1980) realizaron un estudio isotópico y químico de las manifestaciones naturales y pozos del área de Los Azufres. En este estudio observaron una clara diferencia de composición isotópica entre el agua meteórica local y el fluido del yacimiento y concluyeron que el fluido del yacimiento estaba constituido por paleo aguas. La interpretación de los datos químicos e isotópicos obtenidos por Nieva et al (1983) en las primeras etapas de explotación mostraron una heterogeneidad considerable de la fase líquida del yacimiento, la cual no era el resultado de la mezcla del fluido hidrotermal con la precipitación pluvial local. Los análisis realizados en el período 1985-87 obtenidos e interpretados por Nieva et al

(1987) mostraron que las concentraciones de los componentes volátiles (ej. O - 18, CO₂, etc.) se incrementaban con la elevación de la zona de producción del yacimiento, mientras que los componentes no volátiles (ej. D y Cl) mostraban una tendencia inversa. Este comportamiento fue interpretado como resultado de un proceso de ascenso y condensación parcial de vapor en el yacimiento, tal y como se ha propuesto en el modelo de los sistemas de vapor dominante (White et al 1971). En este proceso el vapor generado en el yacimiento asciende hacia la superficie, la condensación de una fracción de este vapor diluye continuamente a las especies no volátiles, mientras que las especies volátiles son transportadas a los niveles superiores. Ramírez et al (1988) con base en una correlación de datos isotópicos y químicos de fluidos de manifestaciones naturales y pozos perforados, mostró una posible zona de recarga localizada al sureste del campo.

En el período 1985-88, además de realizarse análisis químicos e isotópicos de fluidos recolectados en pozos geotérmicos, se realizaron análisis de manifestaciones naturales del área. En la figura 4 se presenta la gráfica de las composiciones isotópicas de las manifestaciones naturales junto con las de la fase líquida de los pozos en el fondo del yacimiento (Nieva et al 1987). Las manifestaciones se agruparon en cinco clases:

1. Manantiales al sureste de Los Azufres: Formados por aguas meteóricas que probablemente recargan al yacimiento. Algunos manantiales han sido calentados con el vapor generado en el yacimiento.

- Manantiales fríos de Los Azufres. Son aguas meteóricas localizadas en la parte principal del campo de Los Azufres y son isotópicamente más ligeras que los manantiales localizados al suroeste de campo. Esto puede deberse a un efecto de la altitud ya que la parte principal del campo es aproximadamente 500 m más elevada que los valles que le rodean.
- Manantiales de mezcla: Formados por la mezcla de aguas meteóricas con las aguas termales del yacimiento.
- Manantiales sulfatados. Estos son aguas meteóricas locales vaporadas, las cuales son calentadas por el vapor del yacimiento.
- Manantiales de la región de Arázo. La formación de estos manantiales es complicada. Estos son manantiales de temperatura intermedia. La concentración de los componentes volátiles indican que se originan de fluido que se separa del yacimiento, pero la concentración de los no volátiles es totalmente diferente a la del fluido en el yacimiento. La otra posibilidad de formación de estos manantiales es la mezcla de agua meteórica, agua del lago de Cuitzeo y fluido del yacimiento.

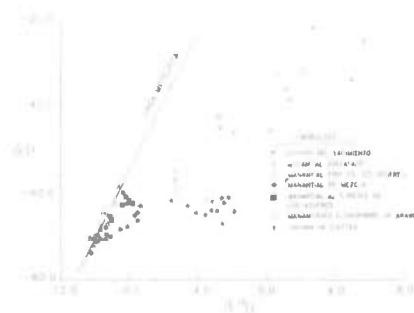


Figura 1. Gráfica que muestra la relación isotópica de los pozos geotérmicos y manifestaciones naturales de Los Azufres. Las aguas del yacimiento muestran una correlación con las del suroeste de la Sierra de los Azufres en cuanto a su contenido de deuterio y enriquecimiento de oxígeno-18 (Ramírez et al 1988).

Se aplicó un modelo de ebullición y mezcla para entender el origen de las manifestaciones. Los valores calculados de $\delta^{18}\text{O}$ y δD fueron cercanos para los manantiales de mezcla pero diferente para los otros tipos de manantiales. Las otras especies medidas y calculadas (ej. Cl) son totalmente diferentes para todos los manantiales. Esto puede deberse a los procesos de flujo ascendente de vapor y condensación que ocurren en el yacimiento y/o el ascenso de fluido mezclado que se reequilibra con las rocas. La evidencia de la ausencia de infiltración directa del agua meteórica al yacimiento se demuestra por la relación isotópica donde se observa que el agua meteórica local es más ligera en deuterio. Si existen paleoaguas en el yacimiento, las composiciones isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$ y

D), al menos de los pozos dominados por vapor, debería incrementarse con el tiempo. Los datos no han mostrado tal tendencia. Esto puede significar ya sea que el volumen del fluido extraído hasta ahora es muy pequeña comparado con el volumen del yacimiento o que existe alguna recarga en el yacimiento (Verma et al 1989).

IV. TEMPERATURA EN EL YACIMIENTO

La temperatura del yacimiento ha sido estimada en primer término utilizando diferentes geotermómetros químicos pero también se ha aplicado la geotermometría isotópica del O-18 con el geotermómetro sulfato agua (ver tabla 1) en la fase líquida del yacimiento. En la tabla 2 se muestran algunos de los resultados obtenidos.

Pozo	T_{med}	T_{CCG}	T_{NaKCa}	T_{SO_4}	$T_{O_{18}}$
P 5	270	311	318	308	292
P 9	—	—	—	—	296
P 13	265	292	297	280	292
P 16	260	261	318	266	272
P 18	250	284	318	266	272
P 46	—	—	—	—	292

T_{med} : Temperatura medida

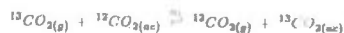
T_{CCG} : Geotermómetro de concentración catiónica

Tabla 2. Temperaturas medidas y estimadas en algunos pozos geotérmicos de Los Azufres.

VI. GEOQUÍMICA DEL CARBONO

Recientemente se llevó a cabo un estudio de la geoquímica del carbono 13 en el campo geotérmico de Los Azufres (Tabaco 1990) con dos objetivos. El primero, apoyar el modelo de ascenso y condensación parcial del vapor en el yacimiento propuesto por Nieva et al (1985). El segundo, estimar el origen geoquímico del dióxido de carbono, uno de los componentes más abundante y activo fisicoquímicamente. Para ello se analizó la composición isotópica del CO_2 presente en la fase vapor del fluido hidrotermal de 13 pozos geotérmicos perforados a diferentes elevaciones de las zonas de producción del yacimiento.

Estudios previos multidisciplinarios realizados en el campo (Nieva et al, 1987) han establecido la existencia del fluido hidrotermal en dos fases en el yacimiento. Esto llevó a hacer la consideración de que el carbono se fraccionaba isotópicamente entre el $\text{CO}_2(g)$ presente en la fase vapor y las especies $\text{CO}_2(ar)$, HCO_3^- y CO_3^{2-} de la fase líquida de acuerdo a las siguientes reacciones de intercambio isotópico (Thode et al 1965).



Sin embargo, dadas las condiciones de temperatura (aprox. 280°C) y pH (de 5 a 7.5), las actividades de las especies HCO_3^- y CO_3^{2-} son despreciables. Por tanto, se consideró que el fraccionamiento isotópico del carbono se realiza principalmente entre las especies $\text{CO}_2(\text{g})$ y $\text{CO}_2(\text{ac})$.

Los resultados de composición isotópica obtenidos se ubicaron en un rango $\delta^{13}\text{C}$ de -7 a -11.1 ‰, los cuales se graficaron contra las diferentes elevaciones de las zonas de explotación del yacimiento (figura 5). Al hacer esto se observó que la composición isotópica $\delta^{13}\text{C}$, se incrementaba conforme aumentaba la elevación de la zona de explotación del yacimiento. Este comportamiento se asoció con el fraccionamiento del carbono entre las moléculas de $\text{CO}_2(\text{g})$ y el $\text{CO}_2(\text{ac})$, originado por un proceso de ebullición y condensación del fluido hidrotermal en el yacimiento de acuerdo al siguiente mecanismo: El vapor que se genera en las partes más profundas del yacimiento asciende hasta las zonas superiores del mismo arrastrando con él al CO_2 . Al llegar a las zonas superiores una parte del vapor escapa a la superficie y otra parte se condensa y desciende nuevamente originando con ello un flujo en contracorriente. Durante este reflujo las moléculas de $^{13}\text{CO}_2$ se fraccionan preferentemente hacia la fase vapor, la cual se va enriqueciendo cada vez más del isótopo pesado ^{13}C a medida que asciende hacia la superficie. Este proceso de ebullición y condensación del fluido hidrotermal ya ha sido evidenciado anteriormente a través de otros estudios geoquímicos, los cuales encuentran un apoyo en los resultados de este estudio sobre el carbono.

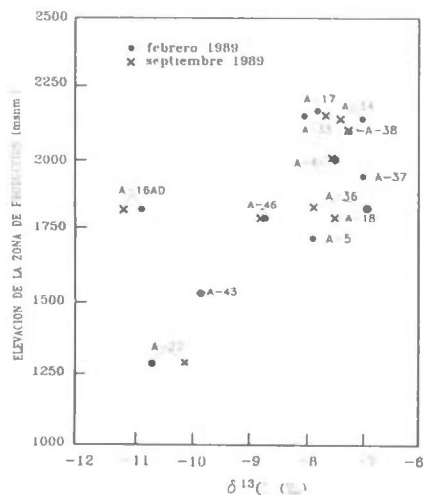


Figura 5 Gráfica de la composición isotópica del carbono-13 contra la elevación de la zona de producción del yacimiento de Los Azufres. Aquí se observa la tendencia del incremento de $\delta^{13}\text{C}$ con la elevación del yacimiento (Tabaco et al 1990)

Los valores extremos de los resultados isotópicos obtenidos ($\delta^{13}\text{C} = -11.1$ a -7 ‰) sugieren que el CO_2 presente en el fluido hidrotermal está siendo aportado principalmente por un cuerpo magmático ($\delta^{13}\text{C} = -8$ a -5 ‰), al cual se asume que está vinculado el yacimiento. La determinación de la presencia de los iones calcio y magnesio en el fluido hidrotermal sugieren un aporte de CO_2 de rocas carbonatadas como la calcita y la dolomita a través de reacciones de decarboxilación y disolución.

CONCLUSIONES

La aplicación de la Geoquímica de isótopos estables de los elementos ligeros constituye una valiosa herramienta en las tareas de prospección y explotación de los recursos geotérmicos, tan abundantes en México. Los estudios que se han realizado sobre la geoquímica de los isótopos de oxígeno-18, deuterio y carbono-13 en el campo de Los Azufres, Mich. han proporcionado una base de conocimientos para establecer un modelo hidrotermal del yacimiento, ayudando así a evaluar su capacidad energética y su mejor explotación.

BIBLIOGRAFIA

- Craig H. 1963. The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas, in: Proc. Conf. Nucl. Geol. on Geothermal Areas, Spoleto 1963, ed. E. Toniggi (V. Lischi e Figli, Pisa, 1963) 17.
- Iglesias E., Arellano V., Garfias A., Miranda C. y Aragon A. 1985. A one dimensional vertical model of The Los Azufres, Mexico, Geothermal reservoir in its natural state. Geothermal Resources Council Transactions, 9(II), 331-336.
- Giggenbach W. F. y Quijano J. L. 1981. Estudio isotópico de las aguas del campo geotérmico de Los Azufres, inédito.
- Giggenbach W. F. and Stewart K. M. 1982. Processes controlling the isotopic composition of steam and water discharges from steam vents and steam-heated pools in geothermal areas. Geothermics 11, 2, 71-80.
- item Giggenbach W. F. Gonfiantini R. and Panichi C. 1983. Geothermal Systems, in: Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, Technical Report Series no. 91. International Atomic Energy Agency.
- Nieva D., Quijano J. L., Garfias A., Barragán R. M. y Laredo F. 1983. Heterogeneity of the liquid phase, and vapor separation in Los Azufres (Mexico) geothermal reservoir. Proc Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, pp 263-267.
- Nieva D., Verma M. P., Santoyo E., Barragán R. M., Portugal E., Ortíz J. y Quijano J. L. 1987. Estructura hidrologica del yacimiento de Los Azufres. Memorias del Simposio Internacional Sobre el Desarrollo y la Explotación de Recursos Geotérmicos, Cuernavaca, Mor., Mex. pp 202-213.
- Nieva D., Barragán R. M., Cathelineau M., González E., Izquierdo G., Oliver R., Portugal E., Santoyo E., y Verma M. P. 1987a. Estudio de la estructura hidrologica

y distribución de parámetros físico-químicos del yacimiento de Los Azufres, Mich. Informe final IIE/11/2011/104/F

- Ramírez F., Verma M. P., Nieva D., Quijano J. L. y Moreno J. Ebullición y mezcla en procesos de formación de fuentes termales de Los Azufres, Mich. *Geotermia* 4, pp 57-77
- Tabaco F. 1990. Estudio isotópico del carbono 13 en fluidos hidrotermales del campo geotérmico de Los Azufres, Mich. Tesis profesional UAI IIE.
- Taylor H. P. Jr. 1977. Water-rock interactions and the origin of H_2O in granitic batholiths. *J. Geol. Soc. London* 133, pp 539-558.
- Thode H. G., Shimo M., Rees C. F. and Krishnamurty K. V. 1965. Carbon 13 isotope effects in systems containing carbon dioxide, bicarbonate, carbonate, and metal ions. *Canadian Journal of Chemistry* 43, pp 582-595.
- Urey H. C. 1947. The thermodynamic properties of isotopic substances. *J. Chem. Soc.* 562.
- Verma P. M., Nieva D., Santoyo F., Barragán R. M. y Portugal E. A hydrothermal model of Los Azufres geothermal system Mexico. *Proc. 6th International Symposium Water-Rock Interaction*, Malvern, U.K. pp 123-126.
- White D. E., Muffler L. J. P. and Friesdell A. H. 1971. Vapor dominated hydrothermal systems compared with hot water systems. *J. Geol.* 80, pp 175-177.

CEMENTOS GEOTERMICOS TIXOTROPICOS PARA SELLAR ZONAS DE PERDIDA
DE CIRCULACION.

Arturo Baca Arenas., Sócrates Santoyo Gutiérrez.

Instituto de Investigaciones Eléctricas
Departamento de Geotermia
Apartado Postal 475, C.P. 62000 Cuernavaca Morelos

RESUMEN

El yeso presenta propiedades tixotrópicas adecuadas para reducir el tiempo de espesamiento en las operaciones de cementación, realizando una rápida obturación de la zona de pérdidas de circulación del fluido de perforación y lechadas cementantes durante la perforación de pozos geotérmicos en el eje Neovolcánico del País. El control del fraguado del cemento depende del grado de deshidratación del yeso. Se desea encontrar un diseño de lechada que favorezca la formación de una estructura gelosa inmediatamente después de cesar la agitación, es decir, que favorezca la propiedad de gelación (falso fraguado del yeso) para obtener ésta zona.

INTRODUCCION

El presente estudio se llevó a cabo como parte del programa coordinado entre el Instituto de Investigaciones Eléctricas y Comisión Federal de Electricidad con el objeto de obtener un cemento geotérmico con propiedades tixotrópicas capaz de endurecerse rápidamente para poder sellar zonas de pérdidas de circulación en el campo geotérmico de la Primavera, Jalisco.

Durante las operaciones de perforación de pozos geotérmicos en los campos geotérmicos del país, se emplean fluidos de perforación que contaminan los cementos para pozos. Además se utilizan aditivos retardadores de cementos geotérmicos que normalmente son retardadores orgánicos como caseína y otras proteínas, dextrina, ácidos hidroxil-orgánicos y sus sales, sales de ácidos lignosulfónicos y cromolignosulfonatos (Supercaltex), ácido bórico y sus sales, oxialdehidos, oxicetonas, fosfatos de álcalis. Se presenta una investigación sobre los efectos de un número de aditivos químicos sobre la hidratación de los silicatos del cemento geotérmico.

Durante la operación de cementación de pozos geotérmicos en el campo de la Primavera Jal., se presentan problemas de pérdidas totales de circulación y es necesario realizar diseños de lechadas específicas que proporcionen tiempos de espesamiento cortos para realizar una rápida obturación de la zona de pérdida. El yeso presentó propiedades tixotrópicas

bastante adecuadas para cementar estas zonas cavernosas.

También se observó que el exceso de Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) adicionado al cemento modifica las propiedades de este último, generando lechadas tixotrópicas debido a que se propicia la formación del gel de $\text{Al}(\text{OH})_3$ como producto de hidrólisis del Aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), este gel de $\text{Al}(\text{OH})_3$ rodea a los Silicatos Cálcicos ($\text{C}_3\text{S}, \text{C}_2\text{S}$) dificultando su hidratación y ocasionando por lo tanto la reducción de la resistencia.

El cemento API tipo G consiste de cuatro componentes principales a saber: Silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) , Silicato dicálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) , Aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) y Ferrito aluminato tetracálcico ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). (1)

El control de fraguado del cemento depende del grado de deshidratación del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) [2]. Para que la hidratación del cemento se realice en las condiciones óptimas que aseguren mayor resistencia a la compresión y menores cambios volumétricos (expansión lineal acelerada), a cada cemento se le debe agregar yeso en cierta cantidad, determinada por la composición química del propio cemento y del grado de finura alcanzado en su molienda (Superficie específica, kg/cm^2).

La cantidad óptima de yeso que se debe adicionar se determina conociendo el grado de deshidratación del yeso en el

cemento [3]. Las reacciones de dicha deshidratación del yeso, son causadas por las temperaturas (120 °C) de fricción durante la molienda en los molinos de bolas donde se mezcla el clinker y el yeso para la obtención del cemento.

El contenido del yeso en un cemento se define en función del porcentaje de SO_3 Anhídrido Sulfúrico, aunque no todo el SO_3 existente en el cemento se encuentra en forma de yeso. Una pequeña porción esta combinada con el K2O formando K_2SO_4 . El contenido de alcalis totales se expresa como Oxido de sodio. (1)

Mediante el método de extracción acuosa para determinar el contenido de SO_3 se puede verificar si la adición de yeso a un cemento es la proporción correcta, en exceso o en deficiencia.

Se considera un buen punto inicial de partida, como proporción óptima para la adición del yeso al clinker, aquella que a las 18 horas después de mezclado el cemento con el agua, deje un pequeño residuo de sulfato cálcico sin consumir ($CaSO_4$) el cual en un tiempo de 24 horas, deberá haberse consumido totalmente (método de extracción acuosa de SO_3).

Debe recordarse que se desea encontrar un diseño de lechada específico que proporcione propiedades tixotrópicas, es decir que favorezca la formación de una estructura gelosa inmediatamente después de cesar la agitación, subyugando parcialmente la propiedad de resistencia a la compresión.

En el IIE se realizaron pruebas con adición en exceso de yeso al cemento (no al clinker) en una cantidad mayor de lo requerido para llevar a cabo la hidratación durante las primeras 24 horas aunque esto ocasiona en las lechadas una retrocesión de resistencia. Sin embargo el exceso de yeso adicionado al cemento (IIE) modifica las propiedades de éste último generando una lechada tixotrópica debido a que se propicia la formación del gel de $Al(OH)_3$ como producto de hidrólisis del Aluminato tricálcico [$3CaO \cdot Al_2O_3$]. dicho gel bajo condiciones normales de empleo en el cemento se consideraría inactivo, sin embargo para los fines que buscamos (lechadas de rápido endurecimiento) ha resultado adecuado por la siguiente:

- Este gel de $Al(OH)_3$ rodea a los silicatos cálcicos C_3S , C_2S dificultando su hidratación y ocasionando por lo tanto la reducción de la resistencia.

- Su hidratación y contracción al humedecerse y secarse son excesivas y producen en el cemento mayores cambios volumétricos ocasionando con esto la

propiedad de tixotropía en los cementos geotérmicos.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se propuso encontrar una lechada con las siguientes características:

- Tiempo de espesamiento máximo de 40 minutos.
- Consistencia inicial menor de 30 Bc con un tiempo de agitación de 0-30 minutos.
- Densidad promedio de 1.65 a 1.75 gr/cm³.
- Temperatura de prueba de 40 °C.

Debido a que los tiempos de espesamiento deben ser menores del que presentan normalmente los cementos se programaron varias series de pruebas con cemento básico y agregando un generador de tixotropía, un homogenizador para la temperatura y un retardador de fraguado. También se varió la proporción de agua destilada utilizada para encontrar una lechada de cemento que presente consistencia menor de 30 Unidades Bearden de consistencia (Bc) durante 30 minutos de agitación y frague antes de 60 minutos bajo condiciones estáticas.

Las pruebas se realizaron bajo las siguientes condiciones de operación:

- 1- Tiempo de Espesamiento: Las lechadas de cemento se prepararon con agua destilada y se evaluaron a una temperatura de 40 °C y presión atmosférica, registrando la consistencia de la lechada cada 5 minutos.

Las formulaciones evaluadas se presentan en la tabla A y los resultados obtenidos en las figuras de la número 1 a la 8.

- 2- Resistencia a la compresión: también se realizó esta prueba, sin embargo esta propiedad quedó en segundo término ya que se dio mayor importancia (prioridad) a encontrar un rápida gelación.

Las lechadas preparadas con agua destilada se introdujeron a la autoclave para su curado (aunque durante un tiempo de 24 horas a una temperatura de 40 °C y presión atmosférica. Posteriormente se extrajeron de la autoclave y se les determinó su esfuerzo máximo de resistencia a la compresión que desarrollaron bajo las condiciones y las que fueron sometidas.

Las formulaciones evaluadas se presentan en la Tabla A.

3. Fraguado inicial: Se determinó el tiempo en que las lechadas de cemento

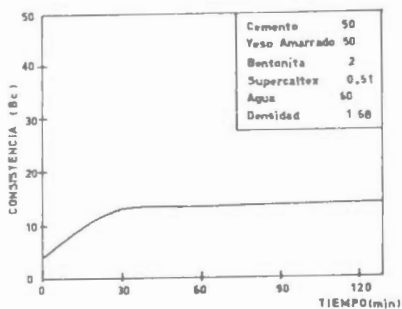


Fig. 1 Comportamiento del tiempo de fraguado inicial empleando cemento básico, generador de tixotropía, homogenizador y retardador de fraguado, R a/s = 60.

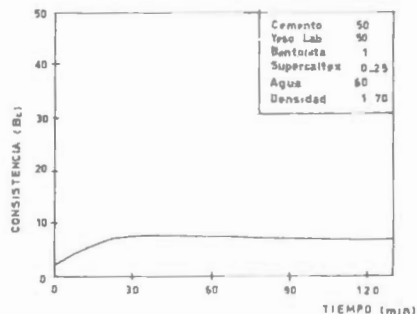


Fig. 4 Comportamiento del fraguado inicial de la lechada (Cemento-Yeso) con 0.25 ppcpcp de retardador de fraguado.

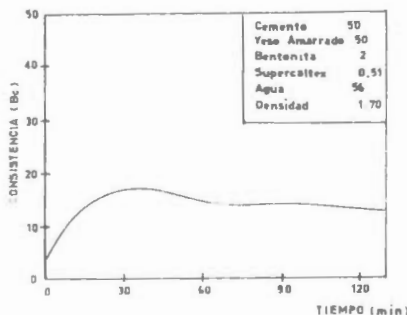


FIG. 2 Comportamiento comparativo a la fig. 1 (Cemento-Yeso Amarrado) disminuyendo la concentración de agua, R/a/s = 6.

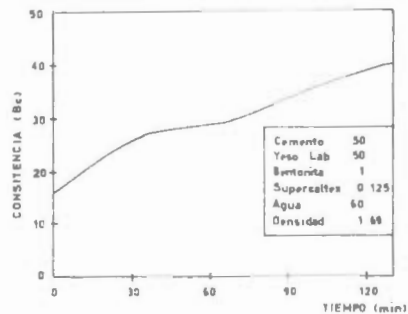


Fig. 5 Comportamiento comparativo a la fig. 4 disminuyendo la concentración de retardador de fraguado.

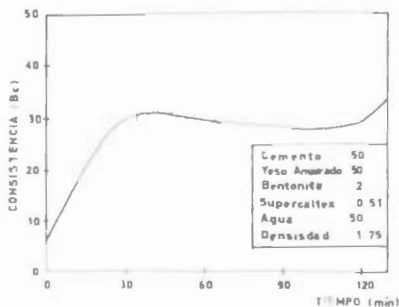


Fig. 3 Tiempo de fraguado inicial (composición similar 1 y 2) con la menor concentración agua/sólidos, R/a/s = 30.

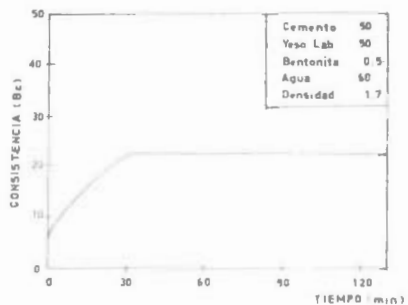


Fig. 6 Comportamiento del fraguado inicial de la lechada sin retardador de fraguado y baja concentración de homogenizador de temperatura.

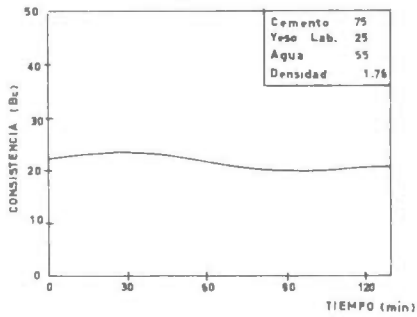


Fig. 7 Incremento de la concentración del Cemento al Yeso (3:1) sin adición de otros aditivos químicos.

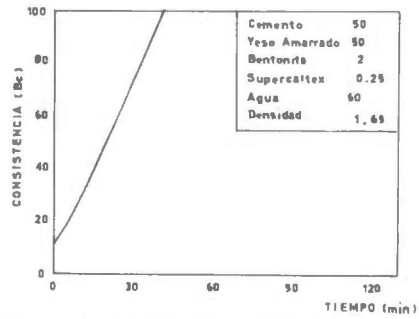
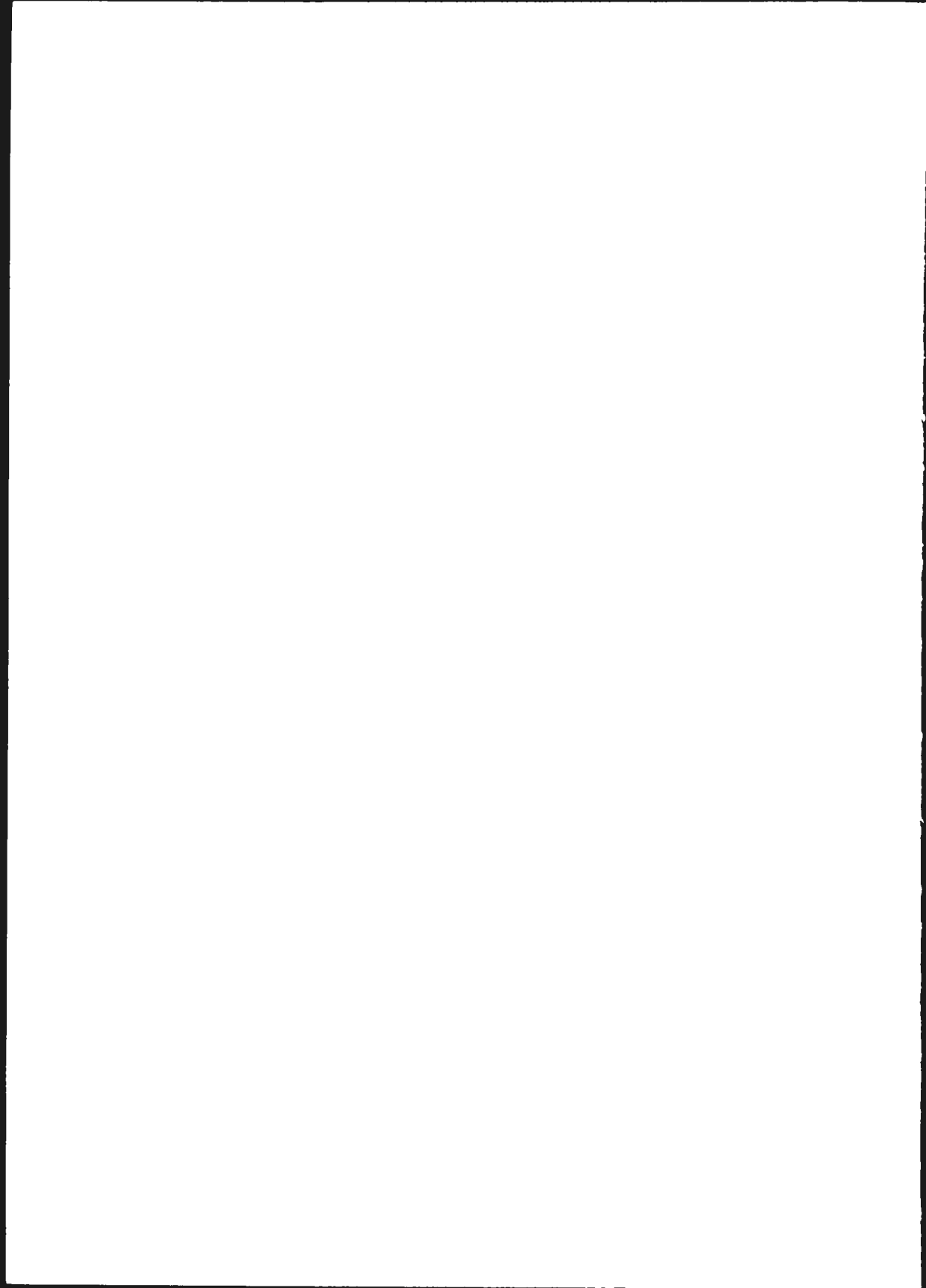


Fig. 8 Composición recomendada para obturar zonas de pérdida de circulación en el campo geotérmico de La Primavera, Jal.



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA-ECONOMICA DE UNA BOMBA DE CALOR
POR COMPRESION UTILIZANDO FLUIDOS GEOTERMICOS EN LOS AZUFRES, MICH.

J. Siqueiros, J. L. Frias, D. Barraquán y H. Fernández.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS
División Fuentes de Energía, Departamento de Geotermia.
Interior Internado Palmira, Cuernavaca, Mx.

RESUMEN: En este trabajo se presentan resultados de la evaluación termodinámica de una bomba de calor por compresión en un sistema de destilación de agua, utilizando como fuente de calor vapor geotérmico del campo de Los Azufres Mich. Se realizó la evaluación para todo el rango de utilización de diseño de la bomba de calor (temperaturas de entrada y de salida y COP), así como su evaluación económica y se presenta un diagnóstico preliminar para evaluar la utilización en otras aplicaciones y utilizando otras fuentes energéticas de baja entalpia o de desechos industriales.

INTRODUCCION

Se ha realizado experimentación con una bomba de calor por compresión utilizando como fuente energética, fluidos geotérmicos provenientes del Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich., en el rango de baja entalpia (temperatura menor de 160 °C).

En México existe un gran potencial para este tipo de recursos ya que aproximadamente el 80% de los yacimientos geotérmicos son considerados como de mediana y baja entalpia, además de estar localizados en la mayor parte del país.

Mediante la utilización de sistemas de bombas de calor, es posible la utilización de estos recursos energéticos para diversos procesos de utilización directa de la energía geotérmica entre los cuales se puede mencionar: secado, destilación de agua, acondicionamiento térmico de espacios, conservación de productos agropecuarios, etc.

Por otra parte, otro factor importante en estos procesos consiste en su evaluación económica, factor que determinará la decisión de invertir en estas tecnologías, a través de análisis de tasa de retorno, periodo de recuperación de la inversión y otros parámetros de evaluación económica.

BOMBA DE CALOR

Las bombas de calor son máquinas térmicas inversas que tienen como principal

característica que proveen una diferencia de temperatura. El tipo más común de bomba de calor es el de compresión mecánica de vapor como se ilustra en la figura 1; consiste básicamente de un condensador, un evaporador, un compresor, una válvula de expansión y un fluido de trabajo. El fluido de trabajo se evapora en el evaporador debido al suministro de calor de alguna fuente de calor de desecho, luego pasa por un compresor donde se incrementa su presión y su temperatura, continúa hacia el condensador donde al ser condensado cede calor a un receptor de calor, finalmente pasa por una válvula de expansión para continuar nuevamente con el ciclo.

El coeficiente de rendimiento (Coefficient of Performance, COP) indica cuantas veces la energía de alto grado (usualmente eléctrica) es multiplicada para ser obtenida a la salida del condensador. El COP se representa por la ecuación (1).

$$(\text{COP}) = \frac{Q_{\text{cd}}}{W} \quad (1)$$

La ecuación (1) puede también inscribirse como:

$$(\text{COP}) = \frac{Q_{\text{cd}}}{(Q_{\text{cd}} - Q_{\text{ev}})} \quad (2)$$

Cuando el trabajo mecánico, W se sustituye por la potencia eléctrica consumida por el compresor de la bomba de calor en la ecuación 1, entonces se

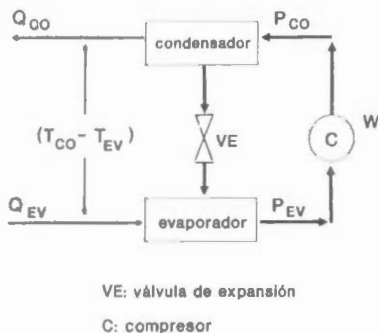


Fig. 1 Bomba de calor por compresión mecánica.

obtiene el COP real, $(COP)_R$ [1].

El coeficiente de rendimiento de Carnot depende únicamente de las temperaturas del sistema y es independiente del fluido de trabajo utilizado, se define como:

$$(COP)_C = \frac{T_{CO}}{(T_{CO} - T_{EV})} \quad (3)$$

Una medida más apropiada para medir el rendimiento de una bomba de calor se efectúa a partir del coeficiente de rendimiento Rankine expresado:

$$(COP)_R = \frac{(H_1 - H_2)}{(H_1 - H_4)} \quad (4)$$

donde H es la entalpia por unidad de masa del fluido de trabajo (ver figura 3).

DESCRIPCION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL

La figura 4 presenta un esquema general de la instalación experimental. La bomba de calor es una unidad tipo paquete marca Westinghouse, modelo TPB20, del tipo agua-agua. Utiliza freón 114 como fluido de trabajo (R114). Este modelo consta de dos circuitos de freón. La temperatura máxima de salida es de 104°C. La capacidad máxima es de 56 kW a 71°C de salida.

El evaporador y el condensador son intercambiadores de calor del tipo de coraza y tubos; el compresor es hermético; la válvula de expansión tiene un controlador térmico para regular el flujo de freón; también cuenta con varios

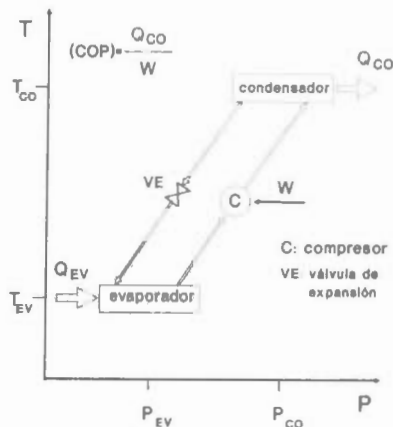


Fig. 2 Niveles de presión y temperatura para una bomba de calor por compresión.

accesorios como válvulas check, mirillas, válvulas de seguridad y termostatos.

La instrumentación consiste básicamente de termopares (tipo T), manovacómetros, rotámetros para medir el flujo de agua, un sistema de termometría y multímetros.

Dos intercambiadores de calor auxiliares fueron instalados para efectuar un buen control del calor suministrado y obtenido de la bomba de calor [2]. Un tablero de control fue instalado para facilitar la operación y control del equipo experimental.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Antes de iniciar la operación de la bomba de calor, aproximadamente 12 horas, se encienden los energizadores acoplados al compresor. Las bombas de circulación de agua se arrancan y se empieza a suministrar vapor geotérmico al intercambiador auxiliar con objeto de suministrar calor al evaporador; luego de alcanzar la temperatura mínima requerida, el compresor empieza a funcionar. Para cada prueba se preseleccionan las condiciones de temperaturas y flujos y una vez alcanzados se registran todos los datos.

Cuando se opera el sistema de purificación de salmuera geotérmica se desconecta el intercambiador de calor auxiliar del evaporador de la bomba de calor y se conecta al condensador del

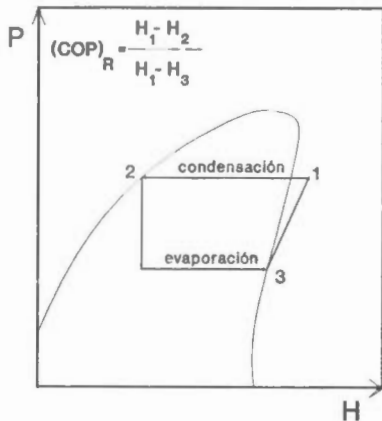


Fig. 3 Coeficiente de rendimiento ideal Rankine para una bomba de calor por compresión.

sistema de purificación. El intercambiador de calor auxiliar del condensador de la bomba de calor no se desconecta debido a que debe funcionar como un rechazador de calor en exceso del condensador de la bomba de calor, con objeto de estabilizar el sistema que opera actualmente por lotes (batch).

DISCUSION DE RESULTADOS

Antes de operar el sistema de purificación de salmuera geotérmica se operó la bomba de calor con los intercambiadores de calor auxiliares. Se realizaron 16 pruebas experimentales. El régimen permanente se alcanza entre los 40 y 60 minutos, las temperaturas de salida de la bomba de calor fueron de 70 a 94°C.

Los coeficientes de rendimiento Carnot, Rankine y real se muestran en la fig. 5 en función de la diferencia neta de temperatura ($T_{CD} - T_{EV}$). Los valores del $(COP)_C$ siempre son mayores que los del $(COP)_A$ y los del $(COP)_R$. Se observa un comportamiento típico de los valores obtenidos [3]. Los valores del $(COP)_A$ están comprendidos entre 2 y 4.5.

La relación entre la potencia eléctrica consumida por el compresor y el trabajo mecánico efectuado por el compresor (W_e/W_{MEC}) se presentan en la fig 6 en función de la relación de compresión. Se observa que a una relación de compresión de 3.3 se obtiene la menor relación de

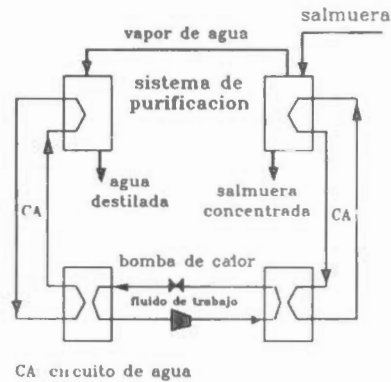


Fig. 4 Diagrama esquemático del sistema de purificación de salmuera geotérmica.

trabajo eléctrico/trabajo mecánico (W_e/W_{MEC}), es decir la mayor eficiencia global del compresor se encuentra a una relación de compresión de 3.3 [4]. Algunos valores de (W_e/W_{MEC}) sobrepasan el valor de 2 lo cual representa una eficiencia global del compresor inferior a 50%. Este resultado indica que el compresor no opera eficientemente en todo el rango de utilización de la bomba de calor. Se deberá tener cuidado con la selección del compresor para condiciones de operación que fluctúen en un amplio rango [5].

Holland [1] presenta una ecuación simplificada para evaluar la eficiencia isentrópica de compresión en función de la relación de compresión (ecuación 5). Además de esta eficiencia, deberá considerarse la eficiencia mecánica del compresor y la eficiencia del motor eléctrico para obtener una alta eficiencia global del compresor.

$$\eta_i \approx 1 - 0.05 (RC) \quad (5)$$

Después de esta serie de pruebas, la bomba de calor se conectó al sistema de purificación de salmuera (ver fig 4). El sistema de purificación se operó primero con agua limpia y después con salmuera geotérmica con objeto de probar el funcionamiento del sistema. Las temperaturas de ebullición de la salmuera geotérmica fueron de 80°C a 90°C. Con una bomba de vacío se controlaba la presión absoluta en el evaporador del sistema de purificación con objeto de controlar la

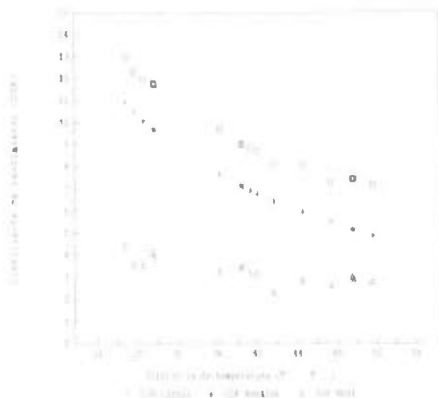


Fig. 5 Coeficiente de rendimiento Carnot, Rankine y Real en función de la diferencia gruesa de temperatura ($T_{CO} - T_{EV}$).

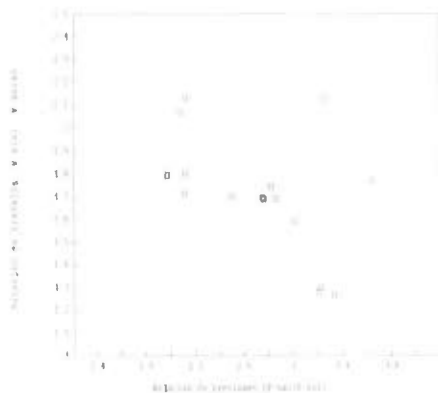


Fig. 6 Relación del trabajo eléctrico y mecánico del compresor en función de la relación de presiones de salida y entrada al compresor.

temperatura de ebullición de la salmuera. El hecho de efectuar vacío implica efectuar un trabajo extra sobre el sistema el cual se compensa con un mayor rendimiento de la bomba de calor al disminuir la diferencia neta de temperaturas (ver fig. 5).

La figura 7 muestra el $(COP)_A$ en función del flujo de agua destilada en el sistema de purificación. Se observa que a mayores valores del $(COP)_A$, se encuentran los mayores valores del flujo de agua destilada.

EVALUACION ECONOMICA.

Con objeto de realizar una evaluación económica preliminar de la aplicación de las bombas de calor para aprovechamiento de fuentes energéticas de baja entalpía, se realizó una investigación de costos con base en el equipo utilizado con el fin de hacer una escalación a nivel industrial.

Se establecieron tres escenarios distintos, considerando la capacidad de la bomba de calor en cada caso. Se seleccionaron tres modelos de bomba de calor [6] de la siguiente manera: Una bomba de calor modelo 040 D de 22.1 kW_t de capacidad inferior a la bomba utilizada en estas pruebas, una bomba de calor modelo 080 D de 46.9 kW_t, comparable de tamaño a la bomba utilizada, y finalmente una bomba de calor modelo 170 D de 95 kW_t, de capacidad mayor que la bomba experimental.

Por otra parte se realizó también investigación de precios en el mercado de agua destilada encontrándose diversos precios fluctuando entre \$ 150 y \$ 600 por litro. Se consideraron 4 precios base para la evaluación económica dentro de este rango: \$ 150, \$ 300, \$ 450 y \$ 600 por litro.

La figura 8 muestra el valor presente de la inversión para distintos valores de la tasa de interés, para el modelo 040 D. En todos los casos resulta incoesteable la inversión dado que el valor presente es menor que cero para todos los valores positivos de la tasa de interés.

En la figura 9 se presentan los mismos valores presentes pero para el modelo 080 D. Se puede observar que para los precios \$ 450 y \$ 600 existen tasas de retorno de 30% y 90% aproximadamente, siendo esta última aceptable a nivel industrial.

En la figura 10, para el modelo 170 D, se observan valores de tasa de retorno para los precios \$ 300, \$ 450 y \$ 600 de 30%, 105% y 170% aproximadamente, siendo las dos últimas aceptables a nivel industrial.

Se pueden considerar atractivos y alentadores los resultados iniciales, ya que se espera encontrar mejores resultados mediante una optimización del equipo experimental, actualmente en desarrollo, lo cual hara atractiva la inversión en este tipo de sistemas de aprovechamiento de calor de desecho de baja calidad, no solamente en esta aplicación sino en múltiples aplicaciones

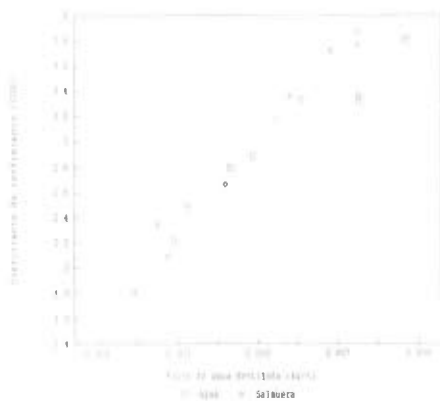


Fig. 7 Coeficiente de rendimiento real en función del flujo de agua destilada del sistema de purificación de salmuera utilizando agua limpia y salmuera geotérmica en el sistema.

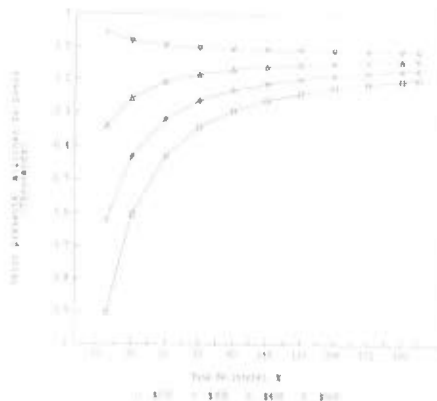


Fig. 8 Valor presente para diferentes precios del litro de agua destilada en función de la tasa de interés para la bomba de calor, modelo 040.

con diversos tipos de fuentes de calor [3,7].

CONCLUSIONES:

Se operó con éxito un sistema de purificación de salmuera geotérmica utilizando una bomba de calor por compresión. La bomba de calor opera satisfactoriamente aunque se requiere realizar experimentación empleando otro tipo de compresores con objeto de optimizar el funcionamiento de la bomba de calor.

Se utilizó vapor geotérmico de baja entalpia como fuente de calor para las pruebas de la bomba de calor así como para el arranque del sistema. No se observaron dificultades mayores con el vapor.

Se realizó una evaluación económica preliminar del sistema, encontrándose en algunos casos tasas de retorno del orden de 175%, que representan periodos de recuperación de la inversión de entre 6 o 7 meses, en el caso mas optimista. Se considera que con la optimización del sistema se obtengan resultados más favorables que hagan atractiva la utilización de las bombas de calor a nivel industrial.

REFERENCIAS

1. F. A. Holland, F. A. Watson and S. Devotta, Thermodynamic design data

for heat pump systems, Pergamon Press, Oxford, 1982.

2. J. L. Frias, An experimental study of a heat pump assisted purification system for geothermal brine, M. Sc Thesis, University of Salford, 1991.
3. D. A. Reay and D. B. A. Macmichael, Heat pumps design and application, Pergamon Press, Oxford, 1979.
4. T. Baumeister, E. A. Avallone and T. Baumeister III, Mark's Standard Hand Book for Mechanical Engineers, Ch 14, pp. 31-36, 1978.
5. J. L. Frias, J. Siqueiros, H. Fernández, A. Garcia y F. A. Holland, Developments in geothermal energy in Mexico-Part Thirty six: The commissioning of a heat pump assisted brine purification system, sometido, J. Heat Rec. Sys. & CPE.
6. McQuay Air Conditioning, catalog 1200-3, Tempilifier Heat Pump.
7. J. Siqueiros et al, Utilización de las bombas de calor para ahorrar energía en procesos industriales, VII Seminario Nacional sobre el uso racional de la energía, Museo Tecnológico de la CFE, 9-13 XI 1987.

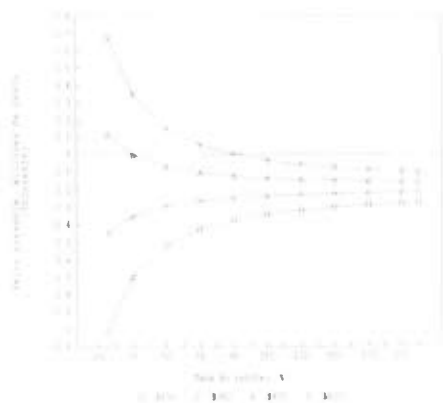


Fig. 9 Valor presente para diferentes precios del litro de agua destilada en función de la tasa de interés para la bomba de calor, modelo 080.

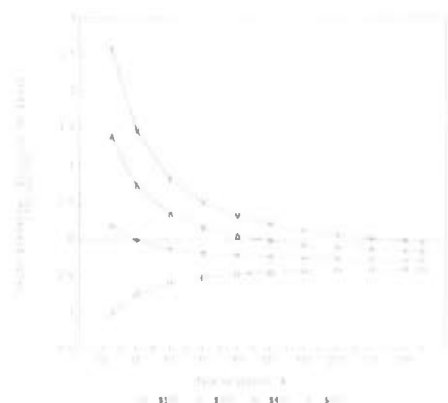


Fig. 10 Valor presente para diferentes precios del litro de agua destilada en función de la tasa de interés para la bomba de calor, modelo 170.

NOMENCLATURA

(COP)	coeficiente de rendimiento [adimensional]
H	entalpia por unidad de masa [kJ kg ⁻¹]
P	presión [bar]
Q	flujo de calor [kW]
RC	relación de compresión (P _{sal} /P _{ent})
T	temperatura [°C or K]
W	trabajo mecánico suministrado al compresor [kW]
η	eficiencia del compresor [adimensional]

Subíndices

A	real
C	Carnot
CO	condensación
e	eléctrico
ent	entrada
EV	evaporación
I	isentrópico
MEC	mecánico
R	Rankine
sal	salida

MODELO GENERAL DE PRODUCTIVIDAD DE POZOS GEOTERMICOS

Eduardo R. Iglesias y Sara L. Moya

Instituto de Investigaciones Eléctricas
Departamento de Geotermia
Apartado Postal 475,
Cuernavaca 96000, Mor., México

Durante las últimas dos décadas, la industria petrolera ha venido utilizando exitosamente curvas simples adimensionales, para predecir las productividades de los pozos. En marcado contraste con la práctica petrolera antedicha, la industria geotérmica ha carecido de un método simple y confiable para estimar la productividad térmica de los pozos. Para cerrar dicha brecha en el arsenal estandar utilizado en la caracterización de yacimientos geotérmicos, hemos desarrollado un modelo general adimensional de productividad de pozos geotérmicos. El modelo se expresa mediante "curvas de referencia" adimensionales que pueden considerarse como una solución general aproximada de las ecuaciones que describen el caso, de gran importancia práctica, de flujo bifásico radial. Basándonos en esta solución aproximada, delineamos un método muy simple y directo para estimar la contribución del yacimiento a las productividades térmica y másica de los pozos, para yacimientos bifásicos. Este método es mucho más barato que, y en la mayoría de los casos tan confiable como, el modelo numérico del yacimiento, que es la alternativa para yacimientos bifásicos.

INTRODUCCION

Durante las últimas dos décadas, la industria petrolera ha venido utilizando exitosamente curvas adimensionales para predecir la productividad de pozos. Dichas curvas relacionan el gasto volumétrico de petróleo q_0 con la presión p en la interfase pozo-yacimiento. Para flujo líquido la relación entre estas variables es una línea recta y se puede definir un índice de productividad único $J = q_0 / (p - P_0)$, donde P_0 es la presión media del yacimiento. Para flujo bifásico la relación entre q_0 y p no es lineal (Muskat, 1942). Estas relaciones no lineales fueron denominadas por Gilbert (1954) como curvas IPR's (Inflow Performance Relationships). Gilbert fue el primero en proponer métodos de análisis de pozos mediante el empleo de las curvas IPR's. Vogel (1968) sintetizó numéricamente las IPR's para yacimientos aceite-gas bajo un amplio rango de propiedades del fluido y de la formación así como de condiciones iniciales y de masa producida acumulada. En este trabajo Vogel demostró que, normalizando q_0 con el gasto volumétrico máximo $q_{0(max)}$ y p con P_0 las curvas IPR's adimensionales así obtenidas, aunque no colapsan sobre una única curva, se agrupan estrechamente. Aprovechando esta autosimilaridad aproximada, Vogel propuso su famosa "curva de referencia"

aplicada ampliamente en la industria petrolera desde entonces. El trabajo de Vogel ha sido refinado y extendido por numerosos autores como Standing (1970), Al-Saadoon (1980), Weiss et al., (1981), Dias-Couto y Golan (1982), Mishra y Caudle (1984), Kelkar y Cox (1985) y Camacho y Raghavan (1989).

En marcado contraste con la práctica petrolera antedicha, la industria geotérmica ha hecho escaso uso de curvas de flujo. Los ejemplos en la literatura de aplicaciones geotérmicas de IPR's son escasos. Los mismos incluyen estimaciones del índice de productividad y de parámetros del yacimiento para pozos alimentados por agua o vapor en fase simple (Iglesias et al., 1983a, 1983b) y optimización de desarrollo de estrategias para yacimientos de líquido dominante (Marcou, 1985).

La escasa aplicación de IPR's a problemas geotérmicos revela una importante brecha en el arsenal estándar utilizado para la caracterización de yacimientos geotérmicos. Esta brecha surge mayormente de la dificultad de evaluar la productividad de pozos geotérmicos alimentados por flujo bifásico. La alinealidad de las ecuaciones diferenciales que describen el flujo bifásico de calor y masa en el yacimiento requiere procedimientos numéricos complejos y caros para su solución.

$$q_0/q_{0(max)} = 1 - 0.2(p/P_0) - 0.8(p/P_0)^2, \quad (1)$$

Este trabajo contribuye IPR's adimensionales generalizadas para uso geotérmico (GIPR's). Las GIPR's describen la productividad de calor, que es el principal recurso geotérmico, reflejando que la explotación de dicho recurso está inextricablemente ligada a la extracción de fluido. De otro modo, las GIPR's relacionan producción de calor, producción de fluido y presión en la interfase pozo-yacimiento, para el importante caso de flujo bifásico radial.

PRODUCTIVIDAD GEOTERMICA

El principal recurso geotérmico es calor. La productividad geotérmica se refiere a la velocidad con que puede extraerse el recurso. Para extraer el calor es necesario producir fluido. Por ello, para describir la productividad geotérmica es indispensable relacionar las productividades de calor y de fluido.

Además, la productividad de calor geotérmico está controlada por las características del pozo y del yacimiento. Existen excelentes razones, tanto conceptuales como prácticas, para diferenciar estas contribuciones. En este trabajo nos abocamos a la contribución del yacimiento a la productividad geotérmica.

Las variables que controlan la productividad de calor y masa en el yacimiento son principalmente temperatura, presión, geometría, permeabilidad (k) y permeabilidad relativa (k_{rel}), las propiedades físicas del fluido y el factor de daño del pozo. La productividad térmica también depende de la historia del yacimiento, principalmente porque en general la presión media del yacimiento disminuye con la masa acumulada producida (M_c). Además, la velocidad con que decrece P_R depende de que el yacimiento sea o no recargado (en forma natural o por reinyección). La recarga también afecta la productividad térmica, a través de la temperatura de los fluidos recargados. Por simplicidad, en este trabajo despreciamos los efectos asociados con recargas, geometría del yacimiento y sales y gases disueltos en el agua geotérmica.

METODO

Para caracterizar las productividades másica y térmica para influjo bifásico hemos evaluado su dependencia en las condiciones iniciales del yacimiento no perturbado, en la masa producida acumulada, y en las propiedades de las formaciones y del fluido.

Los casos estudiados se resumen en la Tabla 1 y las propiedades de la formación consideradas constantes se muestran en la Tabla 2. Como se observa desde la Tabla 1 se analizan diez casos básicos, cinco con permeabilidades relativas tipo Corey y cinco con permeabilidades relativas tipo lineal. En cada grupo de cinco se incluyen permeabilidades absolutas de 10, 100 y 1000 md para 250 y 350°C de temperatura inicial. Cada caso involucra un rango de masa producida acumulada (por ciento de masa de fluido inicial en el yacimiento) entre 5 y 35%. Las saturaciones residuales corresponden a las usuales de 0.3 para el líquido y 0.05 para el vapor, para ambos tipos de permeabilidades relativas.

Se considera un yacimiento homogéneo cilíndrico, limitado arriba y abajo por formaciones impermeables y adiabáticas. En el centro hay un pozo que atraviesa todo el espesor del yacimiento. El espesor del yacimiento es de 100 m con un radio aproximado de 1150 m. Se supone flujo horizontal radial de agua bifásica en estado transitorio. La cantidad de movimiento del sistema roca-fluido está regida por la ley de Darcy. Los mecanismos de transferencia de calor involucrados en el modelo matemático son la convección y difusión térmica. Se considera que el sistema roca-fluido se encuentra en equilibrio termodinámico local.

Los casos de la Tabla 1 se simularon mediante un simulador numérico de yacimientos geotérmicos confiable (Pruess y Schroeder, 1980). Se empleó una malla radial de 28 nodos con una distribución $r_n = 0.1(2)^{(n-1)/2}$. Esta distribución localiza el último nodo a una distancia de 1158 m desde el pozo. Las condiciones iniciales corresponden a yacimientos no perturbados por la producción, a 250 y 350°C y a las presiones de saturación correspondientes. De esta manera cuando se inicia la producción se establece flujo bifásico y las temperaturas y presiones medias del yacimiento disminuyen con la producción de masa acumulada.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se computaron curvas de comportamiento de influjo para cada valor de M_c , para todos los casos de la Tabla 1. Estas curvas relacionan presión en la interfase pozo-yacimiento p , gasto másico W y potencia térmica de la descarga P ($=Wh$, donde h es la entalpía específica de la descarga). Las Figs. 1-3 ilustran dichos resultados para el caso $T_{init} = 250^\circ\text{C}$, $k_{rel} = \text{Corey}$, $k = 10 \text{ md}$, $M_c = 5-35\%$.

Tabla 1. Casos estudiados

k_{rel}	T_{init} (°C)	k (md)	Masa producida acumulada (%)
Corey	250	10	5
			10
			15
			20
			25
Corey	250	100	35
			5
Corey	250	1000	4
			20
			29
			33
Corey	350	10	5
			35
Corey	350	100	5
			35
Linear	250	10	5
			35
Linear	250	100	5
			35
Linear	250	1000	4
			20
			33
Linear	350	10	5
			35
Linear	350	100	5
			35

Tabla 2. Propiedades de las formaciones.

Porosidad	0.10
Densidad total	2,700 kg/m ³
Conductividad térmica	2.0 Wm ⁻¹ °C ⁻¹
Calor específico	1,000 Jkg ⁻¹ °C ⁻¹

A continuación normalizamos dichas curvas con respecto a los correspondientes valores máximos de presión P_R , gasto másico W_{max} y potencia térmica P_{Rmax} . Las GIPR's adimensionales resultantes correspondientes a las Figs. 1-3 se presentan en las Figs. 4-6. Nótese que, en la versión adimensional, los resultados computados tienden a colapsarse en zonas relativamente estrechas. La dispersión de dichas zonas refleja los efectos de la producción acumulada, ya que T_{init} , k y k_{rel} son fijos para las Figs. 4-6. Otro aspecto notable es la estrecha correlación no lineal que se manifiesta entre las productividades adimensionales térmica y másica. Aunque no se muestran aquí, se observan efectos similares para todos los yacimientos listados en la Tabla 1.

Los efectos combinados de las condiciones iniciales, propiedades de las formaciones y fluido y producción acumulada, sobre las productividades térmica y másica adimensionales, se presentan en las Figs. 7-9. Estas figuras resumen los resultados correspondientes a todos los casos de la Tabla 1. Nótese que, a pesar de los amplios rangos de propiedades de las formaciones, propiedades del fluido y producción acumulada cubiertos, el agrupamiento relativamente estrecho de los resultados computados persiste. Esta autosimilaridad aproximada puede ser explotada para fines ingenieriles prácticos, como lo demostró el éxito de la IPR's de Vogel.

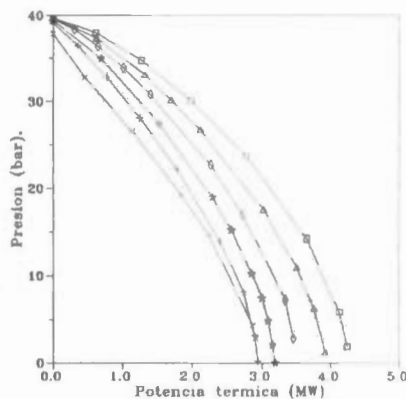


Fig. 1. Relaciones presión-potencia para $T_{init} = 250^\circ\text{C}$, $k_{rel} = \text{Corey}$, $k = 10 \text{ mD}$, $M_C = 5, 10, 15, 20, 25, 35\%$. M_C aumenta hacia las curvas inferiores.

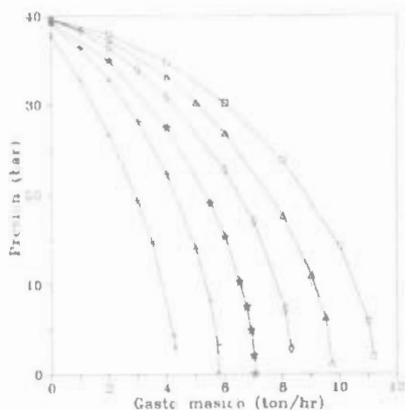


Fig. 2. Relaciones presión-gasto másico para $T_{init} = 250^{\circ}\text{C}$, $K_{rel} = \text{Corey}$, $k = 10 \text{ mD}$, $M_c = 5, 10, 15, 20, 25, 35\%$. M_c aumenta hacia las curvas inferiores.

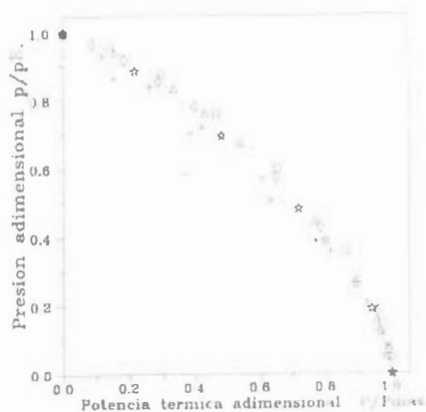


Fig. 4. Relaciones adimensionales correspondientes a la Fig. 1 (mismos símbolos).

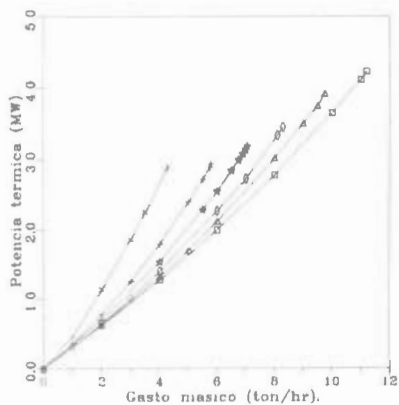


Fig. 3. Relaciones potencia-gasto másico para $T_{init} = 250^{\circ}\text{C}$, $K_{rel} = \text{Corey}$, $k = 10 \text{ mD}$, $M_c = 5, 10, 15, 20, 25, 35\%$. M_c aumenta hacia las curvas superiores.

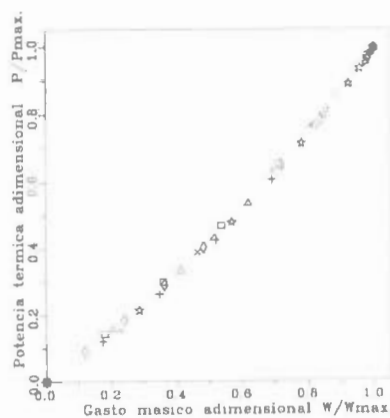


Fig. 6. Relaciones adimensionales correspondientes a la Fig. 3 (mismos símbolos).

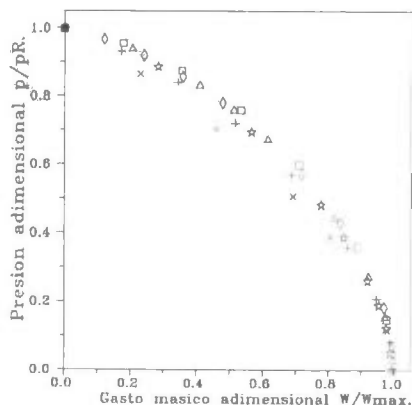


Fig. 5. Relaciones adimensionales correspondientes a la Fig. 2 (mismos símbolos).

Para aprovechar esta autosimilaridad aproximada, ajustamos las "curvas de referencia" que se muestran en las Figs. 7 y 8. De este modo, explotamos la apretada correlación entre las productividades adimensionales térmica y másica, demostrada en la Fig. 8, y describimos en forma directa la productividad térmica. Estas "curvas de referencia" pueden ser consideradas como una solución general aproximada de las ecuaciones que describen el influjo geotérmico radial bifásico.

Para facilitar la utilización de las "curvas de referencia" elegimos expresiones simples para los ajustes. La productividad térmica adimensional se ajustó mediante

$$P_D = 1 - p_D^2, \quad (2)$$

donde $P_D = P/P_{\max}$ y $p_D = p/p_R$. La relación entre las productividades adimensionales térmica y másica se ajustó mediante

$$P_D = 0.7W_D + 0.3W_D^2, \quad (3)$$

donde $W_D = W/W_{\max}$.

De (2) and (3) se deduce

$$P_D = (1 - 0.7W_D - 0.3W_D^2)^{0.5}, \quad (4)$$

o

$$W_D = [-0.7 + (1.69 - 1.2P_D^2)^{0.5}]/0.6 \quad (5)$$

que es la línea que se muestra en la Fig. 9. Este ajuste "deducido" luce razonablemente satisfactorio para nuestros fines.

Las expresiones (2)-(5), conjuntamente con las definiciones de las variables adimensionales pueden ser usadas para estimar la contribución del yacimiento a la productividad térmica y másica de pozos geotérmicos. Esta simple aproximación es mucho más barata que, y en la mayor parte de los casos tan confiable como, la simulación numérica del yacimiento, que es la alternativa para influjo bifásico.

Una ventaja adicional de la metodología propuesta es la simpleza y bajo costo asociados con la captura de los datos de entrada necesarios para estimar productividad geotérmica con la misma. Los datos necesarios pueden conseguirse realizando simples determinaciones de gasto másico y entalpía de la descarga en el cabezal del pozo, mas una determinación de presión a fondo de pozo. Esto compara favorablemente con el costo y las complicaciones asociadas con la captura de datos confiables (e.g., permeabilidad, permeabilidades relativas, conductividad térmica, presión media, etc.) necesarios para modelar numéricamente el yacimiento.

SUMARIO Y CONCLUSIONES

Hasta el presente la industria geotérmica carecía de una metodología simple y confiable para estimar la contribución del yacimiento a la productividad térmica de los pozos.

Para cerrar dicha brecha en el arsenal estándar utilizado en la caracterización de yacimientos geotérmicos, hemos desarrollado relaciones de comportamiento de influjo adimensionales geotérmicas (GIPR's). Estas "curvas de referencia" pueden considerarse como una solución general aproximada de las ecuaciones que describen el caso, de gran importancia práctica, de influjo bifásico radial. Dichas curvas relacionan las productividades térmica y másica y la presión en la interfase pozo-yacimiento. Nuestros resultados incluyen los efectos de las condiciones iniciales del yacimiento, propiedades del yacimiento y del fluido e historia de producción del yacimiento. No se consideraron efectos asociados con la forma del yacimiento, recarga natural o reinyección, gases o sólidos disueltos o factor de daño del pozo.

Basándonos en esta solución aproximada, delineamos un método muy simple y directo para estimar la contribución del yacimiento a las productividades térmica y másica de los pozos, para yacimientos bifásicos. Este método es mucho más barato que, y en la mayoría de los casos tan confiable como, el modelado numérico para yacimientos bifásicos.

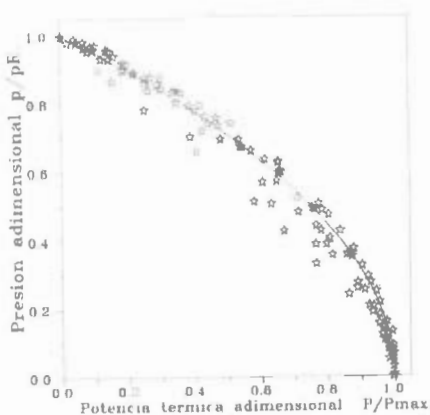


Fig. 7. Relaciones adimensionales presión-potencia incluyendo todos los casos de la Tabla 1. La línea continua es la curva de referencia de la eq. (2).

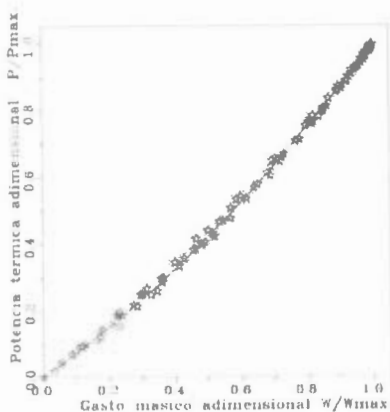


Fig. 8. Relaciones adimensionales potencia-gasto másico incluyendo todos los casos de la Tabla 1. La línea continua es la curva de referencia de la eq. (3).

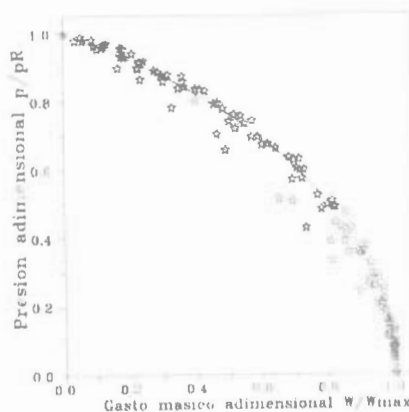


Fig. 9. Relaciones adimensionales presión-gasto másico incluyendo todos los casos de la Tabla 1. La línea continua es la curva de referencia de las eqs. (3) o (4).

REFERENCIAS

- Al-Saadoon, F.T., 1980. Predicting present and future well productivities for solution-gas-drive reservoirs, J. Pet. Tech., May 1980, pp. 868-870.
- Camacho, R.G. and Raghavan R., 1989. Inflow performance relationships for solution-gas-drive reservoirs, J. Pet. Tech., vol. 41, no. 5, pp. 541-550.
- Días-Couto, L.E. and Golan M., 1982. General inflow performance relationship for solution-gas reservoir wells, J. Pet. Tech., Feb. 1982, pp. 285-288.
- Evinger, H.H. and Muskat, M., 1942. Calculations of theoretical productivity factor, Trans. AIME 146 126-139.
- Gilbert, W.E., 1954. Flowing and gas-lift well performance, Drill. and Prod. Prac., API, pp. 126-.
- Iglesias, E.R., Arellano, V., Garfias, A., Miranda C., Hernandez, J. and Gonzalez J., 1983a. A method to recover useful geothermal reservoir parameters from production characteristic curves (1) Steam reservoirs, Proc. 9th Workshop Geothermal Reservoir Engineering, 285-290, Report SGP-TR-74 Stanford University.

- Iglesias, E.R., Arellano, V., and Molinar R., 1983b. A method to recover useful geothermal reservoir parameters from production characteristic curves - (2) Hot water reservoirs, Proc. 9th Workshop Geothermal Reservoir Engineering, 291-297, Report SGP-TR-74 Stanford University.
- Kelkar, B.G. and Cox, R., 1985. Unified relationship to predict future IPR curves for solution gas-drive reservoirs, Paper SPE-14239, 60th Annual Technical Conference and Exhibition of the Soc. Pet. Eng., 8 pp.
- Marcou, J.A., 1985. Optimizing development strategy for liquid dominated geothermal reservoirs, Stanford Geothermal Program, Report SGP-TR-90, Stanford University.
- Mishra, S. and Caudle, B.H., 1984. A simplified procedure for gas deliverability calculations using dimensionless IPR curves, Paper SPE-13231, 59th Annual Technical Conference and Exhibition of Soc. Pet. Eng., 9 pp.
- Pruess, K. and Schroeder R.C., 1980. SHAFT79 user's manual, Report LBL-10861, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California.
- Standing, M.B., 1970. Inflow performance relationships for damaged wells producing by solution-gas drive, J. Pet. Tech., Nov. 1970, pp. 1399-1400.
- Vogel, J.V., 1968. Inflow performance relationships for solution-gas drive wells, J. Pet. Tech., Jan. 1968, pp.83-92.
- Weiss, E.M., Taylor J.G. and Toronyi R.M., 1981. Productivity testing using production logging techniques, Paper SPE-9610, Middle East Oil Technical Conference of the Soc. Pet. Eng., 12 pp.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial statements. This includes not only sales and purchases but also expenses, income, and transfers between accounts.

The second part of the document provides a detailed explanation of the accounting cycle. It outlines the ten steps involved in the process, from identifying the accounting entity to preparing financial statements. Each step is described in detail, including the necessary documents and procedures to follow.

The third part of the document discusses the various methods used to record transactions. It compares the double-entry system with the single-entry system, highlighting the advantages and disadvantages of each. It also explains how to use T-accounts to organize and summarize the data.

The fourth part of the document covers the process of adjusting the accounts. It explains why adjustments are necessary and how they are made. It discusses the different types of adjustments, such as accruals, deferrals, and depreciation, and provides examples of how to record them.

The fifth part of the document discusses the preparation of financial statements. It explains how to use the adjusted trial balance to prepare the income statement, balance sheet, and statement of owner's equity. It also discusses the importance of comparing the results of the current period with those of the previous period.

The sixth part of the document discusses the closing process. It explains how to close the temporary accounts (revenues, expenses, and owner's drawings) to the permanent accounts (retained earnings and owner's capital). It also discusses the importance of reversing entries and how they are used to correct errors.

The seventh part of the document discusses the use of accounting software. It explains how to set up a new company in the software and how to enter transactions. It also discusses the various features and functions of the software, such as generating financial statements and performing audits.

The eighth part of the document discusses the importance of internal controls. It explains how to design and implement controls to prevent errors and fraud. It discusses the different types of controls, such as segregation of duties, authorization, and physical controls, and provides examples of how to use them.

The ninth part of the document discusses the importance of ethics in accounting. It explains how to identify and avoid ethical dilemmas and how to report any wrongdoing. It also discusses the various codes of ethics and the role of the accounting profession in maintaining the integrity of the financial system.

The tenth part of the document discusses the future of accounting. It explains how technology is changing the way accounting is done and how accountants are adapting to these changes. It also discusses the various career opportunities available in the field of accounting.

ESTADO DE LA TECNOLOGIA DE PERFORACION DE POZOS GEOTERMICOS EN MEXICO.

Santoyo-Gutiérrez, S., Bacra A.A. y Morales, M.R.

Depto. de Geotermia
División Fuentes de Energía
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Cuernavaca, Mor., CP 62 000

RESUMEN

El alto costo de la perforación y terminación de pozos geotérmicos es un impedimento importante para el desarrollo comercial generalizado de los recursos geotérmicos en el mundo. Esto es debido a que existen deficiencias tecnológicas en las técnicas de perforación empleadas para superar los problemas especiales vinculados con el medio ambiente geotérmico que típicamente incluye formaciones de roca volcánica, altas temperaturas y movimiento rápido de fluidos corrosivos e incrustantes. De aquí que se considere importante, el emprender programas de investigación relacionados con la tecnología de construcción de pozos geotérmicos que contribuyan sensiblemente a una reducción de sus costos y de esta manera, se repercuta en los costos de la energía eléctrica en línea. Y de este modo, se lleve a cabo el aprovechamiento de la gran cantidad de energía geotérmica disponible en la mayor parte de nuestro país.

INTRODUCCION

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha establecido como metas de energía geotérmica en línea 2,000 MW para el año 2000, de acuerdo con el Plan Global de Desarrollo de México. Indudablemente, que el alcance de estas metas será posible sólo si la energía geotérmica compite económicamente con la energía obtenida a partir de las fuentes convencionales (fósiles y nucleares). El costo de la perforación y terminación de pozos geotérmicos se considera una porción significativa del costo de la energía producida geotérmicamente. A la fecha, el costo promedio del pozo geotérmico es de casi dos millones de dólares, aproximadamente cuatro veces más que un pozo petrolero o gas (en tierra). Estos costos deben ser reducidos para que las metas de energía en línea de la CFE se cumplan; por ello, la reducción del costo pozo repercutirá directamente en un costo reducido de la energía eléctrica producida geotérmicamente. Esto mejorará la posición económicamente relativa de la energía geotérmica en el mercado y guiará a la sustitución de la energía geotérmica por la energía convencional.

La energía geotérmica ha venido rápidamente a tomar importancia a nivel nacional como complemento de los combustibles fósiles y de la energía nuclear para propósitos de generación eléctrica. Existen 4 tipos básicos de desarrollos geotérmicos: vapor seco, líquido dominante, roca seca caliente y fluidos geopresurizados. En México se cuenta con campos geotérmicos de líquido dominante como lo son Cerro Prieto en Mexicali, Los Azufres en Michoacán, Los Hornos en Puebla y La Primavera en Jalisco. La explotación comercial de estos campos sólo se está realizando en Cerro Prieto (620 MW_e) y Los Azufres (75MW_e)^[1].

Se requiere de casi 9 Ton de vapor específico para generar 1 (MWh)⁻¹ de electricidad, ésta tiene un costo de 25 a 30% más bajo que la obtenida a partir del carbón, combustóleo o nuclear^[2]. La exploración geotérmica requiere de perforaciones profundas dado que la profundidad de los intervalos productores, en la mayoría de los pozos de Cerro Prieto fluctúa entre los 2,500 y 3,000 m. Los equipos empleados para la perforación de los pozos geotérmicos son los mismos que se emplean para los pozos petroleros o de gas pero con una ligera variante que es la torre de enfriamiento de los fluidos de perforación (Tabla 1).

METODO DE PERFORACION.

Existen dos técnicas de perforación rotatoria, la tradicional que es empleando fluido de perforación como sistema de circulación en el pozo y la otra consistente en la utilización de aire, siendo este último el menos empleado. Aunque cabe mencionar que existen tres clases generales de fluidos de perforación: base agua, aire y aceite. Los fluidos base aceite no son adecuados por el peligro de contaminación a los acuíferos profundos, además de que su costo es elevado y probablemente, éste se pierda al no regresar a la superficie cuando atraviesan las zonas de pérdidas de circulación. No obstante, en la actualidad el empleo exitoso del aire en los pozos geotérmicos de Nueva Zelanda^[3], Japón^[4] y Estados Unidos^[5] ha comenzado a llamar la atención por las siguientes razones:

- Velocidades de penetración muy altas.
- Reduce notablemente el posible daño a la formación.
- Control efectivo de presión en zonas con pérdida de circulación.
- Se detectan con mayor facilidad las zonas de baja presión.

La perforación con aire seco es la técnica más simple de perforación con aire, sin embargo, cuando se entra en contacto con acuíferos, el aire es lo bastante seco y debe convertirse a niebla o espuma. En general, la capacidad de levantamiento de recortes por el sistema aerado es proporcional a la densidad de éste y al cuadrado de su velocidad en el espacio anular (espacio vacío entre la pared externa de la tubería y la del pozo). Las velocidades anulares típicas fluctúan entre 900 y 1,500 m/min^[6,7,8]. Los requerimientos de volumen de aire para un agujero y un tamaño de tubería dado están directamente relacionados con la profundidad; esto es, a medida que se penetra en el pozo, la expansión en la barrena es menor y por tanto, la velocidad es menor debido al aumento del peso de los recortes y a la presión generada por la fricción. Una velocidad excesiva del aire provocará la erosión de las zonas más suaves del pozo, haciendo que se requiera más aire para mantener la velocidad apropiada en esa zona agrandada del agujero. También una presión excesiva del aire provocará que este se pierda hacia la formación, haciendo deficiente el levantamiento de recortes y guiando a una situación de alto riesgo pues éstos tenderán a acumularse en el pozo, empacando la tubería de perforación.

PERFORACION	METROS	500 a 1,000	700 a 1,300	1,000 a 1,800	1,500 a 2,500	2,000 a 3,000
MALACATE	TIPO	T-12	T-20	T-32	T-45	T-55
	POTENCIA	200	300	400	550	700
ROMBA	TIPO	C250.71/4" X 15"	C250.71/4" X 15"	K500.71/2" X 15"	K500.71/2" X 15"	G700 8" X 14"
	POTENCIA	1 JGO.	2 JGOS.	1 JGO.	2 JGOS.	2 JGOS.
MASTIL	TIPO	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR
	ALTURA	27" 6 34"	34" 6 38"	38"	38"	43"
MESA ROTARIA		171 2"	171 2"	201 2"	201 2"	201 2"

Tabla 1. Dimensiones y Capacidades de Equipos de Perforación (National Supply Co.)

Es indudable que un sistema de fluido de perforación aerado combina las ventajas asociadas con el fluido de perforación convencional y con las técnicas de perforación con aire; especialmente, es efectivo cuando se atraviesan zonas de pérdida de circulación, típicas de los yacimientos geotérmicos de agua dominante, en donde se logra obtener un retorno completo del fluido a la superficie. Una vez que se logra esto, se realizan los ajustes apropiados del aire inyectado y del volumen para regular la presión en el fondo. Cada sección del pozo necesariamente requiere de una relación aire lodo, además de la influencia de parámetros como la geometría del agujero, propiedades del lodo, eficiencia de la bomba, problemas del agujero, temperatura, pérdidas en la velocidad de circulación, el nivel del espejo de agua, etc.

El sistema aerado es sumamente ventajoso al atravesar las zonas productoras, comparado con el lodo convencional que requiere presiones de circulación más altas que forzan a los recortes a penetrar y, en ciertos casos, sellar las fracturas debido al proceso de gelación del lodo al quedar atrapado en dichas fracturas. Esto provocará que parte o el total del flujo de producción se disminuya debido al daño de la formación; los efectos de esto sobre el costo total del pozo son observados en la Fig. 1 [4]. A diferencia de ello, el aire permite un control de la presión diferencial entre la circulación del fluido en el fondo y el de la formación. No obstante, es importante mencionar que cada pozo presenta sus propias variables, mismas que influyen en el comportamiento del sistema de fluido de perforación aerado.

Por otro lado, la técnica convencional emplea como sistema de circulación un fluido a base de agua y arcilla denominado lodo de perforación, el control de sus propiedades físico-químicas se lleva a cabo mediante la adición de aditivos químicos, permitiendo con ello ajustarse a los cambios de las condiciones del pozo y/o a las impuestas por el perforador (Tabla 2) [9]. Estos aditivos pueden ser polímeros orgánicos, dispersantes, agentes densificantes, adelgazadores y lubricantes. Cuando la bentonita se incorpora al agua, comienzan a efectuarse una serie de cambios en sus propiedades físicas como lo son el aumento de la viscosidad, gelación, densidad, filtración

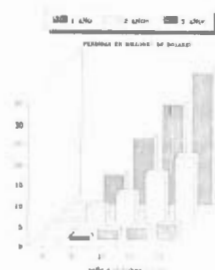


Fig. 1 Efectos Económicos Generados por la Reducción de la Formación Causados por la Gelación de los Recortes [1].

lubricidad; al entrar en el pozo los sólidos suspendidos y ciertos cambios químicos afectan a estas propiedades. Como ya se mencionó la perforación de los pozos geotérmicos involucra el contacto con formaciones fracturadas, rocas metamórficas y igneas, lo cual hace que se requiera de una selección y mantenimiento cuidadoso de los sistemas de fluidos de perforación. Es entonces necesario para que estos sistemas cumplan con sus tres funciones básicas:

- (1) Enfriar el fondo de la barriera.
- (2) Eliminación de los recortes cuando estos son producidos.
- (3) Transporte y salvajeo de los recortes en la superficie.

Idealmente, los fluidos empleados también deben contar de modo inmediato y preciso la detección de los fluidos geotérmicos, cambios de temperatura y la litología de la zona de producción.

Propiedades del Lodo	Unidades	Espejo		Agujero Deseubierto
		Superficial	Intermedia	
Densidad	g/cm ³	1.05	1.10	1.09
pH		7 - 9	8 - 9	9
Viscosidad Marsh	seg/1	50 - 60	45 - 50	40 - 45
Viscosidad Plástica	cps		14 - 18	14 - 18
Punto de Gel	lb 100ft ²		6 - 9	5 - 8
Cedencia	lb 100ft ²		0 - 6	0 - 4
Filtración API ml 30 min		10 - 12	8 - 10	6 - 8
Enjarre	mm	2.0	1.0	1.0
Sólidos	% v v		8 - 14	8 - 10
Arcilla	% v v		0.5 - 1.0	0.5 - 1.0

Tabla 2. Programa de Control de las Propiedades Físicas del Fluido de Perforación para el Pozo PR - 13 del Campo Geotérmico de La Primavera, Jalisco (Vaca, 1987).

PROBLEMATICA ACTUAL DE LA PERFORACION

El costo elevado de los pozos geotérmicos es debido en parte a un número de deficiencias en la tecnología de construcción de los pozos, mismas que son atribuibles a los efectos de la temperatura, formación, corrosión y erosión, los cuales son encontrados típicamente en el medio ambiente geotérmico.

Efectos de Temperatura,

La alta temperatura encontrada en el medio geotérmico produce efectos adversos sobre los fluidos de perforación, tuberías de revestimiento, cements, barrenas y materiales elastoméricos.

Fluidos De Perforación. Las dificultades relacionadas con los fluidos de perforación forman el único y más frecuente problema de perforación. Actualmente, se utilizan sistemas de fluidos base agua bentonita-lignito o els que presentan serios problemas con la corrosión y degradación del fluido de perforación a temperaturas altas. Las temperaturas de la formación alcanzan los 370°C, sin embargo, la temperatura de circulación del fluido de perforación se puede mantener abajo de los 120°C, por medio de un sistema de enfriamiento auxiliar en la superficie. Las fallas del fluido de perforación por controlar la viscosidad y la filtración son originadas por la degradación térmica de los componentes orgánicos utilizados para realizar dicha tarca, a causa de la exposición prolongada a la alta temperatura y a los electrolitos encontrados. Estas fallas se caracterizan por una severa gelación y floculación del fluido (Fig. 2) Este fenómeno se evidencia en los fluidos durante un viaje por cambio de barrena, ya que en este caso se encuentra en condiciones estacionarias y comienza a solidificarse. Aunado a ello si no se toman las medidas pertinentes, el fluido de perforación puede llegar a ocasionar daño a la formación geotérmica reduciendo su permeabilidad.

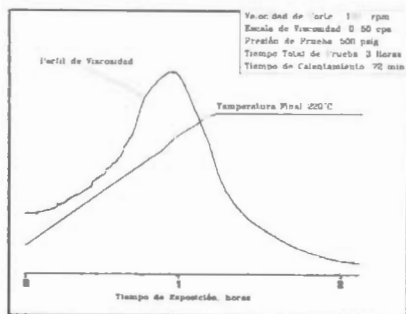


Fig. 2 Variación de la Viscosidad del Lodo a 110°C y 500 psi en un Viscosímetro Fann 50C.

Cementación.- Durante la operación de cementación se requiere colocar el cemento uniformemente en todo el espacio anular del pozo, al estar muy gelado el fluido de perforación se dificulta su desplazamiento hacia la superficie debido a su baja movilidad. Además de esto, se inducirá una canalización de la lechada de cemento a través del lodo remanente, dejando al descubierto grandes superficies de la tubería de revestimiento (Fig. 3). Estas regiones se pueden llenar con agua la cual vaporiza a temperaturas geotérmicas, provocando de este modo un colapso sobre la tubería de revestimiento. Un problema adicional, es el de la incertidumbre en la determinación correcta del perfil de temperatura del pozo. Los cements geotérmicos deben ser formulados con la cantidad adecuada de retardador para las condiciones de temperatura estimada. Una mezcla incorrecta fallará y guiará a una cementación adicional que resulta costosa e insegura, incrementando con ello el costo del pozo.

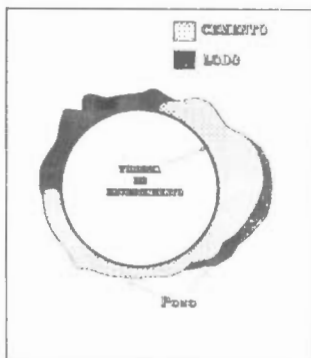


Figura 3 Corte Transversal del Pozo que muestra la Eficiencia del Desplazamiento del Lodo por La Lechada de Cemento

Barrenas. Las altas temperaturas en el fondo y el aumento de la fricción provocan que los cojinetes experimenten temperaturas mucho más altas que la del cuerpo de la barrena. Se ha observado que cuando las temperaturas de la formación están cerca de 240°C, el cuerpo del rol de fricción experimenta temperaturas hasta de 540°C, esta excede el rango de 260-316°C, en el cual se presenta un ablandamiento importante en el acero. Normalmente, este fenómeno resultante de las superficies de los cojinetes, reduce la vida útil de la barrena en 1/4-1/5%. Los cojinetes y los races tienen lubricación sólo por el fluido de perforación (Fig. 4). De este modo, los costos del paro son aumentados sensiblemente por la necesidad de barrenas, de un número mucho mayor de los viajes requeridos para su cambio y la reducción de la velocidad de penetración al estar perforando. Es importante considerar que la mayoría de los yacimientos existen en formaciones duras y semiduras, en donde la penetración es lenta y el desgaste del equipo es alto.

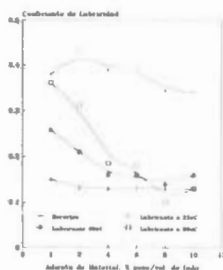


Fig. 1 Cambios en el Coeficiente de Lubricidad del Lodo de Campo por Adición de Varios Materiales [21]

Pérdida de circulación,

Una dificultad severa y compleja es la pérdida de circulación de los fluidos de perforación y de las lechadas cementantes en el campo geotérmico, a causa de las formaciones altamente fracturadas y/o de baja presión. Este tipo de formaciones son sensibles al peso de la columna hidrostática del lodo y a los brotes de presión causados por el bombeo, descenso rápido de la tubería, fluido de perforación gelado por la alta temperatura, etc. Los fluidos de perforación que permanecen estables a temperaturas altas, no tienen con frecuencia la capacidad adecuada para controlar la pérdida de circulación (Fig. 5). La pérdida de circulación demora el avance de la perforación guiando a mayores problemas como son el hinchamiento y/o



Fig. 5 Experimento de Sellamiento de Varios Materiales. Durante Adicionales a un Lodo de Campo de Tipo LIS [12].

deformación del agujero induciendo a pegarse la tubería. Esta última condición del pozo hace que sea difícil de cementarse las tuberías, dejándolas sueltas en dichas zonas motivando que se deformen cuando entre el pozo en producción debido a la expansión térmica [11].

Contaminaciones

Daño a la formación. Cuando existen demoras en la perforación se tiene que estar rompiendo continuamente la circulación empleando una presión excesiva para reanudar la circulación, la cual puede fracturar formaciones débiles originando la pérdida del fluido y produciendo un daño a la formación [14]. Esto es, al invadir el lodo la zona productora causará una disminución de la producción de flujo al endogeno mediante un sellamiento originado por la gelación a temperatura alta (Fig. 6).

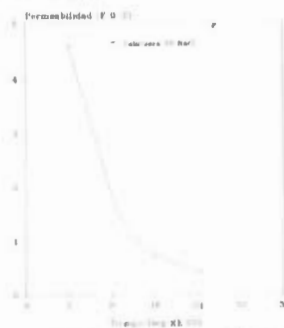


Fig. 6 Efecto del daño a la formación de un Núcleo de Arena. Continuada por Lodo LIS.

Disminución de la pérdida de resistencia del cemento. Los fluidos de perforación también contaminan el cemento causando una adhesión deficiente del mismo hacia la tubería y al pozo. Por otro lado, también se afecta a la resistencia compresiva del cemento disminuyéndola conforme transcurre el tiempo (Fig. 7) [15]. Si a esto se le agrega la presencia de aceleradores de este fenómeno como lo son los fluidos calientes y corrosivos del pozo, esfuerzos térmicos cíclicos por los cambios de temperatura y expansión de las tuberías.

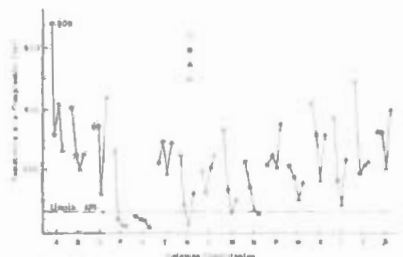


Fig. 7 Comparativo de los Cementos. Experimento a Largo Plazo en el Pozo del Pozo Q 700 del Campo de Formación de Cerrita Prieta, México.

Corrosión

La corrosión de la tubería puede ser externa o interna por mecanismos de pérdida general del metal (adelgazamiento) o por picaduras. Este fenómeno puede ser originado por:

- a) El lodo al ser enfriado en la torre está atrapando oxígeno el cual se combina con los fluidos de la formación generando un fluido altamente corrosivo. También la incorporación de dicho fluido al lodo se lleva a cabo en condiciones especiales, lo cual motiva que se acelere la corrosión.
- b) La degradación térmica de ciertos componentes orgánicos en el lodo pueden generar gases sus productos corrosivos (Fig. 8).
- c) La presencia de H₂S es un evento típico que se encuentra en las formaciones de tipo volcánicas, además el manejar salmueras calientes ácidas o con H₂S motiva una fragilidad y corrosión acelerada en las tuberías de revestimiento (Fig. 9) [16].

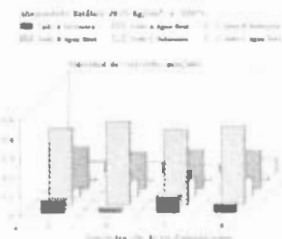


Fig. 8 Corrosión de Tipos de Tubería. Perforación Realizada por Degradación Térmica del Lodo Usando Perforación de Base Líquida [16].

Erosión

La tubería de perforación es inspeccionada con frecuencia cuando se utiliza el sistema aereado, necesitando de un aditivo especial anti-erosión en el flujo de aire, no obstante, la herramienta se daña en razón de 0.30/2.1 m de tubería de perforación dentro del agujero.

Los problemas de terminación son más severos en pozos que producen flujo húmedo, debido a que se erosiona la tubería de revestimiento cuando la alta velocidad del fluido despoja la película de agua de la superficie de ésta [11].

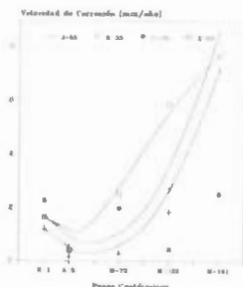


Fig. 9 Corrosión en Cupones de Tuberías de Acero API Empleadas en Distintos Pozos de los Campos Geotérmicos Mexicanos [18].

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA POZOS GEOTÉRMICOS.

El análisis de las dificultades tecnológicas existentes asociadas con la perforación y terminación de pozos, señala que el desarrollo tecnológico debe ser enfocado a fluidos de perforación para alta temperatura, técnicas mejoradas de perforación y terminación, mayor velocidad de penetración, mayor vida de la herramienta [17]. Con ello, se tiene el potencial suficiente para reducir el costo de los pozos geotérmicos hasta en un 25%, en comparación con la perforación rotatoria convencional. Una reducción de costos que exceda el 25% necesitará el uso de nuevas técnicas de perforación y de tecnología sofisticada; la investigación a este respecto está en camino y la implementación exitosa de éstas podrían reducir posiblemente el costo-pozo hasta un 50%. Por tanto, para alcanzar la meta se requiere de una investigación y desarrollo tecnológico en las siguientes áreas específicas:

Comportamiento químico y físico de arcillas bentónicas y su morfología, así como de los fluidos de perforación enfocados a una mayor extensión de su estabilidad a la temperatura y a los contaminantes del medio, considerándose también a los sistemas de espumas para alta temperatura [18]. Los procedimientos sistemáticos son necesarios para corregir estas fallas relacionadas con el fluido. La investigación de fluidos de perforación es llevada en pruebas de laboratorio de largo plazo bajo condiciones simuladas de fondo de pozo geotérmico con lodos y materiales comerciales disponibles en la industria de perforación, en el Instituto de Investigaciones Eléctricas [19].

Evaluación de los fluidos de perforación desarrollados en laboratorio, en un equipo a escala piloto que ofrece un circuito de flujo de lodo para pruebas de reología, filtración, densidad y características corrosivas con presiones de 20,000 psig y temperaturas de 400°C.

Los esfuerzos de la tecnología de cementación se enfatizan en métodos de control de la definición de la composición adecuada para cada tipo de formación particular. Esto es, el desarrollo de nuevas formulaciones cementantes o el mejoramiento de las existentes que incluyan variaciones de cemento nacionales, cementos inorgánicos y de sistemas poliméricos [20]. Esta investigación debe contemplar la habilidad de su manejo, control de su densidad y colocación, estabilidad térmica, resistencia hidráulica y al corte, así como de su baja permeabilidad.

Se requiere investigar métodos y/o fluidos que inhiban la alteración química y física del cemento causada por el contacto con el fluido de perforación o un posible tratamiento químico de este último [21]. Esta investigación debe ser coordinada con la del fluido de perforación

involucrando diversos tipos de formulaciones

La investigación sobre el control de la pérdida de circulación se enfatiza al desarrollo de fluidos con densidad controlada, materiales de obturación temporal y definitiva [22], técnicas y procedimientos más apropiados (Figs. 5 y 6); así como también a la investigación de las propiedades y el proceso de colocación de lechadas cementantes especiales [18]. También se necesitan procedimientos y entrenamientos especiales para la cuadrilla de trabajadores.

El estudio de nuevos materiales y técnicas es indispensable para controlar la corrosión y erosión de las tuberías de perforación y ademes, en especial, aditivos aplicados al sistema del fluido de perforación. Esto requerirá de un entrenamiento adicional para el grupo de plataforma; así como de una planeación avanzada para asegurar los suministros de reemplazo apropiados dada la extrema rapidez de desecho de la tubería.

La investigación y desarrollo de cojinetes de alta temperatura, sellos y lubricantes para el uso de barrenas y motores para fondo de hoyo se está llevando a cabo por los laboratorios Sandia y Terratek [23]. Complementariamente, en el Instituto de Investigaciones Eléctricas se están caracterizando materiales lubricantes y mezclas de éstos cuya aplicación sea directa en los fluidos de perforación [24]. Esto como una herramienta alternativa y económica para cubrir la deficiencia tecnológica existente en este campo.

CONCLUSIONES

Es natural que mientras existan similitudes entre la tecnología de perforación convencional y la geotérmica, los costos involucrados en esta última no serán reducidos, debido a que el equipo no está para emplearse en un medio ambiente tan agresivo.

La realización de las metas tecnológicas definidas por áreas permitirán abatir hasta en un 25% los costos del pozo, siempre y cuando se lleve a cabo un esfuerzo conjunto en todas ellas.

Finalmente, es indudable que la experiencia adquirida en el mejoramiento de la tecnología de perforación geotérmica permite a México, competir a nivel internacional en asesoramiento de proyectos geotermoelectrónicos para Centro América. Más aún, esta experiencia puede tener múltiples aplicaciones en la perforación de pozos petroleros y de gas ultraprofundos, así como también en la industria minera.

AGRADECIMIENTOS.

El autor agradece el apoyo del Instituto de Investigaciones Eléctricas para la publicación de este trabajo, así como también a la Técnico A. Zermeño y al Sr. Adrián Patiño.

REFERENCIAS

- [1] Alonso, H.E., 1987. Estado Actual de la Geotermia en México International Symposium on the Development and Exploitation of Geothermal Resources, (Ed. C. Heard), pp. 9-16.
- [2] Hiriart, G.L., 1985. Developments in geothermal energy in Mexico-Part Three: Economics of wellhead versus central power plants.
- [3] Russell M., 1987. The use of aerated fluids in geothermal drilling. Proceedings of 9th NZ Geothermal Workshop.
- [4] Wolke, R.M., Jardiolin, R.A., Suter, R.L., Moriyama, S., Yoshikazu, S. and Yasushi, K., 1990. Aerated drilling fluids can lower drilling costs and minimize formation damage, Geothermal Resources Council TRANSACTIONS, 14, Part I, pp. 457-463.
- [5] Bannerman, J.K., Davis, N. and Wolke, R.M., 1978. Geothermal drilling fluid systems, Geothermal Resources Council TRANSACTIONS, 2, July, pp. 27-29.

- [1] Miller Air Drilling Handbook, 1990
- [2] Farias, J.M. 1981 Perforación de pozos geotérmicos usando aire como fluido de perforación, Tesis de Licenciatura en Ingeniería Industrial Mecánica, Tecnológico Regional de Culiacán, Sinaloa
- [3] Darling, D.W. and Kelsey, J.R. 1981. Balance of pressure techniques applied to geothermal drilling, Geothermal Resources Council Transactions, 5, October, pp. 218-226
- [4] Viana, J.A. 1987 Tecnología de la Perforación de Pozos en México, International Symposium on the Development and Exploitation of Geothermal Resources, (Ed. C. Heard), pp. 139-141
- [5] Domínguez, B.A. and Sánchez, C.G. 1981. Geothermal Drilling in Costa Rica, Proceedings of The International Conference on Geothermal Drilling and Completion Technology, 23-27
- [6] Domínguez, B.A. y Sánchez, C.G., 1981. Problemática en el Desarrollo de Pozos Geotérmicos en México, International Symposium on the Development and Exploitation of Geothermal Resources, (Ed. C. Heard), pp. 360-373
- [7] Gray G.R., Ebley, H. H. and Rogers, W.F. Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids, Gulf Publishing Company 1980
- [8] Morales, M.R., Santoyo-Gutiérrez, S., García, A. and Barroso, G.H. 1987 Selección de Materiales Cementantes para Pozos Geotérmicos, International Symposium on the Development and Exploitation of Geothermal Resources, (Ed. C. Heard), pp. 355-365
- [9] Arenas R., Iglesias J., Izquierdo M., Guisasa R., Olivares S., Santoyo S. 1983. Effects of contamination by geothermal drilling fluid on laboratory determinations of sandstone pore properties. An evaluation. Preprints Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Universidad de Stanford, Stanford, California, USA, 1983
- [10] Santoyo S.G. 1980 Uso de los Cementos en Pozos Geotérmicos Cambios Químicos y de Resistencia Provocados por la Temperatura, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
- [11] Sampedro, J.A., Resas, N., Díaz, R. y Nieva, D., 1987 Corrosión en Pozos Geotérmicos Mexicanos, International Symposium on the Development and Exploitation of Geothermal Resources, (Ed. C. Heard), pp. 374-380
- [12] Santoyo-Gutiérrez, S., Morales, M.R. and Barroso G., 1987 Control Apropiado de las Condiciones del Fluido de Perforación Durante la Construcción de Pozos Geotérmicos, International Symposium on the Development and Exploitation of Geothermal Resources, (Ed. C. Heard), pp. 349-354
- [13] Santoyo-Gutiérrez, S., García, A.G. and Morales, M.R., 1990 Applied Technology in the Solution of Geothermal Deep Well Completion Problems in the La Primavera Caldera (Mexico), Submitted to Special Issue on Geothermal Calderas of The Journal of Volcanology and Geothermal Research, (Ed. S.P. Verma)
- [14] Mulás del Pozo, P., 1987 El Programa de Investigaciones Geotérmicas del Instituto de Investigaciones Eléctricas, International Symposium on the Development and Exploitation of Geothermal Resources, (Ed. C. Heard), pp. 17-22
- [15] Morales, M.R., Santoyo-Gutiérrez, S. and García, A.G., 1990 Developments in Geothermal Energy in Mexico- Part Thirty One Prediction of Geothermal Cement Durability from Field Tests, J of Heat Rec. Sys. (in press)
- [16] Santoyo, S.G. y Cardoso, M.G., 1988 Implementación de metodologías aplicadas al desarrollo de fluidos espaciadores. In forme IIE 11/287/103, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos
- [17] Santoyo-Gutiérrez, S., Morales, M.R. and Barroso G., 1986 Desarrollo de un Sistema de Deforantes para Controlar la Diferencia de Circulación en el Campo Geotérmico de La Primavera, Salinas Geotermias, Rev. Mex. de Energetica, 5, 2, 193-197
- [18] Hendrickson R.R., Whittemann, B.W. and Fisher, S.H. 1988 Materials and Seal Systems for the Improvement of Unconventional Sealed Geothermal Reservoirs, DOE/ANL/TM-106-88, 13-31
- [19] Santoyo, S.G. y Turró, J.M. 1986 Determinación de los coeficientes de lubricidad en fluidos de perforación de experimentales y de campo, Informe IIE 11/226/86, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos
- [20] Santoyo, S.G. y Jiménez D.A. 1989 Evidencia de la corrosión en Fluidos de Perforación Experimentales, en los Campos Geotérmicos Duzaco y Toluca, Informe IIE 11/236/89, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos

STATE OF THE RENEWABLE ENERGY SOURCES IN ITALY 1990

P.O. MUSTACCHI

UNIVERSITA DI ROMA ADES
VIA DEI GIUBBONARI 23
00186 ROMA, ITALIA.

SCOPE

This review will try to describe the advancement of the renewable energy activities in Italy during the last two decades and to compare the hopes and the objectives of the seventies with the actual achievements of the eighties.

This will allow a tentative extrapolation for the future, to avoid the same errors in the other countries and will revise the priorities for the next decade, at least for the Mediterranean area.

ENERGY SCENARIO

Italy was the country most hit in Western Europe by the energy crisis of 1973-1974: two thirds of its energy consumption (some 120 MTEP, 25% of which go into electrical production) was covered by means of imported Middle Eastern oil. The balance was mostly hydro electric from the Alps. Only two percent of the energy was provided by domestic oil from offshore Sicilian wells providing a poor grade of crude. Some coal mines in Sardinia had been virtually abandoned due to the high sulphur content of their brown coal and the production of forestry fuels, wood and charcoal, was negligible. Three nuclear power stations were operating in 1972 with imported uranium and a token production of geothermal energy from geyser steam was being exploited in Central Italy.

A sudden raise by a factor of 10 in the cost of oil (3 USD to 30 USD per barrel) in years 73 and 74 brought about initially a disruption of the trade balance, followed by inflation averaging 20% per year over the decade 73 to 83. Monetary and tax measures to control inflation inevitably resulted in economic depression and stagnation. Only during the last five years, following OPEC's loss of control, we experienced a sufficient reduction of energy cost. This, combined with an increase of productivity (some 2% per year) and a drastic energy savings program allowed Italy's economy to surface again in the late eighties.

Initially many hopes were placed on the new renewable energy technologies. Estimates of the early seventies optimistically ranged in the 5 to 10% for nineties. In actual fact, no more than meagre 2% has been achieved to date.

The energy scenario has, however, undergone a number of major changes. Even though the absolute energy consumption has increased by 10% in the past twenty years, the energy usage per unit product has undergone decreases averaging 15 to 20%, and this applies to the major industrial products such as steel, cement, glass, ceramics, chemical.

Part of the oil imports were substituted by natural gas imports: two pipelines connect our network to other countries. One undersea line feeds us with Algerian gas and one provides gas from the Siberian oilfields of the Soviet Union. Also, some of our power plants were converted to dual fuel usage: oil and coal imported from China, Poland, the United States and Australia.

An increasing difficulty in siting new thermo-electric power plants caused by exasperated conservationism (environmental hyperconsciousness) and the closure of all except one of our nuclear power plants have brought about a hitherto unknown electricity deficit. Last year Italy had to import some 15% of France half of it produced by nuclear reactors located just beyond the Italian border.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This not only helps in tracking expenses but also ensures compliance with tax regulations.

In the second section, the author provides a detailed breakdown of the company's revenue streams. This includes sales from various product lines and services. The analysis shows that while one product line is currently the primary source of income, diversification into new markets is essential for long-term growth.

The third section addresses the company's financial health and liquidity. It highlights the need for a robust cash flow management strategy to ensure that all operational needs are met. The author suggests implementing regular financial reviews to identify potential areas of concern early on.

Finally, the document concludes with recommendations for future strategic planning. It suggests that the company should focus on innovation and customer service to maintain its competitive edge. The author also notes the importance of staying updated on industry trends and regulatory changes.

those years were a dozen driers (tobacco, hay, corn, etc.) and as many small stills, solar distillers of seawater. The largest of these was a small multi-stage still producing a few hundred liters of freshwater per day.

To complete this picture of solar collector applications, I will mention three full-sized prototypes (about 100 sqm) in each of space heating provided by a combination flat plate collector and heat pump. To provide the required 6 month phase shift in at least two cases, instead of costly water reservoirs, pipes were buried in the soil (U tubes with a 3-m pitch to a depth of 10 m). Water heated by the collectors in the summer heated the soil. In winter water was circulated in the pipes to recuperate heat and feed the heat pumps. Although the economic picture was definitely good, then again the lifetime and reparability of the heat pumps do not and yet compare with traditional components.

The picture of photovoltaic application is at present as bleak as that of thermal collectors.

In 1973 most different manufacturers were kind to loans and at least one producer of high purity silicon (by reduction of silane). At the time, production lines were set up to make single-crystal or polycrystalline silicon cells. Right now a single manufacturer survives (Italsolar) and has a production of about 300 kw peak of polycrystalline cells and some capability of producing strip silicon. One watt peak sells for 400 and the installed costs are still 400 to 450 per peak watt, though the technology has improved. Mostly through automation of precision manual operations (electrode printing, etching, encapsulation, etc.) a more reproducible output has been obtained, and this more than offsets the increase of cost of the raw an actual solar-grade silicon.

The cost of a kw, notwithstanding these developments, remained at least 10 times that of fossil fuel.

So private buyers of photovoltaic panels appeared in Italy. Some of the prototype applications deserve mention: a 100 liter/sour reverse osmosis plant installed by Ansaldo in the island of San Amaro; in Colombia, and number of stations providing cathodic protection to pipelines in unmanicured locations in the desert, a series of isolated farm-houses in Sicily with photovoltaic refrigerator, lighting and TV.

Barring some unexpected technology breakthrough, it is not expected that the photovoltaic market of the nineties will be any better than that of the eighties.

HIDROELETTRICITÀ

The 45 twh produced in Italy by this means are little over 20% of the total electricity demand, as compared with 85% in 1948.

The only change in the picture has been the construction of a number of reversible power stations. For instance, two of these plants (Cristina and Lago del Turco) with 1000 Mw each lift water during the night and regenerate electrical power during the day and the consequent flattening of the peak-to-average load is a major help in solving the energy problems.

Several hundred small hydroelectric power plants (a few as few as a few hundred kw) are being revamped, after being abandoned in the early sixties when the electrical network was nationalized. In most locations these small plants range in investment from 500 to 1000 USD/kw electric of which 40% is electro-mechanical equipment, and civil works and the balance is indirect costs.

In line with this trend, a number of recent R & D efforts have produced improved Pelton, Francis and Kaplan turbines with better quality control.

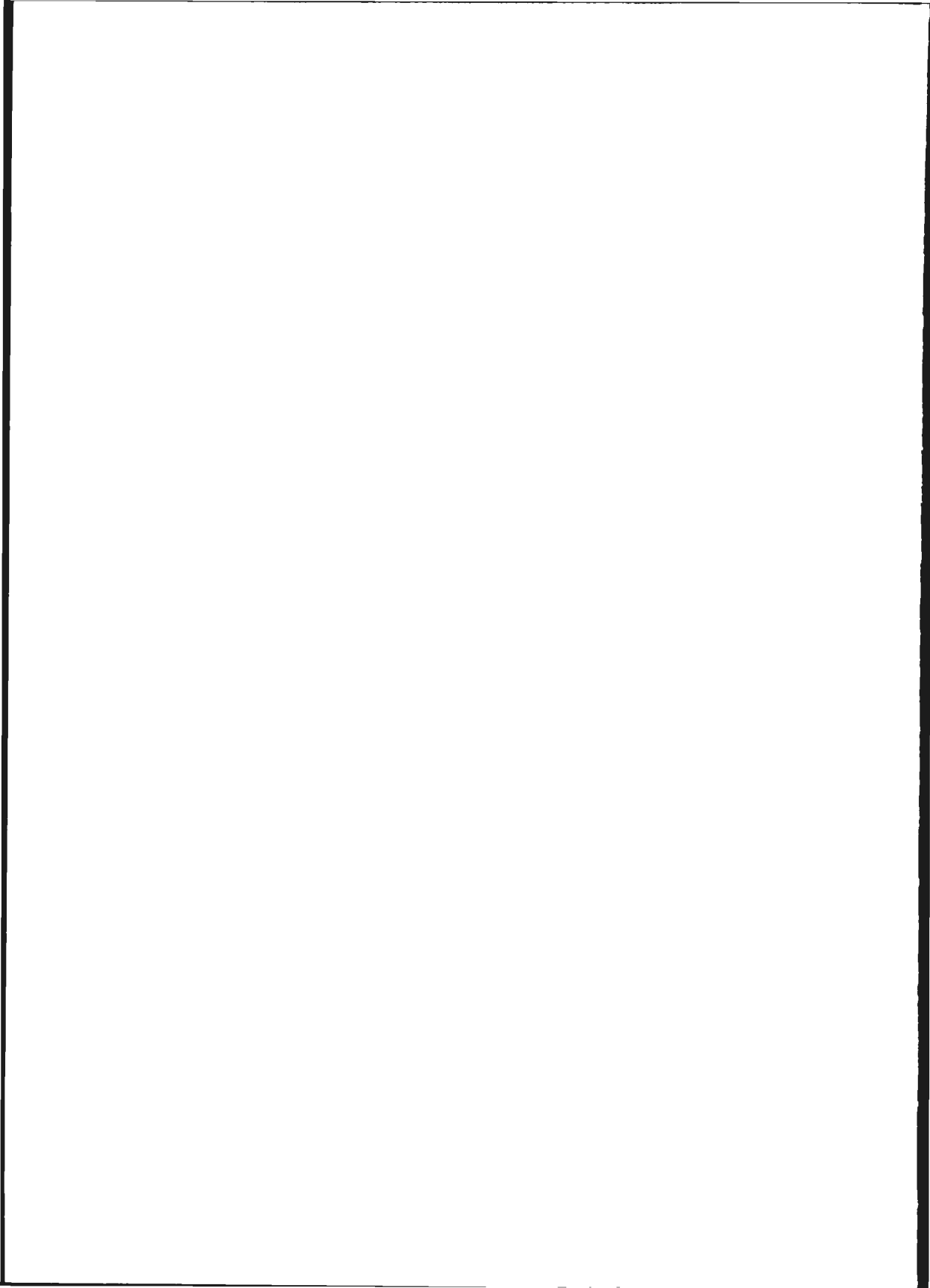
It is foreseen, however, that most of this equipment will serve the export market, especially the developing countries since relatively low available sites are still to be found, with a tolerable degree of environmental impact.

WIND

A complete wind map exists for Italy, based upon 30 years of observations. It shows that a good fifth of the territory has winds with a power between 1 and 2 Mw/sq.mt. per year. Some islands reach the 2 to 3 Mw/sq.mt. range. It was found that in most locations the optimum size of a generator is less than 100 kw, providing an average 750 kw/year per kw installed. The cost of solar electricity in the islands turns out to be 0.15 to 0.2 \$/kwh competitive with diesel generators.

A number of prototype wheels were built by Fiat (50 and 68 kw), by Acritalia (100 and 225 kw) and by Risa e Calzoni (200 kw). Some of these were installed in Italy and some were installed in cooperation ventures in other countries. Some problems have surfaced as to noise, maintenance, lack of standards, but the market may expand in the nineties.

Of course mechanical coupling wind pumps were very popular in the thirties (a few hundred watt each) but were abandoned in



ANALISIS DE COSTOS EN LA CONSTRUCCION DE POZOS GEOTERMICOS.
PARTE I : INFLUENCIA EN LA GENERACION DE ELECTRICIDAD.

José Manuel Morales Rosas, Sócrates Santoyo Gutierrez.

Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Apartado 475. Cuernavaca. Mor. CP 62000

En la actualidad la Geotermia es la única fuente de energía no convencional que por su bajo costo de operación compete con las convencionales. De los costos que intervienen en la generación geotermoeléctrica la construcción de pozos tiene varios conceptos que pueden reducirse para hacer mas competitiva esta energía. En este trabajo se analizan aquellos factores que inciden sobre el costo durante la construcción de los pozos y su impacto en el costo final del la energía generada. (\$/kWh)

INTRODUCCION :

En la actualidad, la geotermia es la única fuente de energía no convencional que, por su bajo costo de generación eléctrica, compete con las fuentes convencionales como se podrá ver en las tablas 1, 2 y 3. El desarrollo tecnológico que existe en las fuentes convencionales es muy grande debido a que cuentan con medios económicos mas fuertes y la energía geotermoeléctrica que ha visto la necesidad imprescindible de desarrollar nuevas tecnologías en todas las disciplinas que le sirven de apoyo para su desenvolvimiento.^(1,2,3)

Se tienen grandes adelantos en geoquímica como apoyo en la explotación geotérmica y también en estudios sobre yacimientos para la definición de la capacidad productora de un campo en particular.

Pero es indispensable construir pozos geotérmicos para alimentar una central geotermoeléctrica y culminar los esfuerzos de exploración; además sirven de base para realizar los estudios de yacimientos.

Los estudios de geoquímica y yacimientos implican fuertes erogaciones que deben ser prorrateadas entre los pozos que se perforan; por lo tanto, la construcción de los pozos debe ser realizada en tal forma que no eleve el costo final de la generación de energía geotermoeléctrica.

En las Tablas 1 y 2 se pueden apreciar los diferentes renglones que constituyen el costo en generación de electricidad a partir de energía geotérmica entre los cuales destaca la construcción de pozos y equipos superficiales.

En las tablas 3 y 4 se exponen los costos del Kwh, geotérmico comparado con otros sistemas de generación a nivel mundial.

COSTOS EN LA CONSTRUCCION DE POZOS :

En la figura 1 se muestran los los costos de construcción de pozos geotérmicos (PG) y petroleros (PP) con los incrementos en el costo a través del tiempo.^(4,5) Se aprecia que los costos en PG se mantienen aproximadamente tres veces mas caros que los PP, aunque individualmente varían entre 1 y 6 veces el costo de PP. El factor de escalación en costo es de 17 % anual.

En 1985 Hiriart,⁽⁶⁾ indicó que los costos de construcción de pozos representan aprox. el 50 % de la inversión total requerida para explotar un campo geotérmico considerando una vida útil en los pozos de 10 años.

El costo de construcción de un pozo es de aprox. 2 500 millones de pesos para la perforación y un 30 % más para mantenimiento y reparación.

En este trabajo nos concentraremos en los diversos factores que incrementan o disminuyen los costos en la construcción de los pozos.

En las figuras 2, presentamos los datos de tiempo total para la construcción de pozos en campos geotérmicos de USA y México.

En la figura 3, presentamos los datos de costo total para la construcción de pozos en campos geotérmicos de USA y México.

En la figura 4, se presentan los apartados en tiempo y costo de las diferentes operaciones de perforación y terminación para un pozo promedio del campo geotérmico de East Mesa, USA.²²

Como referencia en la figura 5, se presenta el programa típico de perforación y colocación de tuberías revestidas para dicho campo de East Mesa, USA.

En la figura 6 presentamos el programa de tuberías, columna litológica y gráfica de avance en la perforación típica en la construcción de pozos en el campo geotérmico de Cerro Prieto SC, México.²³

Resumiendo lo anterior podemos decir que el tiempo de construcción en los pozos depende principalmente de tres tipos de eventos:

- La velocidad de penetración durante las operaciones de perforación.
- El tiempo necesario para resolver los problemas presentados durante las operaciones de perforación.
- El tiempo utilizado durante la introducción y cementación de tuberías de revestimiento.

VELOCIDAD DE PERFORACION :

La velocidad de penetración durante la perforación depende del tipo de formaciones atravesadas, el tipo de fluido de perforación y de los parámetros hidráulicos y mecánicos utilizados durante la operación de perforación.

Existen formaciones de origen volcánico impermeables y duras que exigen propiedades lubricantes en los fluidos de perforación para disminuir la abrasión e incrementar la vida útil de la tubería de perforación y las barrenas.

En el caso de formaciones de tipo sedimentario que son permeables y suaves, los fluidos utilizados deberán presentar características específicas para reducir la probabilidad de inducir pérdidas de circulación.

Así, existen combinaciones de estructuras geológicas que van variando con la profundidad y exigen un fluido apropiado para cada una de ellas en cada pozo.

En la figura 7, se muestran diferentes tipos de fluidos de perforación en relación a su velocidad de penetración en donde se puede observar que el agua es cuatro veces más veloz que un fluido convencional sin embargo, tiene limitaciones en cuanto a su aplicación.

Generalmente, durante la perforación se emplean diferentes tipos de fluidos para hacerla más eficiente. En lo que respecta a los lodos y espumas de perforación es necesario que tengan estabilidad térmica para las zonas geotérmicas de vapor templada.

PROBLEMAS DURANTE LA CONSTRUCCION DE LOS POZOS GEOTERMICOS :

Las estadísticas de los problemas encontrados durante la perforación de pozos geotérmicos incluyen aspectos subjetivos ya que no siempre se registra la frecuencia y la severidad de los mismos de cualquier modo y como referencia se muestran estadísticas de campos en los USA. En la figura 8 se presenta la distribución de probabilidad para encontrar el "Primer problema significativo" en función de la profundidad del pozo para campos en los USA.

Como existe una relación entre estos el tiempo de construcción de un pozo y su costo solamente presentamos en la figura 9 las diferencias en el tiempo total de construcción entre el pozo promedio y algunos pozos en el campo Imperial Valley conforme al tiempo perdido por problemas.

CIMENTACION DE POZOS GEOTERMICOS

El tercer punto importante a considerar es el de la introducción y cementación de las tuberías revestidas, ya que una buena cementación asegura la vida útil de los pozos proporcionando la correcta fijación de las tuberías a las formaciones y reduciendo la acción agresiva de los fluidos subterráneos para evitar problemas de corrosión.

Para lograr esto, es necesario que los sistemas cementantes utilizados sean los adecuados y permanezcan estables a elevadas temperaturas.

El medio geotérmico es sumamente agresivo, las temperaturas entre 100 °C y 400 °C, las salmueras con componentes corrosivos y los gases disueltos en ellas además de los cambios de

temperatura que se presentan al abrir o cerrar los pozos provocan la disminución en la vida útil de los sistemas cementantes que se degradan totalmente dejando desprotegidas las tuberías y con ello aumentan los costos de mantenimiento y reparación en los pozos geotérmicos.

En la fig. 11, se muestra cómo el cemento de construcción a 80 C se degrada, (pierde su resistencia) mientras en un cemento geotérmico la resistencia se va incrementando a medida que la temperatura se eleva hasta los 100 C donde parece estabilizarse.

Generalmente, el tiempo transcurrido desde que se perforan de los primeros pozos hasta la instalación y puesta en marcha de una planta generadora es muy grande; lo cual significa tener una fuerte inversión improductiva por lo que la CFE inició la práctica de conectar plantas de 5 Mw a boca de pozo para mejorar la economía de los proyectos geotermoelectrónicos. (6)

DISCUSION DE RESULTADOS :

En la figura 12 se presenta los resultados del análisis de sensibilidad sobre el costo total de perforación de un pozo modelado por Carson, (4) al modificar algunas operaciones de perforación y terminación. Este tipo de análisis sirve para identificar los objetivos primarios a estudiar y mejorar para reducir los costos en la construcción de pozos.

En la fig. 12, aparece un ejemplo que nos hace ver en forma hipotética cómo el ahorro en el costo de construcción de los pozos permite que la inversión total sea recuperada en menor tiempo y la construcción de mayor número de pozos con el mismo presupuesto.

Mientras la calidad de los Sistemas cementantes será la que incremente o disminuya la vida útil media de un campo geotérmico en particular.

Actualmente se ha visto la la ventaja de instalar plantas de baja capacidad, unas a boca de pozo, otras un poco mayores.

CONCLUSIONES :

Los costos en la construcción de pozos geotérmicos son entre 2 y 4 veces mayores que los de pozos petroleros.

Estos costos son función de la profundidad y el campo geotérmico, aunque en un mismo campo pueden variar grandemente según los problemas

encontrados durante la perforación y terminación de los mismos.

El tiempo de perforación sigue el mismo comportamiento que los costos de perforación aunque las diferencias entre pozos similares pueden llegar a un orden de magnitud.

Los análisis de sensibilidad en los costos de construcción para los pozos sirven para identificar los objetivos primarios a estudiar y mejorar para reducir los costos en su construcción.

REFERENCIAS :

- 1 Guillermo H. Barroso Anaya.
"Influencia del costo por construcción de los pozos geotermicos sobre la generacion de energia geotermoelectrica. Curso sobre lodos y cementos. OLADE-UNAM-CFE-IIE. Capitulo 1. Cuernavaca Mor. Nov. de 1985 Informe IIE/10/11/1884/I /P .
- 2 Mercado S., Arellano V., Barragán D., Hurtado, R.; Nieva, D.; Iglecias, E.; Barroso G. y Fdez. H. "Diagnósticos y pronósticos sobre los aspectos científicos y tecnológicos de la geotermia como fuente de energia en Mexico". Inf.IIE/10/11/3757/I01/F Palmira Mor., 1893
- 3 Sepafin
" Resumen y con clusiones en el programa de Energia 1990 - 2000". Sepafin Méico 1980.
- 4 C. C. Carson y Y. T. Lin.
"Geothermal Well cost and their sensitives to changes drilling and completion operations". Inter. Conference on Geothermal Drilling and Completion Technology. Sandia National Laboratory. Jan., 1981 Albuquerque NM, USA.
- 5 José Manuel Morales Rosas.
" Costos de perforación en pozos geotérmicos ". Reporte Interno IIE-JMMR 86/18. Junio de 1985.
- 6 G. Hiriart
"Economics of wellhead vs. central power plants"; Developments in geothermal energy in México Part 3. J. Heat Recovery Systems 6,191-200 England 1986.
- 7 Bernardo Dominguez, y G. Sánchez
"Comentarios de algunos problemas de algunos problemas de perforación y terminación en pozos en el campo geotérmico de Cerro Prieto BC, Méx. Tercer Simposium sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto B.C. Marzo 24-26 de 1981. pág. 431-454 .

TABLA 1 COSTO DE UN PROYECTO GEOTERMICO PROMEDIO MUNDIAL.

CONCEPTO	COSTOS EN US DOLLAROS	
	TOTAL	US D/KW
a Estudio de prefactibilidad.	1 600 000	32.0
b Estudio de reconocimiento.	230 000	4.5
c Estudio de factibilidad	10 700 000	215.0
d Pozos e inst. superficiales.	15 000 000	300.0
e Transporte y evacuacion de fluidos.	2 000 000	40.0
f Central geotermoelectrica.	76 000 000	725.0
g Linea de transmision.	1 900 000	38.0
TOTALES	67 680 000	1 354.5

TABLA 2 COSTOS PUBLICADOS POR LA ONU

CONCEPTO	US DLLS.	(1981)/KW	
		minimo	maximo medio
a Exploración.	8.5	23	15.8
b Producción de fluidos.	180.0	600	390.0
c Red de separación y captación	36.0	290	163.0
d Central eléctrica	480.0	900	690.0
e Tratamiento y eliminación del efluente.	36.0	240	138.0
T O T A L E S	740.5	2053	1396.8

TABLA 3 COSTOS DEL KWH EN DIVERSOS SISTEMAS DE GENERACION.

COSTO	GEOTERMIA NUCLEAR HIDRO. CARBON				
	US D /Kw	110.0	225.0	250.0	150.0
Capital					
Producción					
US Mills		4.86	6.5	4.55	5.92
D /KWH					

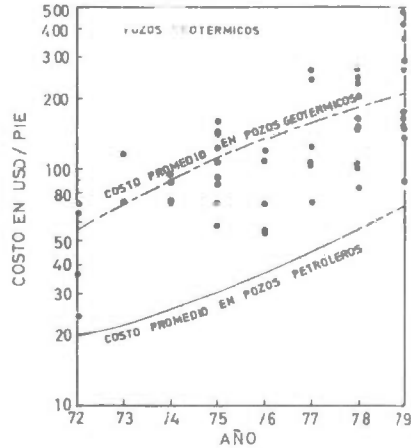


Fig. 1 ESCALACION EN COSTO POR POZO

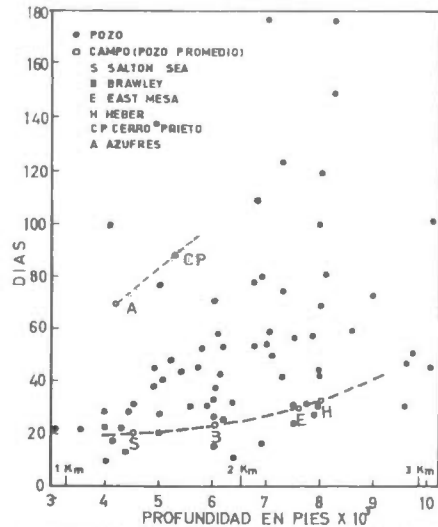


Fig. 2 TIEMPO TOTAL PARA CONSTRUCCION DE UN POZO

TABLA 4 COSTOS ESTIMADOS DE GENERACION PARA NUEVAS PLANTAS (pesos por KWh)

COSTO DE:	Geo-térmica	Carbo-eléctrica	Hidro-eléctrica	Nucleo-eléctrica	termo-eléctrica
INVERSION	0.25	0.18	0.44	0.32	0.12
EXPLOTACION	0.12	0.17	0.04	0.05	0.04
COMBUSTIBLE**	--	0.22	---	0.15	0.13
TOTAL	0.37	0.47	0.48	0.52	0.29

TABLA 5 COSTOS DE GENERACION GEOTERMIO-ELECTRICA EN CERRO PRIETO. Precio de 1962

CONCEPTO	COSTO/KWH
Pozos y reposición de pozos y vaporductos.	0.3407
Inversión en la central	0.5000
Explotación del campo.	0.2127
Operación en la central.	0.2955
TOTAL	1.3489

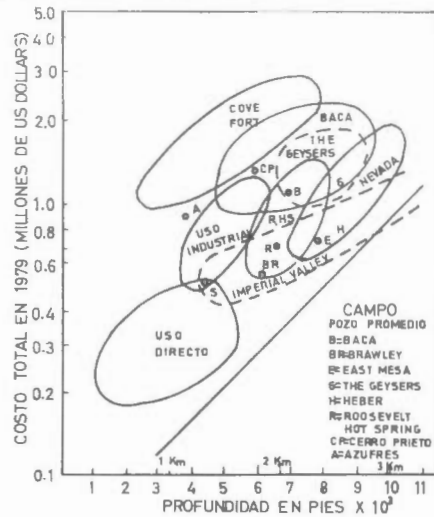


Fig.3 COSTO DE POZOS GEOTERMICOS POR REGION



Fig.4 TIEMPO DE PERFORACION Y COSTO DE OPERACION POZO MODELO EAST MESA

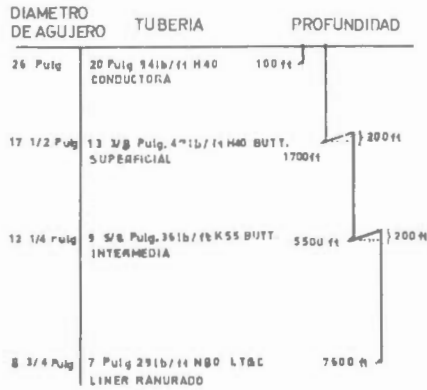


Fig. 5 DISEÑO DE POZO PARA EL CAMPO EAST MESA

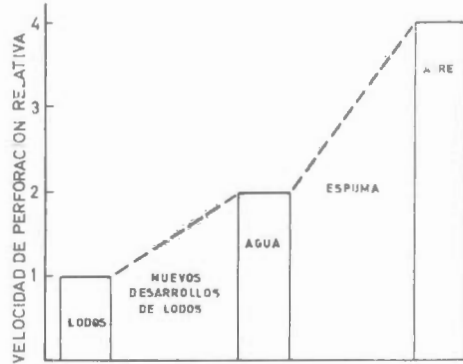


Fig. 7 VELOCIDAD DE PERFORACION CONFORME AL TIPO DE FLUIDO UTILIZADO

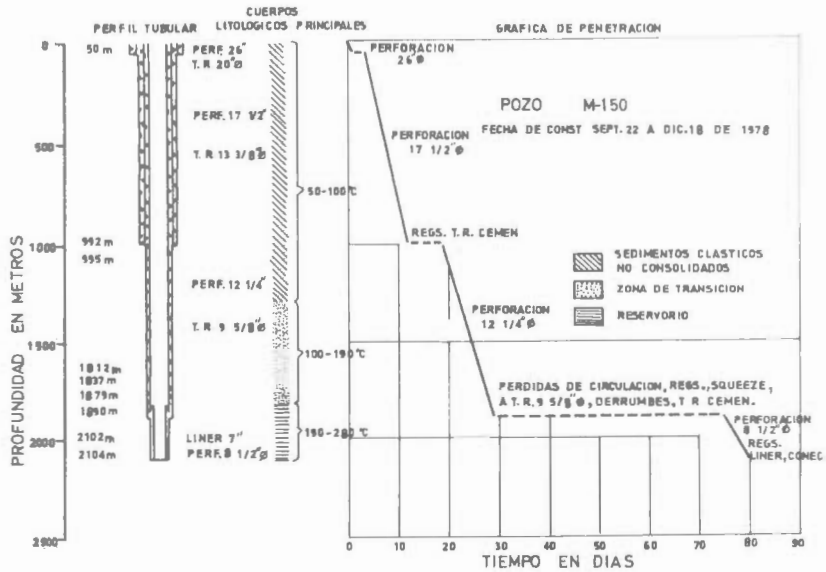


Fig. 6 PERFIL TUBULAR, LITOLOGIA Y DIAGRAMA DE PENETRACION PARA EL POZO M-150

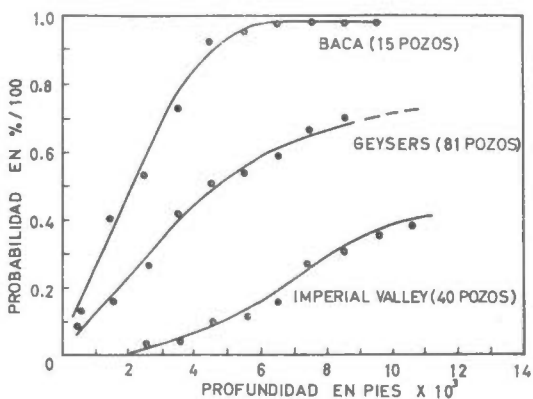


Fig.8 PROBABILIDAD DE ENCONTRAR EL PRIMER PROBLEMA

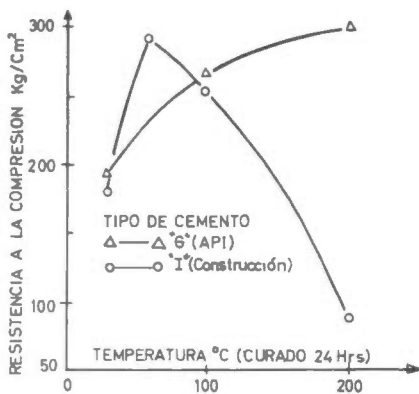


Fig.10 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA RESISTENCIA DE LOS CEMENTOS

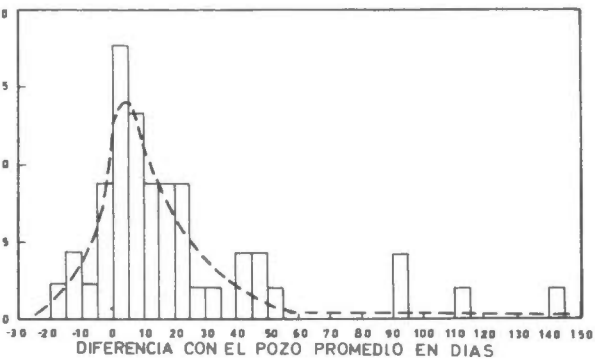


Fig. 9 DESVIACION DE LA MEDIA PARA TIEMPO DE PERFORACION DE POZOS REALES (Imperial Valley)

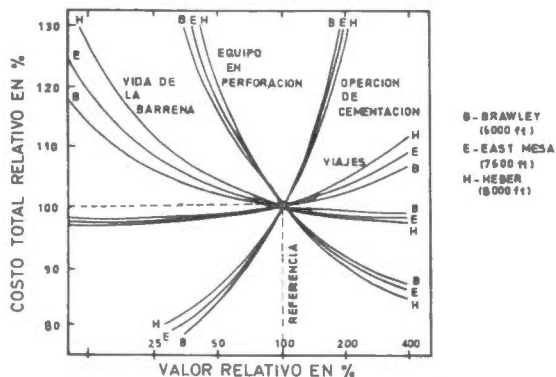


Fig.11 ANALISIS DE SENSIBILIDAD EN COSTOS DE POZO PARA EL CAMPO IMPERIAL VALLEY

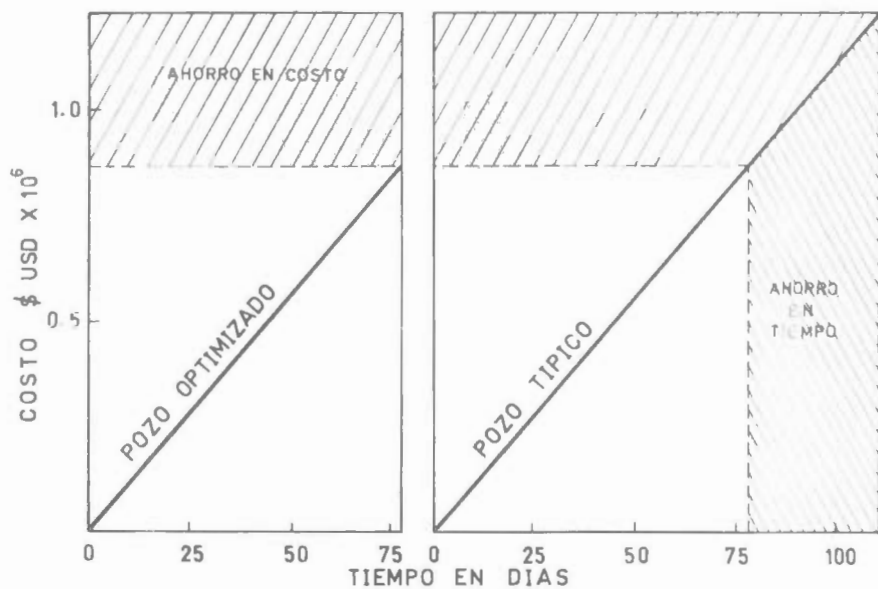


Fig.12 POSIBLES AHORROS EN TIEMPO Y COSTO AL CONSTRUIR POZOS CON MENOS PROBLEMAS.

**ELABORACION DE UNA CARTA DE USO POTENCIAL DE LA ENERGIA
EOLICA EN MEXICO**

G. Pérez*, R. Saldaña

Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito Exterior, Cd. Universitaria
01000 México, D.F.
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Apdo. Postal 475, Col. Centro
Cuernavaca, Mor., C.P. 62000
MEXICO

Con objeto de dar a conocer un panorama general de las áreas de aprovechamiento potencial del recurso eólico, de carácter nacional, el -- Instituto de Geografía, en colaboración con el Instituto de Investigaciones Eléctricas, elaboró una carta de uso potencial de la energía -- del viento. En este trabajo se presenta la metodología empleada y -- los resultados obtenidos.

INTRODUCCION

La crisis económica mundial se hace más -- patente en países en vías de desarrollo, entre los que se encuentra México que -- cuenta con grandes reservas de combusti-- bles fósiles, energéticos que según, J.T. Mac Mullan, R. Morgan y R. Murray (1981), en el contexto mundial son finitos.

La explotación desmedida de los recursos del subsuelo en los países que poseen recursos considerables ha producido en los últimos decenios algunos problemas de tipo ecológico-económico, por lo que nuevamente se ha centrado la atención mundial en la utilización de otras fuentes de energía tales como la solar, eólica, biomasa y microhidráulica, que en un momento -- dado pueden coadyuvar a optimizar el uso de las ya existentes.

Estas fuentes naturales de energía representan una alternativa real desde el punto de vista técnico-económico, y si se manejan de manera adecuada pueden convertirse en los recursos con mayores perspectivas. En varios países del mundo ya se utiliza comercialmente la energía solar y la eólica en gran escala. Un buen ejemplo sobre la explotación de este último recurso lo representa los Estados Unidos, país -- donde existe una capacidad instalada, para generación eléctrica, mayor a los 1700 MW a base de energía eólica. Dicha capacidad está formada por varias plantas constituidas por una gran cantidad de aerogeneradores de mediana capacidad mejor conocidas como "granjas eólicas".

Desde hace aproximadamente quince años se inician propiamente las investigaciones,

en diversas áreas, dentro de nuestro territorio.

Por lo anterior, se consideró interesante hacer un estudio general sobre la distribución geográfica y la aplicación del recurso eoloenergético, teniendo como objetivo estimar la potencia disponible del viento, determinando las áreas geográficas con posibilidades de uso del recurso.

Las investigaciones sobre el viento como energético han sido realizadas por varios investigadores interesados en el tema, y en algunas de ellas se estima la intensidad de la energía eólica en razón de la influencia que ejerce el viento sobre estructuras de edificios; estudiando asimismo, su distribución en México.

Sánchez Sesma (1988) presenta un mapa con isolíneas que determinan la potencia mensual disponible del viento en México, tomando en cuenta el viento geostrofico, su área de influencia y la altitud sobre el nivel del mar, sin embargo, ignora el factor topográfico.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas ha llevado a cabo estudios en diversas zonas del país en las que existen posibilidades para la explotación del potencial eólico y, además ha desarrollado prototipos de sistemas conversores de energía eólica de pequeña capacidad, y equipos de anemometría.

El propósito del presente estudio es calcular de manera general el potencial eólico, en diferentes regiones, y mediante isolíneas delimitar áreas de cierta densidad de potencia. El conocer el comportamiento energético del viento, aún de modo general, permitirá determinar las zonas geográficas de México que presentan --

mayor potencial eólico susceptible de ser aprovechado para diversos fines.

DISPONIBILIDAD DE INFORMACION ANEMOMETRICA.

Los datos de velocidad del viento fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional, para el periodo 1971-1979. Los observatorios efectúan tres observaciones al día y las estaciones climatológicas, generalmente una.

La velocidad del viento en ocasiones se registra en anemocinémógrafos y anemógrafos cuyos sensores se encuentran instalados en torres de 4 a 10 metros de altura sobre el suelo.

Se seleccionaron aproximadamente 76 sitios de observación considerando los valores de velocidad media y máxima diaria del viento, y se hizo una evaluación cuantitativa que permitió el trazo tentativo del mapa de potencia del viento, escala 1:8000000.

METODOLOGIA

De acuerdo con el objetivo planteado de conocer la distribución geográfica del recurso eólico, la metodología se basa en:

- 1) La estimación de la potencia media disponible en el viento, por unidad de superficie perpendicular a su dirección, en los sitios donde se ubican los observatorios del SMN, a partir de la función de densidad de probabilidad de Weibull, descrita por los valores de los factores K y C obtenidos de los valores de velocidad media y máxima.

La potencia está dada por la ecuación:

$$P = 1/2 \rho v^3$$

donde:

- P = Potencia disponible (W/m²)
- ρ = Densidad del aire (constante = 1.225 kg/m³, al nivel del mar)
- V = Velocidad del viento (m/s)

La potencia media disponible en determinado período puede ser estimada a partir de la siguiente ecuación:

$$\bar{P} = \int_0^{\infty} 1/2 \rho v^3 p(V) dv$$

donde:

- \bar{P} = Potencia media disponible (W/m²)

siendo:

$$p(V) = (K/C) (V/C)^{K-1} \exp (-(V/C)^K)$$

En la que:

p(V) = f.d.p. de Weibull

- K = Factor de forma de la f.d.p. de Weibull (adim)
- C = Factor de escala de la f.d.p. de Weibull (m/s)

- 2) La superposición con la carta altimétrica para poder encontrar la relación entre el comportamiento del viento en superficie y la topografía a meso y microfísica, así como la variación del gradiente termodinámico en los diferentes pisos térmicos.
- 3) La preparación de una carta preliminar de isolinias de la potencia media disponible, dando se muestra la distribución del recurso, por lo que se analizaron las cartas sinópticas diarias del Servicio Meteorológico Nacional e imágenes de satélite en las que es posible visualizar situaciones de entrada de masas de aire que contribuyen a aumentar la velocidad del viento superficial.

El análisis concienzudo de la sinópsis atmosférica superficial del país permitió observar que las perturbaciones más frecuentes que afectan a México en verano son: los ciclones tropicales y las masas del este que viajan junto con los vientos alisios. En invierno algunas masas de aire frío procedente del norte, cuyas velocidades llegan hasta 50 y 60 km/hora, invaden la parte septentrional del Golfo de México.

VARIACION EN LA VELOCIDAD DEL VIENTO.

Los dos centros anticiclónicos de alta presión, del Atlántico y del Pacífico, situados a una altitud aproximada de 10° Lat. Norte, constituyen la genesis de los vientos alisios del este y los vientos del oeste, que sopan en amplias regiones del país y producen modificaciones en la velocidad de los vientos dominantes, aünadas a la fricción con el suelo y las rugosidades del mismo, lo que da lugar a turbulencias (N. Rodríguez, 1974).

La variación diaria y de ciclo corto de la velocidad del viento se presenta con mayor intensidad en determinadas regiones geográficas donde la convección local es causada por la diferencia de temperatura entre las capas bajas y altas de la atmósfera, lo cual es frecuente.

En algunas áreas costeras y del interior de nuestro territorio existen períodos de velocidad constante con vientos máximos superiores a los 10 m/s, principalmente en invierno. En los meses de verano y otoño se atenúa la intensidad, aunque se mantienen valores de 4 a 6 m/s en promedio.

Las áreas con viento poco intenso se caracterizan por tener condiciones topográficas especiales que ocasionan mal drenaje del aire, además de períodos de estabilidad prolongados, lo cual produce un viento débil con velocidades de 1 a 2 m/s; no obstante, existen vientos más intensos de ciclo diurno en los que la velocidad varía de acuerdo con las condiciones atmosféricas locales y el grado de rugosidad del terreno.

RESULTADOS.

En la figura 1 se muestra un mapa donde se presenta geográficamente, en forma general, la distribución del potencial eolenergético nacional.

La isolinéa de potencia mayores a 250 - - Watts/m² se localizan en los extremos norte y sur del Istmo de Tehuantepec. En la parte norten forman una faja angosta que se extiende paralela a la costa, desde --

los límites con las sierras de Teziutlán y Zacapoaxtla, hasta la vertiente sur de la Sierra de los Tuxtlas.

En enero (mes más frío) el viento más fuerte es del norte y alcanza velocidades de 10 m/s, en los meses subsecuentes la intensidad va disminuyendo en forma gradual, teniendo su mínimo en agosto y septiembre.

La alta potencia en el sur del Istmo se presenta en un área que se extiende desde las lagunas Superior e Inferior, en las costas de Oaxaca, hasta la base sur de la sierra de Nilotpec o Atravesada.

En la mayor parte del Istmo la energía del viento es considerable ya que se forma un embudo topográfico que da lugar a un corredor eólico caracterizado por sus altas velocidades.

Francisco H. y Gilberto A. (1988) mencionan que en la mitad seca del año, en la zona de La Ventosa, Oax. situada en la base sur de la sierra de Nilotpec o atravesada, sopla un viento de fuerte intensidad, de hasta 86 km/hora (23.8 m/s) lo que equivale a borrasca fortísima, de acuerdo con la escala de Beaufort.



FIGURA 1

La zona de la Ventosa se encuentra a merced de los vientos procedentes del Pacífico y del Golfo de México, que atraviesan la sierra de Nitepec en ambos sentidos - debido a que su altitud rebasa levemente los 800 msnm; sin embargo, lo accidental del relieve modifica su intensidad.

Nestali Rodríguez (1974), en su estudio - realizado sobre el efecto de la topografía en el viento, encontró que, al aumentar la rugosidad del terreno aumenta también el nivel de turbulencia.

En el extremo sur del Istmo los vientos - más intensos se presentan de noviembre a febrero, con valores de más de 8 m/s, en promedio. Existen valores de 150 a 250 - Watts/m² en una pequeña área del noroeste del estado de Quintana Roo, incluyendo su porción insular; en la llanura costera septentrional del Golfo de México, donde forma una franja que se angosta en el espolón que forman la sierras de Teziutlán y Zacapoaxtla, y en el extremo noroeste del Valle de México en la sierra de Pachuca.

La potencia disponible entre 100 y 150 -- Watts/m² únicamente se ha localizado en la costa occidental de la península de Baja California, en las inmediaciones de -- Punta Eugenia.

Los valores mínimos 40 a 100 Watts/m² -- abarcan una amplia zona en el centro-occidente del territorio nacional, que comprende la cuenca del Balsas y los valles intermontanos de la mesa central de México, caracterizados por la diversidad topográfica, lo que imprime condiciones climáticas particulares: mala ventilación debido a la frecuencia de inversiones térmicas y alto porcentaje de calmas en el invierno. Estos valores también se extienden hasta las llanuras boreales.

En la parte suroccidental de la península de Baja California, por influencia de la corriente fría se abate la velocidad del viento y se producen largos períodos de -- estabilidad y mayor frecuencia de calmas.

Otra zona que presenta valores menores es la llanura tabasqueña y la península de Yucatán (excepto su parte noreste), esta zona se conecta con la porción centro-occidental por medio de un corredor limitado por la Sierra Madre del Sur y las es-- tructuras occidentales de la Sierra Volcánica Transversal.

PERSPECTIVAS DEL RECURSO VIENTO.

La utilización de la energía se ha extendido a las fuentes primarias que ha retomado nuevos impulsos; así, la energía -- eólica es motivo de interés científico y comercial.

En forma relativamente reciente se construyeron aerogeneradores con el propósito de convertir la energía eólica en eléctrica. Uno de los primeros países que -- realiza trabajos sobre producción de electricidad por medio de molinos viento es -- Dinamarca, y otros como Holanda, Francia, Inglaterra y Rusia. A raíz de la Segunda Guerra Mundial, y más adelante por el auge petrolero, se frena su desarrollo. Actualmente se sigue utilizando la energía eólica en los países pioneros en su uso, con fines de electrificación; los avances en los aerogeneradores actuales permiten una mayor captación de la energía, así como el funcionamiento con viento variable, lo cual vence uno de los principales obstáculos para su máximo aprovechamiento.

En México, la energía del viento ha tenido uso unifamiliar, principalmente en las llanuras del norte; el tradicional molino de aspas múltiples se sigue usando en el bombeo de agua para fines domésticos.

La transformación de la energía eólica en mecánica y eléctrica requiere de equipos conversores más elaborados, con tecnología avanzada, que los haga más eficientes.

Algunas instituciones cuentan con sitios experimentales donde se estudia el aprovechamiento de este recurso en la electrificación, bombeo de agua potable o de riego, y molienda de granos.

En el Instituto de Investigaciones Eléctricas se han diseñado y construido prototipos de sistemas conversores de energía eólica que se han puesto a funcionar en sitios donde se han realizado estudios -- previos para su instalación.

La Ventosa, Oax., como se mencionó anteriormente, posee un buen nivel de potencialidad eoloenergética, por lo que se ha estudiado la posibilidad de instalar una amplia red de aerogeneradores para la producción de energía eléctrica en gran escala.

En la comunidad ecológica de Oyameyo, situada en los límites entre el Distrito Federal y Morelos, está funcionando un aerogenerador Colibrí AXP, el cual produce 6000 Watts de potencia y proporciona electricidad a cinco casas, en cantidad suficiente para satisfacer todos los servicios.

CONCLUSIONES.

El trazo de la carta con isolinias de potencia hizo posible delimitar las áreas -- con mayores perspectivas de aprovechamiento eoloenergético. Por tanto, la disponibilidad del recurso se localiza en diversas zonas con niveles de potencia

≥ 100 Watts/m². Entre las que destacan están el Istmo de Tehuantepec, noreste de Quintana Roo, centro-sur del estado de --

Zacatecas y límite noreste del Valle de México.

Se pretende utilizar esta energía en la generación eléctrica a pequeña y gran escala.

Cabe señalar que en diferentes regiones geomórficas existen ciertos lugares en los que el potencial eólico es susceptible de ser aprovechado ventajosamente desde el punto de vista económico; sin embargo, para definirlos son necesarios estudios más detallados.

Finalmente, se llega a la conclusión de que el viento es un recurso mal aprovechado en nuestro país, a causa de la falta de conocimiento de sus características y distribución geográfica; sin embargo, constituye una alternativa energética importante en diversas regiones de México por su costo competitivo, con alternativas convencionales, teniendo la ventaja de no causar perturbación al medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA.

Asociación Nacional de Energía Solar
La Revista Solar. La Energía Eólica: su naturaleza y sus aplicaciones.
No. 15 Invierno de 1988.
México, D.F.

Gómez, V.H. El Colibrí AXP.
Revista Información Científica y Tecnológica 1983.
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT 5 (82)
México, D.F.

Hernández, F. y Alcántara, G.
Interpretación de los sistemas de presión con el viento, en la zona de "La Ventosa, Oax. y su repercusión en la climatología local".
Memorias del Contreso Interamericano de Meteorología y Congreso Mexicano de Meteorología.
Organización Mexicana de Meteorólogos.
Noviembre 1988.

Mac Mullan, J.T. Morgan, R. y Murran, R.B.
Recursos Energéticos
Editorial Blume
Barcelona 1981

OLADE
Manual de Meteorología Eólica
Serie Documentos D/PLACE No.19
Quito, Ecuador. 1982.

Saldaña, R.
Perspectivas de Utilización de la Energía Eólica en México.
Memorias de la 1a. Reunión Nacional de Ingeniería en Energía y Recursos Energéticos
Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
Facultad de Ingeniería

Editorial Universitaria Potosina.
ISBN-968-6194-32-0 0167-90014-A0022.
Marzo, 1990.
San Luis Potosí, S.L.P.

Saldaña, R., Fernández, M.
Identificación Preliminar de Áreas con Potencial Eólico en la Península de Baja California.
Memorias de la XIV Reunión Nacional de Energía Solar
La Paz, B.C.S.
Octubre, 1990.

Saldaña, R.
La Energía Eólica: una realidad de nuestros tiempos.
(por publicarse)
La Revista Solar.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial statements. This includes not only sales and purchases but also expenses and income. The document provides a detailed list of items that should be tracked, such as inventory levels, accounts payable, and accounts receivable. It also outlines the proper procedures for recording these transactions, including the use of double-entry bookkeeping and the importance of regular reconciliations.

The second part of the document focuses on the analysis of the recorded data. It explains how to interpret the financial statements and identify trends and anomalies. Key indicators such as profit margins, liquidity ratios, and debt-to-equity ratios are discussed, along with their implications for the business's financial health. The document also provides guidance on how to communicate this information to stakeholders, including management and investors, and offers suggestions for improving financial performance based on the analysis.

In conclusion, the document stresses the importance of a systematic and disciplined approach to financial record-keeping and analysis. It encourages businesses to adopt best practices and seek professional advice when needed to ensure compliance with accounting standards and to make informed decisions based on accurate financial data.

Aprovechamiento de Desechos Sólidos Urbanos para Generación Eléctrica

Ana Ma. Martínez, J.L. Arvizu

Instituto de Investigaciones Eléctricas
Departamento Fuentes No Convencionales de Energía
Apdo. Postal 475, Cuernavaca, Mor., C.P. 62000
MEXICO

RESUMEN

En este trabajo se analizan los factores que intervienen en la generación de electricidad, a partir de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), -- con vistas a definir el campo de aplicación de la incineración de los RSU, y la combustión del biogas de relleno. Este análisis indica que la cantidad de electricidad generada por incineración, solo puede ser alcanzada de un 35% a un 85% por la combustión de biogas. Sin embargo la inversión requerida para los sistemas de incineración, es de dos a tres veces más costosa que la de los sistemas de biogas.

INTRODUCCION

En las décadas de los 70's y 80's se construyeron en E.U.A. y Europa un número considerable de plantas para la generación de energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Dentro de estas plantas se incluyen tanto sistemas para la producción de vapor, como para la recuperación de biogas producido durante la descomposición de los RSU dispuestos en rellenos sanitarios.

La producción de energía de estas plantas no fue la razón principal de que hayan sido construidas, sino la disposición final y eliminación sin problemas de los RSU. La recuperación de biogas se inició para evitar riesgos acompañados por el escape incontrolado del gas de los rellenos, encontrando posteriormente la factibilidad de ser aprovechado para la generación de energía.

En nuestro país se producen alrededor de 55 mil toneladas de RSU por día, y en la capital cerca de 10 mil ton/día son recolectados y enviadas a sitios de disposición final, que han sido convertidos en potenciales fuentes de energía, al contemplarse la posible recuperación y aprovechamiento del biogas. Dada la escasez creciente de sitios de disposición cercanas al D.F., se ha contemplado la posibilidad de que estos RSU sean incinerados para la generación de electricidad.

Existe una serie de factores tanto para la recuperación y aprovechamiento del biogas, como para la incineración con recupera-

ción de calor, deben ser considerados y que en determinado momento son decisivos para su aplicación desde el punto de vista económico. En este trabajo se analizan estas tecnologías y sus posibilidades de ser aplicados para el manejo y disposición final de los RSU de la Ciudad de México.

CARACTERISTICAS DE LOS RSU.

Las características físicas y químicas de los Residuos Sólidos Urbanos son fundamentales para la planeación e implantación de una tecnología tendiente a su manejo y disposición como son los casos en cuestión, y están determinadas por una gran variedad de factores tales como condiciones climáticas, niveles de ingresos económicos, tipo y disponibilidad de alimentos y sistemas de recolección entre otros.

En E.U.A. y Europa los RSU contienen del 45 al 75% de material biodegradable, en tanto que en países en vías de desarrollo estos valores van del 75 al 90%. Del mismo modo, el contenido de humedad es mayor en países en desarrollo, que en países desarrollados. En E.U.A. el valor típico de este parámetro es del 25%, en tanto que en países en desarrollo fluctúa del 40 al 80%. Esto da como resultado que el poder calorífico de los RSU sea mayor en países industrializados. En la Tabla 1 se presentan las características de los RSU de diferentes países, en ella se pueden comprobar las afirmaciones expuestas. El contenido de humedad de los RSU de origen doméstico capitalino es del 55%, que comparada con el típico valor de este pa-

rámetros en E.U.A., resultó alto el nacimiento.

TABLA 1

Composición en Por ciento de la Basura Procedente de Varios Países

PAIS DE ORIGEN	USA	INDONESIA	IRINIDAD Y TORAGO	INDIA	SIERRA LEONA	BRASIL	MEXICO
METALES	8	2	9	1	6	—	2.1
PLASTICOS	8	6	3	—	4	8	5.8
PAPEL Y CARTON	41	8	26	6	15	24	17.8
POTRECIDORES Y TEXTILES	—	—	—	—	—	—	—
RESIDUOS DE JARDIN	26	74	44	57	60	61	48.1
OTROS ORGANICOS	8	8	6	3	1	4	2.7
INORGANICOS	2	—	1	31	11	14	20.2
VIDRIO	8	2	4	—	1	—	3.4

GENERACION DE ELECTRICIDAD CON EL BIOGAS DEL RELLENO.

Tradicionalmente los RRV se disponen a cielo abierto en hondonadas y barrancas, creando un gran flujo de viento hacia el medio ambiente y la salud, incluyendo olores, humo de la combustión espontánea, o procesos de contaminación de mantos freáticos, contaminación de enfermedades por moscas, ratas, aves, insectos depredadores y papena iboras.

Por lo cual en sus últimos años estos sitios de disposición incontrolada, se han convertido a sitios de disposición controlada que han sido cubiertos para evitar la mayoría de los problemas citados. Muchos de estos cubiertos se ven desde hace años leños de estructura gruesa y algunos de ellos han sido cubiertos recientemente, por lo que existe la posibilidad de recuperar el biogás que se está produciendo para la generación de electricidad.

Para aprovechar el biogás es necesario construir e instalar canal y tubería para recolectar y conducir al área de aprovechamiento (Fig. 17). El biogás es una mezcla de gases constituida principalmente por metano, hidrógeno de carbono, oxígeno, dióxido y otros gases presentes en cantidades bajas, siendo el elemento más activo el metano y oxígeno y existen como oxidadores de la posible contaminación del biogás por la liberación de agua.

Este punto requiere importante del biogás y es el agua de agua, que deberá repararse del biogás a ser empleado en la generación

de electricidad. Uno de los gases presentes en cantidades basta que deberá ser retirado es el H₂S, basta sus efectos corrosivos en el equipo y emplear.

Existe controversia acerca de la separación del CO₂ del biogás para incrementar el poder calorífico del biogás, en gran medida esta práctica es común y recomendada.

Para condiciones normales el biogás de una generación 55% de metano, 15% CO₂ y trazas de otros gases, tiene un poder calorífico de 4 800 a 5 500 Kcal/m³, que dan lugar a la generación de 1.25 kw/h por máquina con una eficiencia del 30% al 35%.

El uso del biogás para generación de electricidad puede ser empleado en MCI, en las zonas de gas o en plantas de vapor. Las MCI pueden operar con 1000 de potencia, con capacidad de 150 kw a 1.5 MW en plantas mayores se emplean varias MCI con una capacidad adecuada. Existen plantas de relleno de 3000 m³ con capacidad hasta de 3 MW.

El empleo de sus plantas de gas con biogás dan como resultado mayor capacidad de generación que se de 2 a 4 MW por turbina, sin embargo se han instalado con una turbina de este tipo para dar potencia de 6 a 8 MW.

Uno de los aspectos críticos en la generación de electricidad con biogás es el tiempo, en la instalación existente con un punto a la cantidad de biogás que se puede esperar de un relleno determinado, se para agua y clima de producción en que los RRV

inician su descomposición anaerobia y con secuente producción de biogas, uno o dos años después de haber sido depositados, - dependiendo de las condiciones climáticas de su contenido de humedad y material bio degradable.

En promedio la producción de rellenos de E.U.A. y Europa oscila entre 3 y 10 m³/ton.año existiendo casos extremos de 2 a 3 m³/ton.año en el Sur de la Florida (clima húmedo).

Para estos casos extremos la vida productiva de un relleno es de 15 a 20 años y de 6 respectivamente. En Sao Paulo Brasil se ha estimado que la vida productiva de un relleno también es de seis años, durante su primer año productivo se genera el 56% del total de biogas esperado por el relleno.

Se ha estimado que el rendimiento de biogas es de 0.727 biogas por g de sólidos volátiles (SV) destruidos, con un contenido del 60% de metano, dando por resultado un rendimiento de 0.436 l de metano por g de SV destruidos. Asumiendo valores de 0.25% de SV por ton. de RSU y una recuperación del 35% del metano y biogas generados, implican que es posible recuperar al rededor de 38 m³ de metano por ton. de RSU ó 64 m³ de biogas por ton. de RSU dispuestos en el relleno.

PRODUCCION DE ELECTRICIDAD MEDIANTE INCINERACION DE RSU.

La incineración de la basura para la producción de electricidad es considerado -- por algunos especialistas como el sistema más caro de descomposición de RSU y generación de energía. Sin embargo fluctúan de las 500 ton. de basura/día a 3000 ton./día, sin embargo existen plantas con módulos de capacidad inferior a las 100 ton/día.

Las plantas de incineración dejan un residuo sólido denso que no presenta peligro para la salubridad del entorno. No obstante los hornos de incineración requieren de equipos auxiliares destinados a -- neutralizar los contaminantes arrojados por los humos.

La destrucción de la basura por incineración pierde interés cuando el contenido de humedad es elevado, por lo que la combustión se hace difícil, debiendo recurrir al aporte de una cierta cantidad de combustible que afecta a la economía del proceso.

Nuevamente las características de los RSU son determinantes en el tipo de incineradores y la cantidad de energía que se puede obtener (Tabla 2). En países desarrollados la calidad de la basura es elevada es decir que su contenido de humedad es bajo (25%) dando por resultado poderes ca-

loríficos medios de 2 500 Kcal/Kg, dando la oportunidad de tener un rendimiento mínimo de 400 a 450 kWh/ton. En tanto que en países en vías de desarrollo el contenido de humedad de los RSU es elevada - (55% - 65%), incidiendo en poderes caloríficos de 1 400 - 1 700 Kcal/Kg y rendimientos de 210 a 272 kWh/ton. de RSU.

TABLA 2

Rendimiento de Energía Eléctrica por Incineración de RSU de Diferentes Propiedades y Orígenes

	HUMEDAD %	PCI Kcal/Kg	ENERGIA GENERADA kWh/Ton
EUROPA	-	2 000	300
E.U.A.	25	2 500	450-750
EUA/EUROPA (Refuse Derived Fuel) 60-80% Papel cartón.	-	3334-4167	472-730
E.U.A. Fabricantes de Incineradores Rotatorios	56	1 667	210
TAIWAN	56	1 728	272

Es posible mediante clasificación y separación de la basura producir un combustible determinado RDF (Refuse Derived Fuel) el cual está constituido de un 60% a 80% de papel y cartón, y un poder calorífico de 3 334 - 4 167 Kcal/Kg.

Los RSU con poder calorífico de 2 500 - - Kcal/Kg son destinados para plantas de capacidades de 500 a 3 000 ton/día y potencias de 10 a 80 MW, requiriendo en promedio 40 ton/día por cada MW instalado.

La calidad del vapor producido por la incineración de los RSU para generación eléctrica es de 600 a 650 psi y 350 - 450°C.

Existe una amplia variedad de incineradores para los RSU, sin embargo las recomendables para RSU con alto contenido de humedad de hasta 65%, son los incineradores rotatorios (Fig. 2), existen en el mercado con capacidades inferiores a las 100 ton/día, y superiores a 500 ton/día.

En términos generales la incineración de los RSU puede efectuarse cuando el PC de los RSU es superior a 1 400 Kcal/Kg, con aportación de calor externo cuando está comprendido entre 1 100 y 1 400 Kcal/Kg,

y se debe descartar cuando es inferior a - 1 100 Kcal/Kg.

ASPECTOS ECONOMICOS.

Al analizar la factibilidad de la generación de electricidad por combustión del biogas de relleno de RSU, se deben evaluar los costos de inversión y operación, los ingresos por venta de energía y los beneficios casi siempre ignorados o subestimados por concepto de beneficios sociales derivados de la implementación del sistema y su impacto sobre el medio ambiente y la salud pública.

La mayor incertidumbre para llevar a cabo este análisis, es la predicción de la cantidad de gas que se puede esperar de un relleno dado.

El costo por MW instalado se estima entre 1 y 1.6 millones de dólares americanos -- (USD), considerando incluidos el costo del sistema de recuperación del gas, la planta de potencia, empleando máquinas de combustión interna.

En lo que respecta a plantas de incineración para generación de electricidad además de los aspectos mencionados para los sistemas de biogas de relleno, debe considerarse el grado de clasificación requerido.

De los RSU, el tipo de control de emisiones y disposición de cenizas. El costo de una planta dependerá en gran parte de refacciones y servicios existentes en el país en cuestión.

El costo por MW instalado para estas plantas oscila entre 2.7 y 5.45 millones de dólares americanos, dependiendo desde luego de la capacidad de la planta (Tabla 3).

Capacidad, Potencia y Costo de Plantas Incineradoras de RSU para Generación de Electricidad (2)

CAPACIDAD DE PLANTA TON/d	POTENCIA PLANTA MW	COSTO INV. MIL. USD.	COSTO/MW MIL. USD/MW
300 - 500	10 - 14	3.0 - 3.5	3.0 - 3.5
1000 - 1500	30 - 40	3.0 - 3.5	3.0 - 3.5
2500 - 3000	60 - 80	10.0 - 15.0	2.7 - 3.2
4000	120	18	3.1

DISCUSION.

Tomando los costos de inversión por MW instalado tanto para sistemas de biogas como de incineración, resulta ventajoso el de

los sistemas de biogas (1.6 millones USD/MW) a los de incineración (5.4 millones USD/MW), sin embargo es necesario mencionar que de los sistemas de biogas con la tecnología actual es posible recuperar -- aproximadamente el 1% de la energía potencialmente generada por los rellenos. Es decir que los 110 kWh por generadas por incineración de basura con características similares a la producida en México, solo es posible obtener alrededor de 75 kWh por tonelada de la misma basura, pero confinada en un relleno sanitario. El resto de la energía contenida en el metano, se pierde a lo largo y ancho de la superficie del relleno a la atmósfera a menos de que se mejoran los sistemas de recolección y recuperación del biogas.

En México como en todo el mundo existe -- dentro de la misma ciudad, diferentes condiciones y cantidades de basura, de ahí -- que exista la posibilidad de destinar basura de mayor poder calorífico y menor contenido de humedad para generar electricidad por incineración, en tanto que la basura es de menor poder calorífico y alto contenido de humedad sea depositada en rellenos sanitarios, para la posterior generación de electricidad por combustión del biogas del relleno.

CONCLUSIONES.

Del análisis presentado en este trabajo se pueden concluir las siguientes puntos:

- Las plantas de generación con biogas -- instaladas actualmente poseen capacidades de 9 MW como máximo, en tanto que las de incineración son de 10 a 80 MW.
- Un factor limitante para la planeación e implementación de generación de electricidad con biogas de relleno, es la incertidumbre que existe en la cantidad y ritmo de producción de biogas.
- Para que un sistema de incineración -- tenga factibilidad, el poder calorífico de los RSU debe ser superior a los 1 400 Kcal/Kg.
- Los sistemas de incineración son mucho más costosos que los de biogas, no obstante solo se puede recuperar en la actualidad 1% partes de la energía obtenida por incineración.
- Dadas las características de los RSU en México, parece más factible la generación de electricidad a partir del biogas de relleno, sin embargo es necesario analizar a fondo el caso particular en cuestión.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Ana María Martínez L. y José L. Arvizu F., "Tecnología de recuperación --ción y Aprovechamiento del Biogas y

Generado en Rellenos Sanitarios de Desechos Sólidos Urbanos"; Memorias la. Reunión de Ingeniería en Energía y Recursos Energéticos, U.A.S.L.P., San Luis Potosí 1990. pp. 201-205.

- 2.- "Energy From Urban Solid Wastes"; Office of Energy U.S. Agency for International Development. September 1988.
- 3.- J.M. Resa y E. Cepeda; "Estudios Previos al Diseño de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos"; Ingeniería Química, Marzo 1990, pp. 203-208.
- 4.- M.A. Veit, J.V. Consolano, M. Consolanog and R.F. Ward; "Cost Benefit Analysis of Land Fill Gas Utilization in Developing Countries", Fifth Int. Symp. on Anaerobic Digestion; Bologna, Italy; May 22-26, 1988. pp. 997-999.
- 5.- Patricia Tejada Uribe; "Residuos Sólidos Municipales"; Utilización de la Biomasa, Revista Solar No. 17, 1990 pp. 8-13.
- 6.- Heriberto Bárcenas Ramírez; "Experiencia en el Estudio del Biogas - Generado en un Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos en la Ciudad de México", Utilización de la Biomasa, Revista Solar No.17, 1990, pp. 18-24.

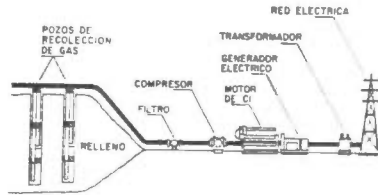


FIG 1. SISTEMA DE RECUPERACION Y APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS DE RELLENO PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD

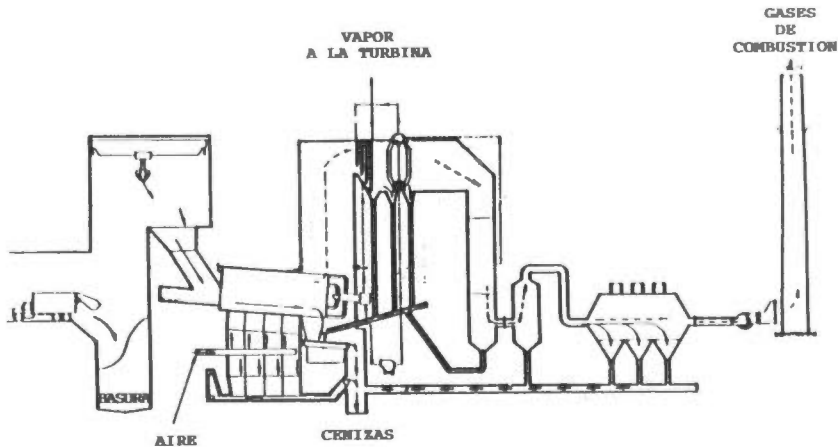


FIG. 2. INCINERADOR ROTATORIO CON RECUPERACION DE CALOR PARA GENERACION DE ELECTRICIDAD.

the 1990s, the number of people in the UK who are aged 65 and over has increased from 10.5 million to 13.5 million, and the number of people aged 75 and over has increased from 4.5 million to 6.5 million (Office for National Statistics 2000).

There is a growing awareness of the need to address the needs of older people, and the need to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people. The Department of Health (2000) has published a strategy for older people, which sets out the government's commitment to improve the health and well-being of older people, and to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) to improve the health and well-being of older people; (2) to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people; (3) to ensure that older people are able to live independently; (4) to ensure that older people are able to participate in society; (5) to ensure that older people are able to live in their own homes; (6) to ensure that older people are able to live in their own communities.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) to improve the health and well-being of older people; (2) to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people; (3) to ensure that older people are able to live independently; (4) to ensure that older people are able to participate in society; (5) to ensure that older people are able to live in their own homes; (6) to ensure that older people are able to live in their own communities.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) to improve the health and well-being of older people; (2) to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people; (3) to ensure that older people are able to live independently; (4) to ensure that older people are able to participate in society; (5) to ensure that older people are able to live in their own homes; (6) to ensure that older people are able to live in their own communities.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) to improve the health and well-being of older people; (2) to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people; (3) to ensure that older people are able to live independently; (4) to ensure that older people are able to participate in society; (5) to ensure that older people are able to live in their own homes; (6) to ensure that older people are able to live in their own communities.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) to improve the health and well-being of older people; (2) to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people; (3) to ensure that older people are able to live independently; (4) to ensure that older people are able to participate in society; (5) to ensure that older people are able to live in their own homes; (6) to ensure that older people are able to live in their own communities.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) to improve the health and well-being of older people; (2) to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people; (3) to ensure that older people are able to live independently; (4) to ensure that older people are able to participate in society; (5) to ensure that older people are able to live in their own homes; (6) to ensure that older people are able to live in their own communities.

The strategy for older people is based on the following principles: (1) to improve the health and well-being of older people; (2) to ensure that the health care system is able to meet the needs of older people; (3) to ensure that older people are able to live independently; (4) to ensure that older people are able to participate in society; (5) to ensure that older people are able to live in their own homes; (6) to ensure that older people are able to live in their own communities.

INFRAESTRUCTURA DE UN LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR APLICADA

Gordon, M., Solís, H., Díaz, A. y Morales, J.

Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
Departamentos de Energía y de Ciencias Básicas
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas
C.P. 02200, México, D.F.

En este trabajo se presenta una breve descripción de las instalaciones que se disponen en el laboratorio de Energía Solar Aplicada de la UAM-A; también se presenta las características de operación con las que se desarrollan los proyectos docentes y de investigación. Se incluyen datos de localización útiles para los estudios en energía solar así como climatológicos de la Ciudad de México.

El futuro energético seguirá siendo en base al petróleo y gas; sin embargo se está sembrando la semilla de la investigación en otras fuentes de energía y del desarrollo de equipos convertidores de dichas fuentes. La celebración de eventos como el que nos reúne en esta ocasión, es indicativo de que continúa la actividad científica y tecnológica sobre la aplicación de fuentes alternativas de energía.

La energía solar es una fuente que — se demostró su factibilidad técnica, — sin embargo, el proceso de aceptación — es lento y requiere de mayor difusión — así como de un impulso para que llegue a ser parte de la tecnología industrial. Un porcentaje significativo de calor en los procesos industriales se usa dentro de los rangos de temperaturas alcanzables mediante los captadores solares actuales; sin embargo, se ha dado la difusión de la tecnología solar en la industria y una de las razones puede ser que las propiedades para conservación de energía será por algún tiempo la inversión preferida por la industria, antes de iniciar proyectos solares. Para algunas industrias es inevitable la adopción de tecnologías solares puesto que resulta la más idónea para sus principales procesos de producción.

El empleo efectivo de la energía solar para proveer calor de proceso industrial requiere de un conocimiento detallado de cómo se aplica el calor a cada proceso, de la temperatura a la cual opera el proceso, de la cantidad de calor requerido cada hora, cada día, cada

mes; con esta información se debe realizar un procedimiento de optimización — tanto del proceso convencional como del sistema solar. Para cada proceso industrial particular, se debe llevar a cabo dichas optimizaciones.

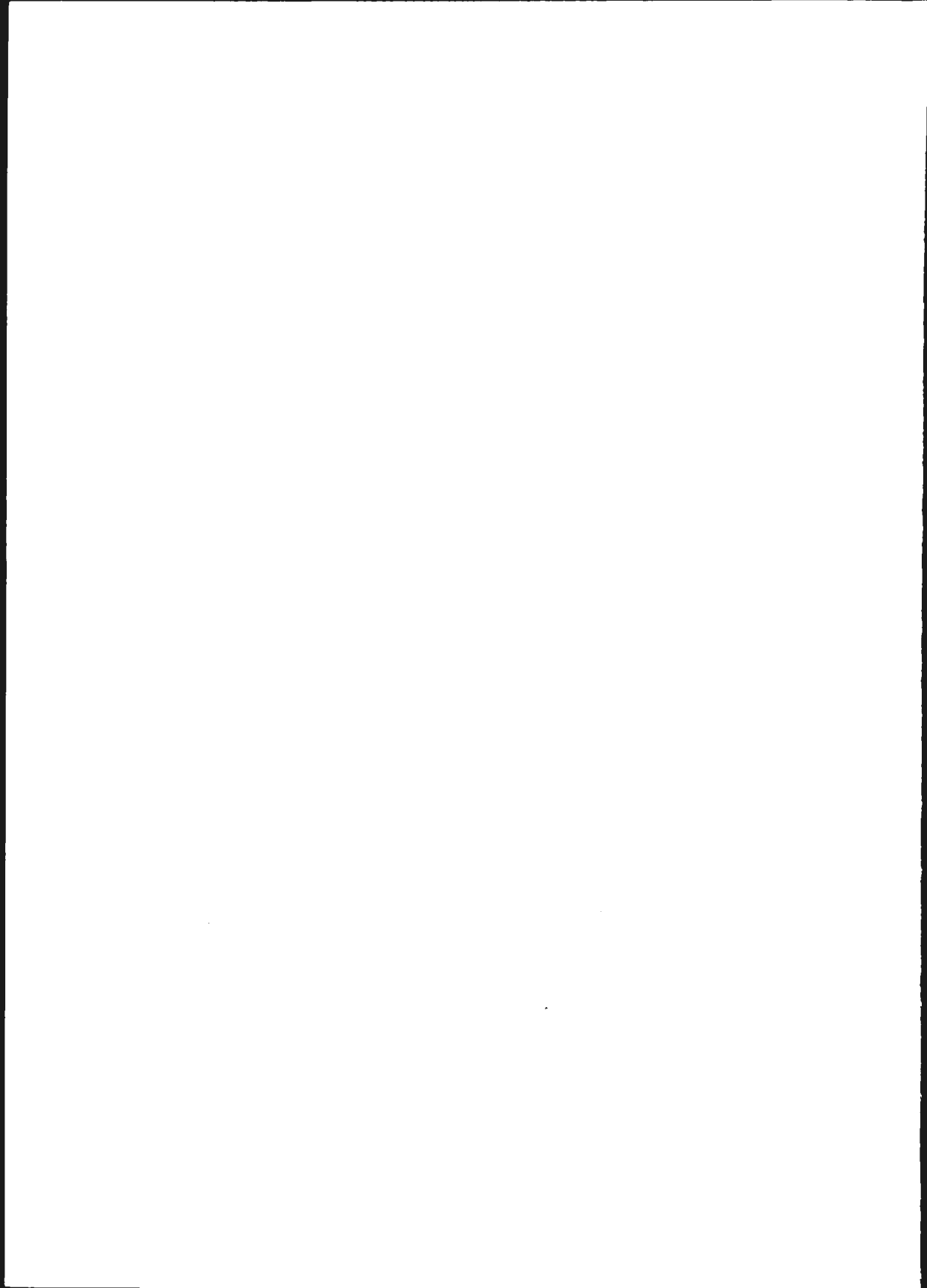
La aplicación extensiva de sistemas solares para calor de proceso industrial depende de la aceptación de la tecnología solar existente, de mayor desarrollo para extender su factibilidad, confiabilidad y eficiencia, así como de la aplicación inteligente y cuidadosa de los principios de ingeniería.

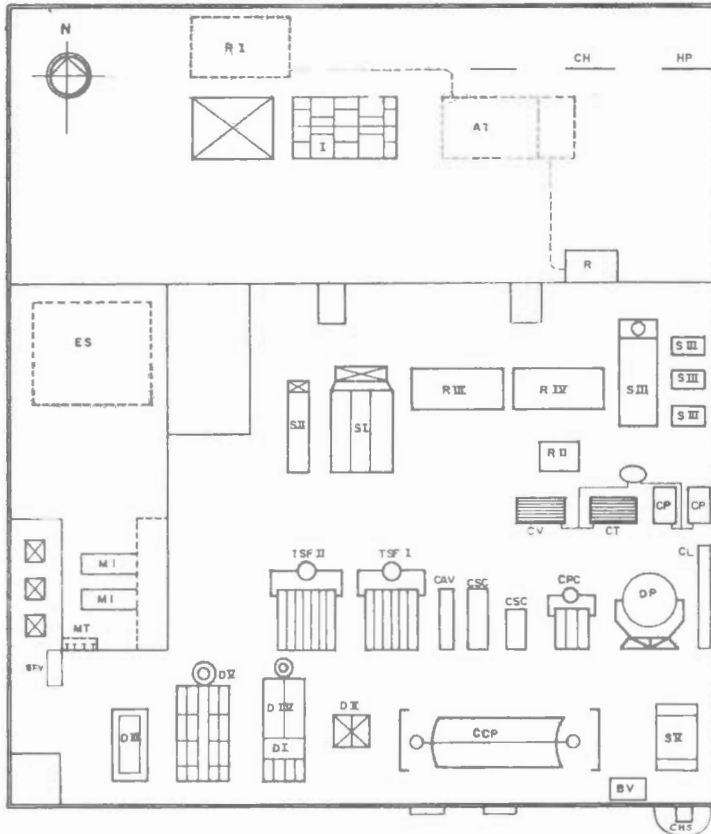
FORMACION DEL LABORATORIO.

Como resultado de las actividades que, sobre la aplicación de la energía solar se viene desarrollando en la UAM-A la infraestructura necesaria para realizar dichas investigaciones ha sido construida mediante la construcción de equipos y accesorios periféricos, y la realización de prototipos planteados en instalaciones gubernamentales.

Para llevar a cabo la formación del Laboratorio de Energía Solar Aplicada se tomó en consideración los intereses académicos que los autores, miembros del Grupo Solar, han demostrado a lo largo de los años de permanencia como profesores-investigadores de la Universidad y, encontrando intersecciones con el conjunto de necesidades energéticas apremiantes de México.

En este trabajo también se mencionan los proyectos que brindarán facilidades tales como una estación solarimétrica

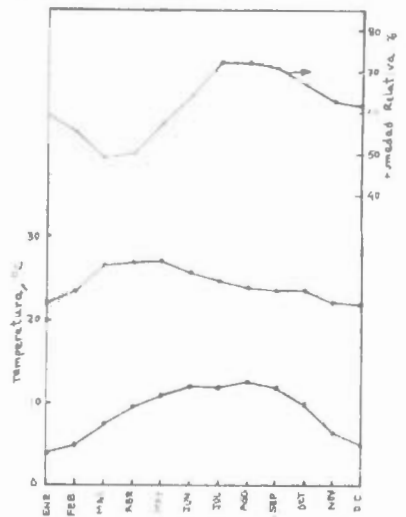




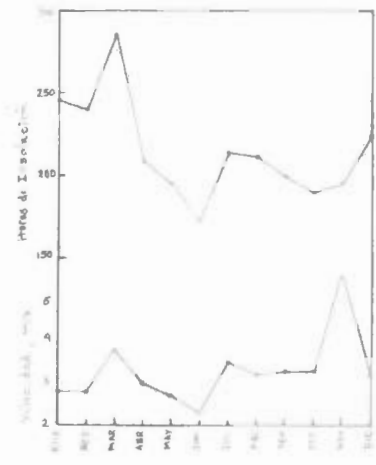
LABORATORIO DE ENERGIA SOLAR APLICADA
(EDIF. "O" DEPTO. DE ENERGIA)

AT	ALMACEN TERMICO	ES	ESTACION SOLARIMETRICA
BV	BOMBA POR VACIO	HP	HELIOSTATO PROTOTIPO
CAV	CALENTADOR DE AIRE CON VIRUTA	I	INVERNADERO
CH	CAMPO DE HELIOSTATOS	MI	CASSETAS DE MUESTRAS-INTERPERIE
CHS	CHIMENEA SOLAR	MT	MUJO TROMBE
CPC	CANAL PARABOLICO	R	RECEPTOR DE HELIOSTATOS
CPC	CAPTADOR CPC	R I	REFRIGERADOR NH ₃ - H ₂ O
CSC	CALENTADORES SOLARES COMPACTOS	R II	REFRIGERADOR ZEOLITA - H ₂ O
CP	CAPTADORES PLANOS COMERCIALES	R III	REFRIGERADOR PLANO CH ₂ OH
CT	CAPTADOR PLANO TUBULAR	R IV	REFRIGERADOR PARABOLICO CH ₃ OH
CV	CAPTADOR TIPO V	S I	SECADOR CON VIRUTA
CL	CAPTADOR LARGO	S II	SECADOR MIXTO
DP	DISCO PARABOLICO-MOTOR	S III	SECADORES DE PLASTICO
D I	DESTILADOR CASETA	S IV	SECADOR UVAS (EDIF. K)
D II	DESTILADOR PIRAMIDAL	S V	SECADOR GALINDO
D III	DESTILADOR MOUSTAFA	TPP	TERMOSIFON PLANO
D IV	DESTILADOR CASETA	TSF I	TERMOSIFON DIDACTICO
D V	DESTILADORES EN BATERIA	TSF II	TERMOSIFON
D VI	DESTILADOR MOUSTAFA (EDIF. G)	EFV	ESTOVIOLTAICO

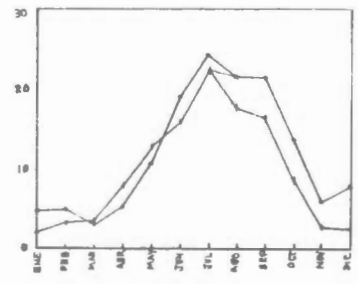
La Ciudad de México está situada a 19° 24' de latitud Norte y 99° 16' longitud Oeste, a un poco más de 2200 m sobre el nivel del mar.
 Las características climatológicas de la Ciudad de México se presentan en los siguientes gráficos.



Temperatura máxima y mínima medias y humedad relativa media en la Ciudad de México.



Horas de insolación y precipitación media del viento predominante en la Ciudad de México.



Número de días nublados y con lluvia en la Ciudad de México.

AVANCES EN CONCENTRACION SOLAR EN LA UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
IZTAPALAPA

A. Valdés, M. Zamora, E. Barrera, R. Luco y R. Vázquez

Area de Ingeniería en Recursos Energéticos.
Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
Av. Michoacán y la Purísima, Iztapalapa, D.F., 09340.

RESUMEN

Se presenta un panorama general y los avances que se han logrado en el estudio y desarrollo de los concentradores solares tipo canal parabólica en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Los resultados alcanzados a la fecha demuestran que es posible a mediano plazo diseñar y construir campos de concentradores solares con un alto grado de integración nacional. Se describen los procedimientos utilizados para la obtención de superficies selectivas sobre sustratos de cobre y de acero inoxidable así como de superficies reflectoras de baja curvatura en vidrio.

1. INTRODUCCION.

La factibilidad de aprovechar el recurso solar para generar potencia por medio de la conversión fototérmica depende del grado de desarrollo alcanzado por la tecnología disponible. A nivel internacional se han hecho esfuerzos para integrar la tecnología de los sistemas de concentración, principalmente los conocidos como canal parabólica, y se cuenta ya con sistemas generadores de potencia a nivel comercial [1,2].

En México esta tecnología es incipiente y de hecho sólo se puede hablar de un intento que se ha realizado para generar potencia a partir de los concentradores tipo canal parabólica [3], sin embargo quedaron muchos problemas por resolver sobre todo en lo que respecta a los concentradores.

Como se sabe una planta solar de generación de potencia sólo difiere de una convencional en la forma de generar el vapor; mientras en la convencional el vapor se genera en una caldera, en la solar se genera en un intercambiador de calor donde el fluido proveniente del campo de colectores cede parte de su energía al agua presurizada. De aquí la importancia de optimizar el diseño, construcción y funcionamiento de los concentradores.

Actualmente en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, se desarrolla el proyecto "Generación Fototérmica de Potencia a Partir de Concentradores Solares Tipo Canal Parabólica". Las principales líneas de investigación de este proyecto están encaminadas hacia la optimización del diseño, construcción y funcionamiento de estos sistemas. Los objetivos planteados originalmente son los

siguientes:

- 1) Desarrollar los concentradores solares tipo canal parabólica con un alto porcentaje de integración nacional para su uso en la generación de potencia.
- 2) Construcción de un prototipo experimental para el estudio y verificación de las propiedades de los materiales y partes del concentrador a desarrollar.
- 3) Modelamiento, validación de modelos y simulación del sistema de concentración tipo canal parabólica.
- 4) Identificar el fluido más viable a ser empleado como fluido de trabajo en el ciclo de colección de energía del prototipo.
- 5) Desarrollar y caracterizar superficies selectivas con buenas propiedades ópticas-físicas y que observen buen comportamiento con el tiempo.
- 6) Diseñar superficies de reflexión de la radiación solar con un mínimo de errores en su curvatura.

2. PROTOTIPO EXPERIMENTAL, INSTRUMENTACION Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

La experimentación en campo se realiza actualmente en un prototipo constituido por los siguientes componentes:

- a) Estructura metálica de apoyo. Esta estructura consiste en dos columnas empotradas al piso, sobre las que se soporta el sistema reflector.

* Proyecto financiado por la UAM y CONACYT.

b) Sistema Reflector. Este sistema lo componen seis espejos de acrílico con superficies reflectivas de aluminio electrodepositado al vacío, montado sobre un armazón de poliéster reforzado con fibra de vidrio con forma cilíndrica parabólica en la que el eje de giro coincide con el centro de masa del armazón logrando mayor facilidad de movimiento, ésto es muy importante para un correcto seguimiento de la trayectoria solar por medio de un dispositivo electrónico. La parábola tiene 0.625 m de longitud focal, el área de captación es de 8.6 m² (2.5 m de apertura por 3.45 m de longitud).

c) Sistema de Absorción. El receptor o absorbedor utilizado en este prototipo es un tubo de cobre de 0.038 m de diámetro externo, pintado de negro mate; sostenido por soportos a la distancia focal, siendo ésta determinada de antemano. Posteriormente se empleará una superficie selectiva de cromo negro y otra de cobalto.

d) Sistema de Seguimiento. Este consiste de un fotosensor que registra el movimiento aparente del sol, un dispositivo electrónico que procesa la señal enviada por el fotosensor y un sistema de transmisión mecánico con un motor, el cual se encarga de orientar nuevamente al módulo cada cada vez que el fotosensor detecta un movimiento del sol.

Para la evaluación de las propiedades ópticas de los materiales empleados en el prototipo experimental se cuenta con un Alfatómetro y un Emisómetro modelo AE (figuras 1 y 2), ambos de Devices and Services Co. Con este equipo es posible medir la absorptancia, reflejancia, transmitancia y emisancia de los materiales empleados en el reflector y el receptor del prototipo.

El factor de forma geométrico de los concentradores, así como el error de seguimiento deben ser evaluados mediante la técnica de rayo laser, a la fecha no se dispone aún del sistema de detección para esta fuente luminosa, sin embargo, éste se encuentra en vías de adquisición mediante el apoyo otorgado por CONACYT a este proyecto.

A fin de realizar las pruebas de campo se instrumentó el prototipo para obtener los datos necesarios en el cálculo de la eficiencia térmica instantánea, en esta se consideran factores tales como el coeficiente de transferencia de calor, flujo máxico así como las temperaturas de entrada y de salida del fluido de trabajo, temperatura ambiente, velocidad del viento, radiación solar directa incidente, etc.

La instrumentación se compone de:

i) Termometría.- Dos termómetros de cartula, uno colocado en la entrada del absorbedor y el otro en la caja recirculadora de fluido hecho de aluminio, aislada térmicamente e instalada a la salida del absorbedor. Dichas cajas permiten obtener lecturas de temperatura de mezcla

adiabática del fluido. Adicionalmente se encuentran instalados tres termopares tipo K a lo largo de la pared exterior del absorbedor para conocer la variación de temperatura a lo largo de éste.

ii) Medición de flujos.- El prototipo cuenta con un medidor de flujo magnético marca (Becklund), especial para medir flujos de aceite.

iii) Anemometría.- Para conocer la velocidad del viento se cuenta con un anemómetro digital Cole Palmer modelo 1717.

iv) Solarimetría.- La medición de la radiación solar directa instantánea se realiza por medio de un pirheliómetro Eppley NIP, al no contar aún con este equipo completo, se acondicionó un piranómetro Eppley adaptándole un tubo negro de cartón cubriendo la emisancia de captación del piranómetro, el cual se orienta al sol de tal manera que solo capta la radiación directa; las lecturas se toman con ayuda de un multímetro.

Para realizar la experimentación se instaló un sistema de circuito cerrado por donde se recircula el fluido a través del absorbedor, con esto es posible determinar el calor ganado por el fluido de trabajo. Para formar el circuito cerrado se adaptó un tanque de depósito de fluido a un costado del módulo, del cual se extrae el fluido por medio de una bomba recirculadora, posterior a la bomba se instaló el medidor de flujo, un manómetro y válvulas reguladoras de flujo, (Fig. 3).

Actualmente se están realizando pruebas experimentales que se encuentran sujetas a la claridad atmosférica para así obtener datos con mayor exactitud, ya que estos concentradores de tipo canal-parabólica sólo trabajan con radiación directa; se espera que durante el mes de marzo se concluya con este etapa.

3. MODELAMIENTO MATEMATICO

El grupo de modelamiento matemático inició sus estudios haciendo una revisión bibliográfica de material relacionado con el modelamiento de concentradores solares o alguna de sus partes. Esta búsqueda se centró en los años de 1980 a 1990. Las revistas consultadas fueron las siguientes: el Solar Energy; el Heat and Wind Technology; el International Journal of Heat and Mass Transfer; y el Journal of Heat Transfer. La revisión bibliográfica reveló que hay pocos trabajos relacionados con el modelamiento de concentradores solares y, al parecer ninguno acerca del modelamiento específico del tipo de concentrador solar que nos interesa.

Por otra parte, al revisar libros sobre la materia, encontramos en el libro de Krejci [8] un modelo matemático de carácter global de un sistema de concentración que, aunque no es igual al que se está haciendo ahora en este proyecto, constituyó un buen punto de partida para nuestras desarrollos. Sin embargo, aunque

Kreider menciona que ese modelo es suficientemente detallado para predecir el comportamiento del concentrador, se le encontraron algunos inconvenientes de carácter conceptual y físicos por lo que consideramos que era necesario proponer y resolver un modelo algo más detallado.

Uno de los modelos matemáticos desarrollados por este grupo [5], la diferencia del modelo global de Kreider, es de tipo diferencial e incluye tres ecuaciones diferenciales ordinarias (una para el fluido de trabajo, otra para el tubo absorbedor y la última para la envoltura de vidrio que cubra al absorbedor). Este modelo incluye términos que describen la conducción longitudinal de calor en el absorbedor y la envoltura. Se ha utilizado la técnica de diferencias finitas para resolver las ecuaciones diferenciales del modelo, los resultados han sido alentadores y han permitido predecir el comportamiento que tendría una planta de potencia con un campo solar constituido con el tipo de concentradores estudiado [6,7].

4. INVESTIGACION Y DESARROLLO DE SUPERFICIES SELECTIVAS.

En este año se ha desarrollado un baño electrolítico para la obtención de una superficie de cromo negro sobre distintos sustratos metálicos. El proceso tiene la particularidad de que se procesa a temperatura ambiente, a densidades de corriente moderadas 2000 Amp / m² y con un tiempo de electrólisis bajo, (40 a 60 segundos).

Se deliberó en torno al proceso y mecanismos de obtención del electrodepósito de acuerdo a las anteriores experiencias de los autores [8,9] y se hicieron pruebas experimentales preliminares con base en las cuales se obtuvo la formulación final del baño de cromo negro, la cual consta de:

CrO ₃	400.0 g / l
BaCO ₃	7.5 g / l
NaF	0.8 g / l

Con dicha formulación se procedió a encontrar el mejor tiempo de electrodepósito para lograr las mejores propiedades ópticas de las superficies, de acuerdo a los siguientes pasos:

- Se desarrollaron pruebas de laboratorio de electrodepósito de cromo negro sobre placas de 6 x 6 cm de cobre, como contraelectrodo se usaron placas de plomo. Las placas de cobre se cubrieron con acrílico por una de las caras con el propósito de tener un buen control del área a recubrir, y se utilizó una densidad de corriente de 2000 Amp / m².

- Antes de realizar la electrodeposición sobre las placas de cobre es necesario pulirlas electroquímicamente con la finalidad de que la

película de cromo negro se adhiera adecuadamente al sustrato y además de mejorar las propiedades ópticas. La solución de pulido electroquímico consta de.



- Aplicar una densidad de corriente anódica de 100 mA / cm² durante 5 minutos. Se lava con agua y se seca con aire.

- Ya preparada la superficie, se procedió a depositar la película de cromo negro a distintos tiempos de trabajo. Una vez hecha esta parte del trabajo se aplicó la misma metodología al electrodepósito de superficies curvas, concretamente a tubos de distintas longitudes y distintos materiales. Dominar esta tecnología es de fundamental importancia dado que los sistemas fototérmicos solares de concentración cilíndrico-parabólico, requieren de un tubo recubierto con película selectiva capaz de soportar elevadas temperaturas de trabajo.

Para lograr un depósito de espesor uniforme en toda la película selectiva en superficies curvas se diseñó una tina electrolítica distinta a las comerciales [10], de geometría cuadrada o rectangular, ya que estas no brindan dicha condición cuando la superficie a electrodepositar es curva.

De acuerdo a la dirección de las líneas de corriente que se generan del ánodo al cátodo en un campo eléctrico, se dedujo, que si la geometría del cátodo (superficie a cromar) es cilíndrica entonces la del ánodo también tendrá que ser cilíndrica para asegurar líneas de corriente perpendiculares y homogéneas a las superficies cargadas.

Por tanto, se decidió que la mejor geometría del recipiente contenedor fuese similar a la de la pieza a cromar, esto es, tendría que ser de geometría cilíndrica, y entonces se utilizaría un tubo de plomo como ánodo de trabajo. La razón de utilizar plomo es que tal material es inerte a la solución de cromo negro y dado que es conductor de la electricidad se utilizará directamente como sistema anódico para cerrar el circuito de electrólisis.

El tubo recipiente fue un tubo colocado verticalmente y para evitar la salida de la solución se colocó una tapa inferior de resina sólida en la que se ubicó una pieza de aluminio que permitió establecer el contacto eléctrico cátodico en la fuente de rectificación de corriente. Las figuras 4 y 5 muestran la configuración vertical para cromo negro y la horizontal para el electropulido de tubos.

5. FABRICACION DE CONCENTRADORES DE BAJA CURVATURA.

El mecanismo de la concentración solar consiste en la reflexión especular de la radiación solar

hacia el receptor. La optimización del diámetro del receptor depende entre otras cosas del tamaño angular del sol, de los errores en la superficie especular, del error cometido en el seguimiento y de la geometría del sistema.

Cuando una superficie reflectora presenta imperfecciones geométricas en su curvatura, la radiación solar reflejada sufre desviaciones con respecto al foco teórico de la parábola [11], el ángulo de desviación del rayo reflejado es el doble del de la imperfección con respecto a la pendiente de la parábola teórica. Por tal motivo es deseable, en presencia de imperfecciones, que la trayectoria del rayo reflejado sea mínima. Un ángulo de borde de 121° minimiza la distancia promedio del reflector al receptor, sin embargo, la curvatura de esta geometría es demasiado pronunciada (fig.6) lo que representa mayor complejidad para la fabricación del concentrador. En consecuencia, es deseable fabricar concentradores de baja curvatura, es decir, con ángulos de borde menores de 90° .

El Instituto de Ingeniería de la UNAM fabricó para el proyecto "Planta Solar Experimental" [12] concentradores de políester reforzado con fibra de vidrio, las superficies reflectoras fueron principalmente de acrílico aluminizado al alto vacío y de FEK-244 adherido sobre un sustrato flexible de aluminio. Estos concentradores tienen el inconveniente de que la superficie reflectora no se ajusta perfectamente al contorno parabólico de la estructura, además de que la adherencia del aluminio sobre el acrílico es pobre y el FEK-244, material autoadherible, es de importación.

Actualmente en la Universidad Autónoma Metropolitana se está tratando de desarrollar procedimientos de fabricación de espejos concentradores con vidrio, intentando darle la forma parabólica exacta.

La idea esencial es dar la forma adecuada a una placa de vidrio a base de un tratamiento térmico, de tal modo que ésta alcance su punto de ablandamiento y tome la forma del molde donde está contenida. El molde debe estar hecho en base a la parábola de diseño.

Debido a las dificultades que traería el manejo de un espejo de una sola pieza de vidrio y con dimensiones como las que se tienen previstas (2.5 m de apertura y aproximadamente 0.94 m de foco), tanto para el tratamiento térmico de la pieza, así como para la deposición del material reflectante, se ha decidido hacer el espejo en varias partes, las cuales se unirán por medio de una estructura.

Los experimentos que se han realizado a este respecto son los siguientes:

En base a una parábola, con los siguientes parámetros, se decidió hacer dos pequeños moldes, correspondientes a la parte central y a uno de los lados del espejo:

Apertura = 30 cm
foco = 11.7° cm
ángulo de borde = 65°

Cada uno de los moldes consiste básicamente en una lámina, con la forma adecuada a la pieza que se desea. A cada uno de estos moldes se le marcó los límites donde debían colocarse los vidrios y se le colocó unos toques para evitar que el vidrio, al deformarse, se saliera de su posición.

Se cortaron placas de vidrio de dimensiones adecuadas y se colocaron sobre los moldes (figura 7) para darles el tratamiento térmico en una mufla. Se tomó en consideración que el vidrio común alcanza su punto de ablandamiento aproximadamente a 600°C [13].

Las temperaturas y los tiempos de calentamiento a estas temperaturas son las siguientes:

Prueba	Temperatura, $^{\circ}\text{C}$	Tiempo de calentamiento, min
1	720	15
2	650	10
3	650	10
4	600	15

Todos los vidrios tomaron la forma de los moldes usados, sin embargo se encontró que en las pruebas con temperaturas de 720°C y 650°C las superficies de los vidrios, en contacto con los moldes, presentaban defectos y marcas correspondientes a las superficies de los moldes usados.

Por lo anterior se piensa que, en la construcción de un nuevo molde, el acabado de las piezas que están en contacto con el vidrio debe ser el mejor posible y se debe tratar de mantener una temperatura baja en el calentamiento. Hasta ahora los mejores resultados se tienen a 600°C para vidrios comunes, se seguirán haciendo algunas pruebas más a este respecto.

Para verificar en forma cualitativa la curvatura de las muestras, se realizó un experimento de plateado de los vidrios por medio del reactivo de Tollens a base de Nitrato de Plata, Hidróxido de Sodio e Hidróxido de Amonio y azúcar. Es importante señalar que este método de deposición solamente se ha empleado para verificar las muestras, otras técnicas como la erosión química y el "sputtering" se ensayaron en el Instituto de Ingeniería y el Instituto de Física de la UNAM [14].

Por medio de esta deposición de plata sobre la superficie de vidrio se logró platear uno de las muestras con forma parabólica que se habían formado antes. Al probar en forma sencilla el efecto de concentración de estas espejos se encontró que, aunque sí se logró este efecto, el espejo adolecía de errores geométricos debido a irregularidades en su superficie. Además se encontró que la distancia del vértice de la parábola al foco formado, era más corta que la

esperada según el diseño.

Debido a las experiencias anteriores se piensa construir un nuevo modelo con mejores características. El molde se hará con una lámina de acero inoxidable de buen acabado, la cual será sujeta por dos placas de material cerámico las cuales le darán la forma de la parábola deseada. Este modelo será de una dimensión más grande.

Actualmente se está trayendo en una placa de acrílico la figura de la parábola de diseño para ser utilizada como plantilla y base para la fabricación del molde.

Existen aún problemas por resolver como son los que presentarán las piezas formadas al tratar de unir las, los problemas causados por la dilatación y contracción de las partes del molde en el calentamiento y de las mismas piezas de vidrio.

Se piensa que con el nuevo molde, con mayores cuidados en su fabricación, se puedan estudiar y resolver la mayoría de estos problemas.

6. SUMARIO.

Durante los últimos dos años se ha avanzado hacia la consolidación de la investigación en concentración solar en la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. La infraestructura creada ha permitido que en un corto plazo se pueda iniciar ya con la experimentación en el prototipo de concentrador solar construido. Se ha mejorado la técnica de electrodeposición de cromo negro sobre superficies de cobre y acero inoxidable, también se ensaya la deposición de cobalto negro. Se realizan experimentos de moldeo de vidrio para lograr mejores características óptico-geométricas para las superficies reflectoras de los concentradores. Asimismo se cuenta con modelos matemáticos diferenciales para dos tipos de concentradores, estos han sido utilizados para predecir el comportamiento de campos de concentradores solares que forman parte de plantas generadoras de potencia.

AGRADECIMIENTOS.

Los estudiantes Alfredo Yáñez García, Marcos Barrera Antonio y Ma. Elena Rueda Cornejo, alumnos de la Licenciatura en Ingeniería en Energía de la UAMI han colaborado intensamente en el desarrollo de este proyecto. Los autores agradecen su dedicación y empeño.

REFERENCIAS.

1. H. Price, C. Jensen, "Design and Operation of the LUE Parabolic Trough Solar Electric Generating Plants", 1989 American Solar Energy Annual Meeting, Denver, Co., U.S.A., June, 1989.

2. C. Jensen, H. Price, D. Kearney, "The SEGS Power Plants: 1988 Performance", 1989 ASME International Solar Energy Conference, San Diego, Ca., U.S.A., April, 1989.

3. R. Almanza, et al., "Recent Development in a Solar Power Generator", ISES Congress and Exhibition, London, England, August, 1981.

4. J.F. Kreider, "Medium and High Temperature Solar Processes", Academic Press, U.S.A., 1979.

5. J.M. Zamora, A. Valdés y R. Vázquez, "Modeling and Simulation of a Parabolic Trough Collector", en preparación.

6. R. Almanza, et al., "Estudio del Comportamiento de Sistemas Solares Térmicos Para Generar Electricidad en 5 Comunidades de Sonora o Baja California", Reporte del Proyecto 0102, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., Abril de 1990.

7. A. Valdés, J.M. Zamora, R. Almanza, R. Lugo y V. Estrada, "Estudio del Comportamiento de una Planta Solar de 80 MWe en la Región Noroeste de la República Mexicana", Memorias de la XIV Reunión Nacional de Energía Solar, pp 70-75, La Paz Baja California Sur, Octubre de 1990.

8. E. Barrera, et al., "Obtención de Cromo Negro y su Uso en Energía Solar", Vol 26, No 3, Rev. Sociedad Química México, 1982.

9. U. Morales, "Preparación y Caracterización de Superficies Selectivas de Cromo Negro". Tesis de Licenciatura, ESQUIE, IPN., 1982.

10. E. Barrera, A. Valdés y U. Morales, "Optimización del Uso del Electrodeposición de Cromo Negro en Tubos Absorbedores", Memorias de la XIV Reunión Nacional de Energía Solar, pp 117-119, La Paz, B.C.S., Octubre de 1990.

11. A. Valdés y R. Almanza, "Dispositivo para Analizar Espejos Concentradores", Memorias de la IV Reunión Nacional de Energía Solar, pp. 135-138, San Luis Potosí, S.L.P., Octubre de 1980.

12. R. Almanza, et al., "Planta Solar Experimental", Reporte Interno, Instituto de Ingeniería, 1980.

13. R.A. Flinn y P.K. Trojan, "Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones", Tercera Edición, McGraw-Hill, 1989.

14. R. Almanza y M. Mazari, "Segunda Generación de Espejos de Aluminio de Primera Superficie", Memorias de la XIV Reunión Nacional de Energía Solar, pp. 120-123, La Paz, B.C.S., Octubre de 1990.

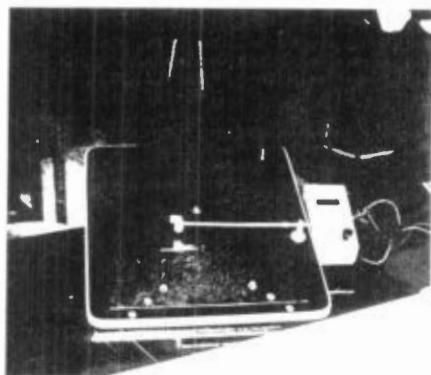


Figura 1. Alfatómetro de espectro solar, dispositivo empleado para medir absorptancia, reflejancia y transmitancia.

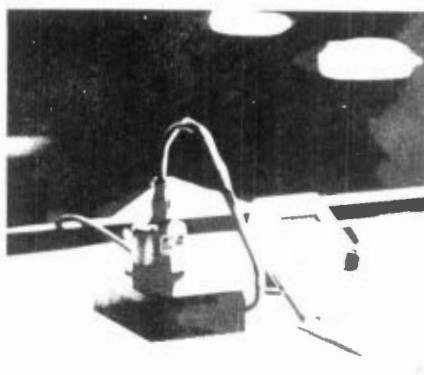


Figura 2. Emisbómetro modelo Al, empleado para medir la emitancia de muestras planas.

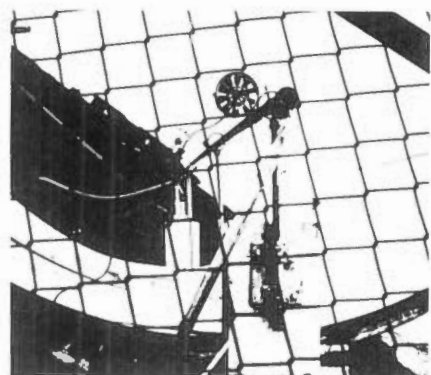
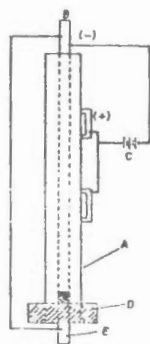


Figura 3. Vista parcial del prototipo experimental.



A TUBO DE CRÓMO
B TUBO DE VACÍO
C FUENTE DE CORRIENTE
D BARRA DE ALUMINIO
E BARRA DE ALUMINIO

Figura 4. Celda vertical para la deposición del cromo negro.



Figura 5. Celda horizontal para el electropulido de tubos.

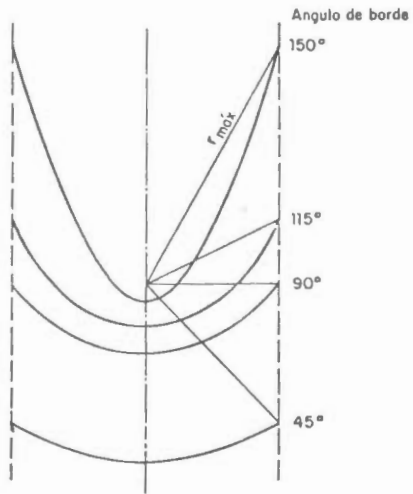


Figura 6. Diferentes ángulos de borde para una superficie captadora dada. Nótese que al aumentar el ángulo de borde aumenta el grado de curvatura de la parábola.

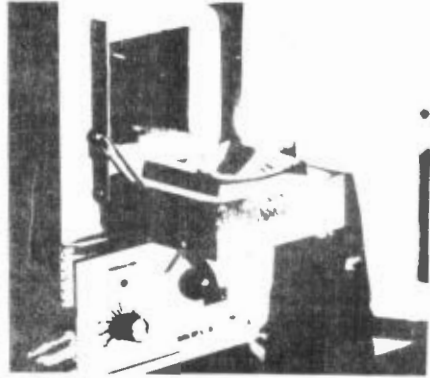


Figura 7. Obtención de un segmento de la superficie reflectora mediante tratamiento térmico.

the 1990s, the number of people in the UK who are aged 65 and over has increased from 10.5 million to 13.5 million, and the number of people aged 75 and over has increased from 4.5 million to 6.5 million (Office for National Statistics 2000).

There is a growing awareness of the need to address the health care needs of the elderly population. The Department of Health (2000) has set out a strategy for the care of the elderly, which includes a commitment to improve the quality of care for the elderly. This strategy is based on the following principles:

- To ensure that the elderly are treated as individuals and not as a homogeneous group.
- To ensure that the elderly are given the opportunity to participate in decisions about their care.
- To ensure that the elderly are given the opportunity to live in their own homes, wherever possible.
- To ensure that the elderly are given the opportunity to live in a community, wherever possible.

The Department of Health (2000) also states that the following are the key areas for action in the care of the elderly:

- Improving the quality of care for the elderly in residential care homes.
- Improving the quality of care for the elderly in the community.
- Improving the quality of care for the elderly in hospital.
- Improving the quality of care for the elderly in care homes for the elderly.

The Department of Health (2000) also states that the following are the key areas for action in the care of the elderly:

- Improving the quality of care for the elderly in residential care homes.
- Improving the quality of care for the elderly in the community.
- Improving the quality of care for the elderly in hospital.
- Improving the quality of care for the elderly in care homes for the elderly.

The Department of Health (2000) also states that the following are the key areas for action in the care of the elderly:

- Improving the quality of care for the elderly in residential care homes.
- Improving the quality of care for the elderly in the community.
- Improving the quality of care for the elderly in hospital.
- Improving the quality of care for the elderly in care homes for the elderly.

DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LA INSOLACION EN MEXICO

Ma. Engracia Hernández C.

Graciela Pérez V.

Instituto de Geografía, UNAM.
Ciudad Universitaria, México, D. F.

Se trazaron las cartas de número de horas de insolación en el país, para enero y mayo, así como la media anual, con información obtenida de 70 observatorios del SMN (1961-1988).

Los valores más bajos registrados fueron para enero, menos de 140 horas en las laderas de la Sierra Madre Oriental, y los más altos para el mes de mayo, más de 340 horas en el noroeste; en general, los rangos de insolación varían de 1800 a 3400 horas al año.

INTRODUCCION

La energía que produce los movimientos de la atmósfera y que da vida a los seres en la Tierra, proviene del Sol, por lo que es muy importante el conocimiento del estado del tiempo que permita que los rayos solares lleguen a la superficie de la Tierra y no encuentren obstáculo a su paso.

Se llama duración de la insolación en un punto de la superficie terrestre, al número de horas de sol brillante observada en el mismo punto. La duración de la insolación en un lugar y fecha determinados, en ausencia de nubes, es igual a la duración del día en la misma fecha y depende de la latitud calculada mediante fórmulas que suministra la astronomía.

Es importante hacer notar que el uso del término insolación, además de usarse para denotar tiempo de soleamien-

to, también se utiliza para cuantificar la energía radiante instantánea o totalizada durante un cierto período.

El número de horas sol es medido por medio de un heliógrafo, del tipo Campbell Stokes, que consiste en una esfera de vidrio macizo en cuyo foco se concentran los rayos solares. A medida que el astro se mueve sobre la esfera celeste, el foco va recorriendo una cartulina donde traza por carbonización una línea oscura. En la cartulina son horas de sol efectivas, o sea la insolación. El eje que sostiene la lente esférica no debe orientar alineándolo con el eje norte-sur geográfico.

Los datos de duración de la insolación efectiva en nuestro país son escasos, ya que, en general, se empieza a tomar esta información en forma constante a partir del año de 1961.

Algunos investigadores consideran poco confiables los datos por diver-

Las causas, entre las cuales se pueden mencionar, el que los registros presentan lagunas difíciles de llenar, esto parece ser frecuente en los observatorios situados al norte de nuestro territorio. Otros consideran que los datos presentan irregularidades que consisten en la orientación incorrecta de los heliógrafos, lectura imprecisa de los registros, mala calidad de las tiras de papel empleadas para el registro, inconsistencia en las lecturas, compilación errónea de las mismas, suciedad en la esfera de vidrio del heliógrafo, etc.

El propósito del presente estudio es mostrar la distribución geográfica en México, de la cantidad de horas sol efectivas medida por estos aparatos.

Este trabajo conforma la primera etapa de un proyecto en el que se intenta correlacionar el número de horas de sol con tipos de tiempo meteorológico que se presentan estacionalmente y que dan origen a nublados, neblinas o nieblas que abaten la insolación.

DATOS

Se obtuvo el número de horas de insolación a nivel mensual en 70 observatorios y estaciones proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional. La información abarca hasta 1988; el 25% de los sitios de observación tienen de 5 a 10 años de datos, 38% de 10 a 20 años, 33% de 20 a 30 años y sólo el 2%, presentan más de 30 años de observación. Se ponderaron estos datos para utilizar principalmente los de más largo período, pero hubo la necesidad de tomar como

referencia algunas estaciones con menor número de años.

Para mostrar la distribución de la insolación en todo el país, se trazaron isólineas de los promedios anuales y mensuales de enero y mayo, que señalan respectivamente los meses de mínima y máxima insolación.

ANÁLISIS DE LOS MAPAS

Dentro del país, el reparto de las horas sol, es distinto en las diferentes épocas del año y en los diversos espacios geográficos, esto se debe en parte a la situación altitudinal del país, a las características fisiográficas que privan en cada región, a su latitud y a las variaciones estacionales de la inclinación de los rayos solares y duración del día en el año.

En el mapa No. 1, que representa la distribución anual del número de horas sol, se observa que las regiones con mayor cantidad de insolación, más de 3000 horas, se localizan en un tramo del estado de Baja California Sur aproximadamente del paralelo 24 al 27° N; en el noroeste del país ocupa una amplia zona que comprende todo el estado de Sonora y parte noroeste y oeste de Chihuahua.

En forma aislada se encuentran otras tres pequeñas áreas, ubicadas en el centro-norte, sur-occidente y una angosta franja costera en el estado de Oaxaca.

Las horas de sol, decrecen en las regiones montañosas con vertiente hacia el Golfo de México y en la parte central de la Sierra Volcánica Transversal.

Los valores mínimos, 1800 y 2000 horas, se presentan en la porción sur de la mesa central, vertiente este de la Sierra Madre Oriental y se prolonga hasta la parte alta de la sierra Mixteca.

En los meses de máxima y mínima cantidad de horas de insolación, se definen los periodos de calentamiento y enfriamiento de la Tierra en general. Así en el mes de enero, las horas de sol oscilan entre 140 y 240, en la mayor parte del país predominan los valores de 180 a 220 horas, las que reflejan las condiciones atmosféricas reinantes en el mes más frío del año.

Durante este mes, los sitios que presentan un número considerable de horas sol, se limitan a algunas áreas del norte; sur de la península de Baja California y costas del Pacífico que se extienden del paralelo 21°30' al 15°00' Lat. Norte.

Las costas del Golfo de México y regiones adyacentes, presentan menos de 180 horas sol, las que ponen de manifiesto la frecuente entrada de perturbaciones meteorológicas que incrementan la nubosidad a barlovento y la influencia del relieve como obstáculo al desplazamiento de estas masas de aire a sotavento.

Por el contrario, en el mes de mayo, se incrementan las horas sol en la mayor parte del país y dominan los valores de 220 a 300 horas.

Aproximadamente en un 40% del territorio se tienen menos de 220 horas, y comprende las costas del Golfo, el

istmo de Tehuantepec y una amplia región del sur, áreas afectadas por una mayor nubosidad.

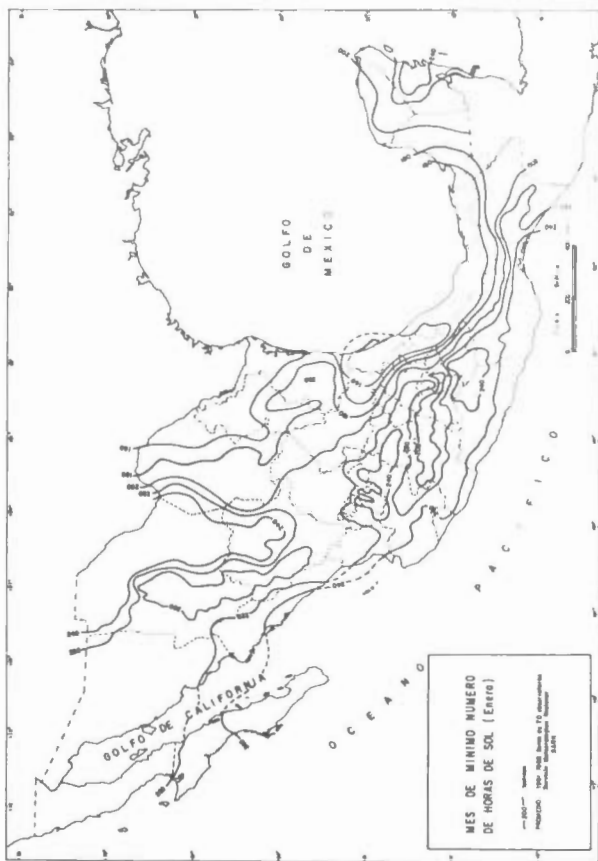
CONCLUSIONES

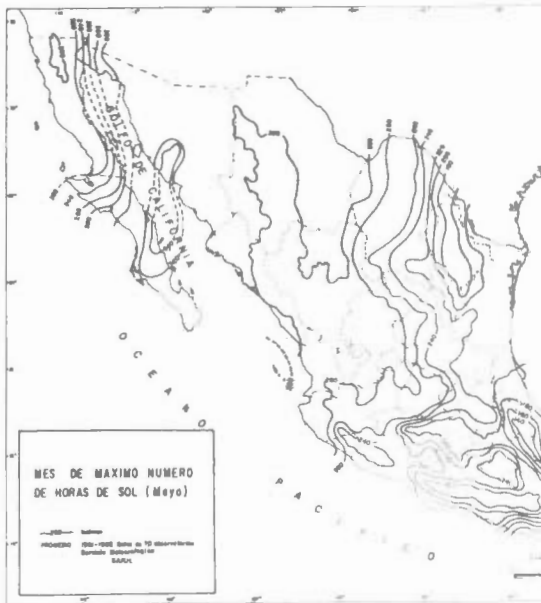
Del análisis de estas cartas y de la descripción anterior, se puede concluir que la distribución espacial de las horas sol en el país, está fuertemente influenciada por la orografía, asimismo el gradiente de insolación se acentúa en mayo y decrece en enero, meses que señalan en cierta forma, el inicio de las perturbaciones meteorológicas que influyen en el incremento de nubosidad en el verano y en el invierno en México.

De estos mapas, se pueden conocer las áreas del territorio nacional que reciben el mayor número de horas sol, así como el mes, datos que, en un momento dado, pueden definir zonas de recursos energéticos potenciales.

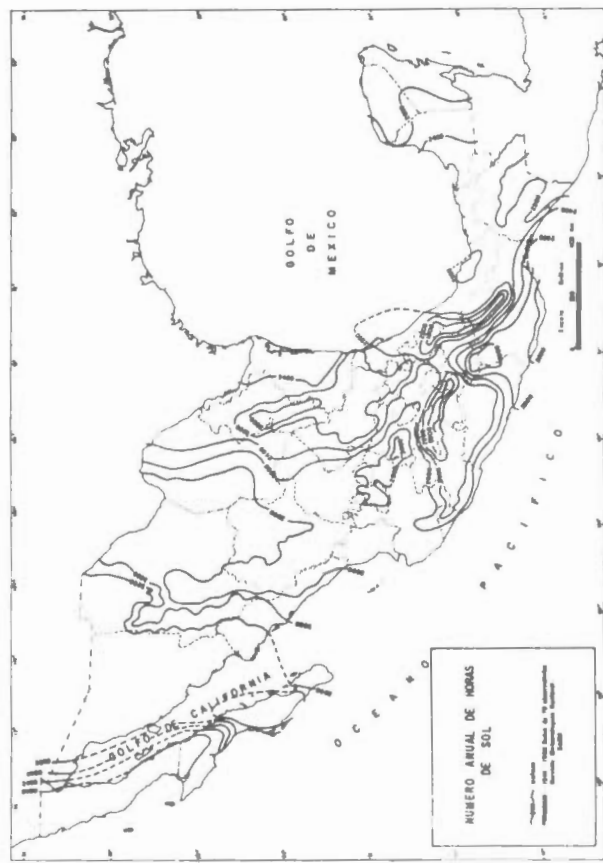
BIBLIOGRAFIA

- Almanza, R. y López, S. Radiación solar global en la República Mexicana mediante datos de insolación. Instituto de Ingeniería, UNAM. 357: 5-23. México, 1975.
- Atlas del Agua. Cartas de Insolación. Escala 1:5 000 000 y 1:11 000 000. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, 1976.
- Hernández, M.E., Tejeda, M.A., Reyes, F. S. Atlas solar de México. Universidad de Colima. México. 1988.
- Servicio Meteorológico Nacional. Archivo Interno. Datos de 1961-1988. SARH. México, 1988.









SUPERFICIES SELECTIVAS DE ALTA TEMPERATURA

BARRERA CALVA ENRIQUE* Y MORALES U.**

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA-IZTAPALAPA
 * DEPTO. DE INGENIERIA DE PROCESOS E HIDRAULICA
 ** DEPTO. DE INGENIERIA QUIMICA
 APDO. POSTAL 55-534 C.P. 09340 MEXICO, D.F.

RESUMEN

En este trabajo, se presentan los resultados de la fabricación de Superficies Selectivas de óxidos de cromo y de acero obtenidos mediante la oxidación térmica a elevada temperatura. Se ensayaron distintos tiempos de exposición y se midieron las propiedades ópticas, con el objeto de dictaminar la factibilidad de la obtención de selectividad y de conocer las mejores condiciones de operación.

I. INTRODUCCION.

Las Superficies selectivas combinan una alta absorptancia para la radiación solar con una baja emitancia para un intervalo de longitud de onda en la que la superficie emite radiación infrarroja. Dicha situación es posible porque prácticamente el 100% de la energía correspondiente a la radiación solar, está comprendida en longitudes de onda debajo de 3 μ m, mientras que el 99% de la radiación emitida por una superficie negra a 400 K es a longitudes de onda mayores que 3 μ m, de acuerdo a las leyes de Plank y de Wien.

Lo anterior trae como consecuencia que al usar superficies selectivas en sistemas de captación solar, aumenta la eficacia de calentamiento con esta radiación, ya que al disminuir las pérdidas de calor por radiación, se consiguen las más altas temperaturas posibles en dichos sistemas, lo cual es de suma importancia para lograr el mejor funcionamiento de los diversos dispositivos termodinámicos que el hombre utiliza, tales como: motores, refrigeradores, hornos, etc.

El concepto de selectividad manejado en este trabajo, es ampliamente manejado en Ingeniería Solar y se define como el cociente del valor de la absorptancia al de emitancia. Es decir, que se acepta que cualquier superficie es selectiva cuando el valor de la selectividad es mayor que uno. En el caso de las mejores superficies desarrolladas en otros países y aún en México, se han alcanzado valores de selectividad cercanas a 10. En la práctica podemos considerar aquellas superfi-

cias que trabajan a alta temperatura y que tengan una absorptancia 0.8 y una emitancia menor de 0.2 como selectivas. Este último concepto es de suma importancia y debe de tomarse en cuenta en la determinación de las propiedades ópticas de las superficies selectivas, ya que dichos valores son función de la temperatura. En el caso de los valores de la emisividad, éstos normalmente son evaluados a la temperatura de 80° C y para saber el valor de éste parámetro a cualquier otra temperatura es necesario recurrir a la siguiente fórmula, ref. 1

$$E_2 = E_1 (T_2/T_1)^{2/3}$$

dónde:

T_2 = Temperatura a la que se busca la emitancia (K)

T_1 = Temperatura conocida (K)

E_2 = Emitancia a la T_2

E_1 = Emitancia a la T_1

En otro orden de ideas, mencionaremos que existen una gran variedad de métodos y técnicas para la obtención de superficies selectivas y que por supuesto una S. Selec. se puede obtener de diversas maneras aunque a un distinto costo y con una serie de propiedades físicas y químicas, mecánicas y ópticas diferentes. En la Tabla 1 se enlistan algunas distintas formas de fabricación, las técnicas de preparación y propiedades de algunas de estas superficies ref. 2

la experiencia de los autores es la fabricación de superficies selectivas por técnicas de electrodeposición, tal como se ha presentado en este foro, ref. 3 y en esta ocasión hemos decidido experimentar el desarrollo de Superficies Selectivas por oxidación térmica, ya que algunos autores ref. 4 han logrado buenas propiedades ópticas e incluso buena estabilidad térmica, dado que justamente se fabrica la superficie selectiva (óxido del metal correspondiente) a una temperatura muy por arriba de la temperatura de trabajo de la superficie. He aquí la idea, la puesta en práctica y los resultados preliminares.

II. PARTE EXPERIMENTAL

Se seleccionaron dos materiales a oxidar térmicamente para producir las superficies selectivas. En un caso se experimentó con fierro calibre 22 recubierto con cromo brillante y en el otro caso se utilizó acero inoxidable del tipo 304, calibre 22. Se cortaron diversas placas cuadradas, de cada material, de 6.5 cm por lado, para someterlas a las pruebas.

La fabricación de la superficie selectiva fue realizada por oxidación mediante calentamiento en aire, usando una mufla de la marca PELLISA, modelo 340 de 1500 watts. Con objeto de encontrar las mejores condiciones para la fabricación de la mejor superficie, se trabajó a temperaturas de oxidación de: 450, 535, 600, 670 y 790°C durante 5, 10, 15, 20, y 30 minutos de exposición. Al final del tratamiento, se midieron las propiedades ópticas (absortancia y transmitancia) para caracterizar la superficie. Para la absortancia se utilizó un aliatómetro modelo IA de Devires Services y para la emitancia se utilizó un emisómetro modelo AI, de la misma compañía. Finalmente, las superficies selectivas consideradas como mejores, se sometieron a un tratamiento térmico a la temperatura de 550°C durante 50h, con el objeto de averiguar en torno a su estabilidad térmica.

III. RESULTADOS

En la tabla 1 y 2 se muestran los resultados de las propiedades ópticas de algunas corridas experimentales a distintos tiempos de oxidación para tres temperaturas distintas. En la figura 1 se muestran las propiedades ópticas de las superficies de acero inoxidable oxidadas térmicamente a distintos tiempos de exposición, observándose que la mejor selectividad corresponde cuando las superficies se oxidan a temperaturas alrededor de 600°C. Analizando la tabla 2 se observa que la mejor selectividad se logra cuando la superficie se oxida por 15 minutos a 535°C, sin embargo la apariencia de los óxidos de color rojo azulado no son tan totalmente homogéneos, lo que permite suponer que dicha superficie aun puede ser mejor que las mejores superficies desde

el punto de vista de apariencia y homogeneidad son las que se obtienen cuando se oxida a 600°C y desciende ligeramente la selectividad conforme se oxida por más de 10 minutos. En todas estas corridas las superficies son de un color violeta azulado.

Para el caso de las superficies selectivas obtenidas por oxidación de cromo brillante sobre fierro, encontramos que las mejores selectividades se obtienen cuando el calentamiento es a 450°C, disminuyendo la selectividad conforme el tiempo de oxidación supera los 15 minutos. Cuando el calentamiento se efectúa a 535°C, se logran las mejores propiedades a un tiempo de oxidación de 5 minutos, disminuyendo la selectividad a tiempos mayores.

Cuando el calentamiento es a temperaturas de 600°C, la selectividad es menor, que en el caso de las otras temperaturas, lo cual es razonable, tomando en cuenta la inestabilidad térmica de los óxidos de cromo a altas temperaturas descritas ya por otros autores, ref 2 y 4.

Cabe mencionar que si bien, se obtienen mejores selectividades de los óxidos de cromo a 450°C que a 535°C, dichas películas poseen una baja absortancia y son de un color ligeramente violeta a un tiempo de oxidación de más de 10 minutos. En cambio las películas oxidadas a 535°C son azules y pasan al gris oscuro después de 15 minutos de oxidación, lo cual resulta en una superficie más absorbente y aún poco emisiva.

Los resultados de las pruebas de estabilidad térmica se simularon calentando algunas piezas durante un período de 30 horas a 550°C. Las piezas de óxidos de acero modificaron su absortancia en un 2%, pasando de valores promedio de 0.6 a 0.78 al final del tratamiento.

Para el caso de las piezas de óxidos de cromo sobre fierro ocurrió una disminución en su absortancia en 3%, pasando los valores de absortancia de 0.81 a 0.78 al final del mismo proceso.

En lo que respecta al valor de la emitancia para ambos óxidos, este parámetro se mantuvo inalterable al final del tratamiento. CONCLUSIONES.

Se han experimentado la obtención de superficies selectivas mediante la oxidación térmica de fierro cromoado y de acero inoxidable. Fue posible obtener la selectividad en ambos casos, resultando mejor los óxidos de cromo sobre fierro que sobre acero inoxidable, sin embargo dada la estructura del material se puede alegar que la superficie selectiva sobre fierro tendrá mayor estabilidad térmica, tomando en cuenta la pequeña variación de selectividad después del tratamiento térmico por más de 30 horas.

Analizando las propiedades ópticas de los óxidos de cromo obtenidos por oxidación térmica y comparados con las propiedades obtenidas del cromo negro por electrolisis

deposición, ref. 3 podemos observar que se obtienen mejores propiedades con el uso de las técnicas de electropósito, la cual puede deberse al distinto mecanismo de obtención de los mismos óxidos de cromo sobre el hierro.

Finalmente, con este estudio se ha demostrado que se pueden obtener buenas superficies selectivas a distintos sustratos, mediante oxidación térmica, sin embargo para encontrar las condiciones ópticas de fabricación de estas superficies selectivas se sugiere realizar un mayor número de corridas experimentales con intervalos de tiempo de máximo de 3 minutos de oxidación térmica entre prueba y prueba.

REFERENCIAS.

- 1.- Meeses H. and Butler S.T. Solar Energy. Oxford, Pergamon Press, 1975.
- 2.- Mattox D.M., et al, Selective Solar Photothermal Absorbers, Sandia Laboratory, Alburquerque, New México 1975.
- 3.- Barrera C.F. Morales U. y Hernández G. Un nuevo Electrodeposito de Cromo Negro, la Reunión de Ingeniería y Recursos Energéticos, UASLP Facultad Ingeniería, San Luis Potosí, México 1990.
- 4.- Cathro, K.J. Oxidized Chromium is a Selective surface Vol. 33 No. 4, Solar Energy, 1985.

Temperatura (°C)	Área superficial (cm ²)	W	h (mm)	W/h (cm)	Coeficiente de absorción
100	1.00	0.001	0.40	0.0025	0.70
150	1.00	0.001	0.40	0.0025	0.75
200	1.00	0.001	0.40	0.0025	0.80
250	1.00	0.001	0.40	0.0025	0.85
300	1.00	0.001	0.40	0.0025	0.90
350	1.00	0.001	0.40	0.0025	0.95

Tabla 1. Coeficiente de absorción selectiva para diferentes temperaturas.

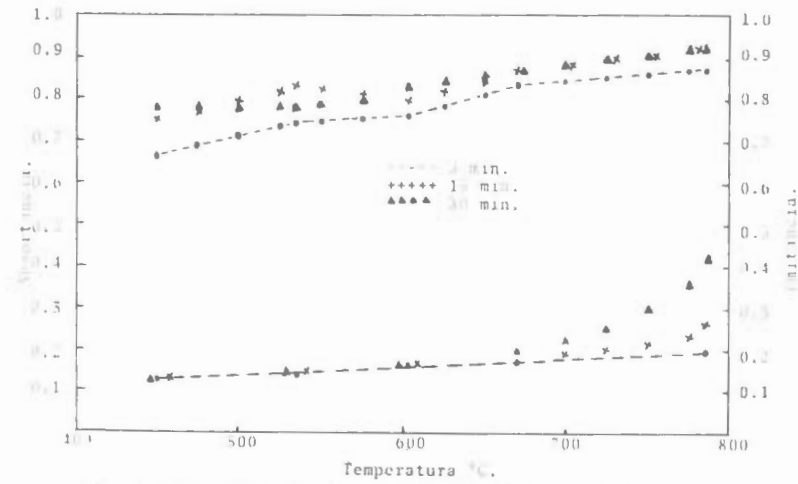


Fig 1. Propiedades ópticas de las superficies de acero oxidadas a alta temperatura a distintos tiempos de exposición.



SISTEMA DE BIBLIOTECAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ

BALANCE TERMICO DE UNA PLANTA SOLAR DE POTENCIA

R. LUGO L., A. VALDES P.

Ingeniería en Recursos Energéticos, Departamento de I.P.H.,
UAM-I, Apdo. Postal 55-534, México, D.F.

RESUMEN

Se hace un estudio termodinámico a una planta de potencia solar, con el fin de obtener los valores de las propiedades termodinámicas del fluido de trabajo en cada estado del ciclo termodinámico del sistema de potencia de esta planta, así como la cantidad de vapor que se debe producir para generar 80 Mw de potencia. Se calcula la cantidad de vapor que se extrae en cada sangrado, la presión a la cual se realizan los sangrados, el número de sangrados y el rendimiento térmico del ciclo.

1 - INTRODUCCION

Una planta de potencia solar (PPS) es semejante a una planta de potencia convencional (PPC) (Ciclo Rankine), en lo que difieren, es en la manera de generar el vapor. En una PPC se emplea un generador de vapor, mientras que en una PPS se requiere de un campo de colectores de canal parabólico para coleccionar la energía útil que posteriormente será entregada al agua en un cambiador de calor (fig. 1.)

En México existe el interés por conocer el funcionamiento de estos sistemas bajo las condiciones que imperan en determinadas regiones del país. Y por lo tanto es necesario conocer el diseño termodinámico del Ciclo Rankine Regenerativo con Recalentamiento (CRRR) para generar 80 Mw, ya que a partir de este diseño se conocen las propiedades termodinámicas que debe tener el fluido de trabajo en cada estado del ciclo, para que en función de éstas, se calcule la cantidad de vapor que se debe producir para obtener la potencia requerida y la potencia necesaria para que funcionen los equipos auxiliares.

Al realizar el estudio termodinámico del CRRR, se puede decir que tipo de turbina (s) se requiere (n), cuantas extracciones de vapor se deben hacer a la turbina, o sea, cuantos calentadores de agua se requieren en el ciclo para elevar la temperatura del agua a las condiciones deseadas a la entrada del intercambiador de calor, la cantidad de vapor que se extrae en cada sangrado, la presión a la cual se realizan éstas y el rendimiento térmico del ciclo.

Al estudiar el CRRR se conoce la cantidad de combustible que se ahorra al utilizar la energía

solar. Cuando el campo de concentradores de canal parabólico no satisface las necesidades de vapor de la PPS, el vapor faltante se genera en un generador de vapor. Entonces, la PPS se convierte en un sistema híbrido y en este caso se obtiene la cantidad de combustible necesario que hay que proporcionar para tener las condiciones del vapor deseado.

Con los valores de las propiedades obtenidas, los investigadores del campo de colectores, pueden saber la cantidad de energía solar y la cantidad de vapor que tendrán que proporcionar para que se tenga la potencia requerida; y de esta manera tengan los elementos necesarios para poder verificar el dimensionamiento general del campo de colectores de canal parabólico que proponen dichos investigadores.

La operación cíclica de varios sistemas de bloque de potencia requieren de algún diseño especial y detalles operacionales en áreas tales como calentadores de agua, suministro de agua fría tratada químicamente, equipo de almacenamiento en días nublados, vapor generalizado y esfuerzos térmicos inducidos sobre varias piezas de equipo y tubería. Sin embargo, estas consideraciones especiales tienen un impacto mínimo sobre bloques de potencia disponibles.

2.- CALCULO DE LAS PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE LA PLANTA DE POTENCIA SOLAR

El diagrama que se muestra en la figura 1 ilustra a una planta de potencia solar simplificada. Resulta evidente que es una representación condensada de una central solar, debido a que solamente se presentan los

elementos básicos que la componen.

El diagrama T-s del ciclo Rankine Regenerativo con Recalentamiento que se obtiene al hacer el estudio termodinámico a la planta de potencia solar se muestra en la figura 2.

Los balances de masa y energía que se realizan al ciclo termodinámico se hacen por unidad de masa de vapor, a saber, se considera que entra a la turbina de alta presión 1 kg de vapor sobrecalentado a las condiciones establecidas:

Una bomba (4-10), presuriza el condensado a una presión a la cual puede pasar a través de los dos calentadores de agua cerrados con cascada hacia atrás, posteriormente en el calentador abierto se mezcla este condensado con el vapor de la primera extracción que se hace a la turbina, el nuevo contenido se presuriza nuevamente (10-11) hasta las condiciones requeridas en la entrada del generador de vapor solar.

En esta planta de potencia solar, el calentador abierto recibe el vapor sobrecalentado de la primera extracción que se le hace a la turbina (m2), el cual cede su energía al líquido que entra a este calentador en el estado 12, para que posteriormente se eleva su presión a la requerida en el campo de colectores.

Los dos calentadores cerrados, el de alta y el de baja presión reciben las extracciones m3 y m4 también como vapor sobrecalentado, estas extracciones m3 y m4 ceden parte de su energía al líquido que fluye a través de los calentadores en los estados 15 y 16 respectivamente.

El vapor sobrecalentado que se extrae en 13 (m3) entra al calentador de agua cerrado de baja presión, este vapor cede parte de su energía al líquido que sale de la bomba en 15, la temperatura de del agua es mayor que la temperatura de saturación que le corresponde a la presión a la cual se extrae el vapor en 13. El desaque del segundo calentador cerrado sufre un estrangulamiento al entrar al condensador y entra como una mezcla en dos flujos en 21, entonces, el proceso 22-23 es a entalpía constante.

Lo mismo sucede en el primer calentador cerrado, a saber, hay una estrangulación del líquido al entrar al segundo calentador cerrado y también entra como una mezcla en dos flujos, por lo tanto el proceso 20-21 es a entalpía constante.

Para determinar la temperatura que alcanza el agua a la salida de los calentadores de agua cerrados, se emplea la Diferencia de Temperatura Terminal (DTT) [3], la cual se define de la siguiente manera:

$$DTT = \text{temperatura de saturación del vapor sangrado} - \text{temperatura del agua de salida}$$

En la figura 3, se muestra un diagrama

temperatura vs longitud del calentador cerrado en el cual se representa el DTT cuando el vapor sangrado es sobrecalentado, en este caso se hace para el calentador cerrado a alta presión. En esta figura se observa que la temperatura del agua de salida en 17 es mayor que la temperatura de saturación que le corresponde a la presión a la cual se hace el sangrado. El también se observa que para este caso el DTT es negativo [esto también sucede en el otro calentador]. Los valores de la DTT para este tipo de calentadores de alta presión, se encuentran entre 0 y -8 (1-2).

El valor de DTT varía con la presión del calentador. En el caso de calentadores de baja presión, los cuales anteriormente reciben el sangrado como vapor húmedo a vapor saturado, en su momento caso 1, el DTT es positivo.

Por lo tanto, las presiones de los colectores son bajas, las extracciones de vapor después de pasar por importante en el rendimiento del ciclo regenerativo, y para calcular el valor de m3, se utiliza el estado de un vapor de temperatura crítica (ΔT_{cr}) [4], y que se muestra como:

$$\Delta T_{cr} = \frac{T_c - T_c}{T_c + 1}$$

Una vez conocida la ΔT_{cr} se iguala a la diferencia entre la temperatura de saturación que le corresponde a la presión a la cual se recalienta el vapor y la temperatura de saturación del primer sangrado a alta presión:

$$\Delta T_{cr} = T_c - T_{s1}$$

de esta ecuación se obtiene el valor de la temperatura de saturación del primer sangrado, la tabla de vapor húmedo con la temperatura antes calculada se obtiene la presión a la cual se hace el sangrado correspondiente.

Para obtener el valor de la presión a la cual se hace el segundo sangrado, se realiza un análisis semejante al anterior, pero ahora la ΔT_{cr} es la diferencia de temperatura del sangrado que y la temperatura del sangrado del caso de espesa a continuación:

$$\Delta T_{cr} = T_{s2} - T_{s1}$$

Para la tercera extracción se hace de manera similar:

$$\Delta T_{cr} = T_{s3} - T_{s2}$$

Los valores del rendimiento politrópico de las turbinas de vapor, teóricamente se encuentran en un intervalo de 80 a 90 %, pero en la realidad dicho intervalo es del 73 al 78 % [1]. Es por esto, que las plantas de potencia en México no alcanzan un rendimiento del 38%.

El valor del rendimiento politrópico de la turbina y el de las bombas para hacer el análisis de la planta solar, se considera de un

73 % para ambas máquinas.

3.- RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los valores de la presión, temperatura, volumen específico, entalpía, entropía y calidad del vapor, que se obtienen al hacer el análisis termodinámico de la planta de potencia solar.

Al hacer los balances de masa y energía al ciclo termodinámico de la planta de potencia solar, se obtienen las cantidades de vapor que se extraen de la turbina para alimentar a los calentadores de agua, dichos valores son:

$$\begin{aligned} \dot{m}_2 &= 0.09278550 \\ \dot{m}_3 &= 0.0869400 \\ \dot{m}_4 &= 0.0975908 \end{aligned}$$

no hay que olvidar que se esta trabajando para 1 kg_s de vapor a la entrada de la turbina de alta presión.

El trabajo por unidad de masa que proporciona la turbina es de:

$$w_T = 786827.97 \text{ J / kg}$$

El trabajo por unidad de masa que hay que suministrar a las bombas es de:

$$w_B = 18048.605 \text{ J / kg}$$

El trabajo neto por unidad de masa que entrega el ciclo es de:

$$w_N = 770779.37 \text{ J / kg}$$

El calor por unidad de masa que se le debe suministrar al ciclo por medio del campo solar es:

$$q_A = 2362555.55 \text{ J / kg}$$

El calor por unidad de masa que se desecha en el condensador es:

$$q_B = 1694384.8 \text{ J / kg}$$

El rendimiento termodinámico del subsistema de potencia de la planta solar, para las condiciones antes dadas es:

$$\eta = 32.62 \%$$

Considerando que el rendimiento del generador eléctrico y el rendimiento mecánico sean del 97 % y del 95 % respectivamente; entonces la potencia que debe entregar la turbina al generador eléctrico para que éste genere 80 MW, es de 87 MW.

Entonces el flujo de vapor que se le debe proporcionar a la turbina es de:

$$\dot{m}_{vap} = 405477.78 \text{ kg / hr.}$$

4.- CONCLUSIONES.

Al realizar el diseño termodinámico de la planta de potencia solar, se obtienen parámetros muy importantes, para que los investigadores en el área tengan más elementos para poder hacer un mejor dimensionamiento del campo de colectores solares.

El rendimiento de la planta térmica solar se encuentra dentro del rango en el que operan las plantas convencionales.

Al utilizar la energía solar para generar el vapor se ahorró una gran cantidad de combustible

Empleando a la energía solar en lugar de combustibles fósiles la contaminación del lugar en donde se coloque la planta sería menor, debido a que no habrían emisiones de gases contaminantes.

La generación de energía eléctrica por medio de plantas solares es una realidad.

5.- NOMENCLATURA SISTEMA INTERNACIONAL.

P	presión	Bar
T	temperatura	°C
v	volumen específico	m ³ /kg
h	entalpía específica	J/kg
s	entropía específica	J/kg °C
x	calidad del vapor	%
DTT	diferencia de temperatura terminal	°C
Tz	temperatura de saturación que le corresponde a la presión a la cual se recalienta el vapor	°C
Tsc	temperatura de saturación a la presión del condensador	°C
n	número de calentadores de agua	
ΔTOP	variación de la temperatura óptima	°C
T _{sat1}	temperatura de saturación que le corresponde a la presión a la cual se hace el primer sangrado.	°C
T _{sat2}	temperatura de saturación que le corresponde a la presión a la cual se hace el segundo sangrado	°C
T _{sat3}	temperatura de saturación que le corresponde a la presión a la cual se hace el tercer sangrado	°C

6.- REFERENCIAS.

- 1.-E. De María y Campos Conversación personal 1990.
- 2.-R. Lugo L., a. Valdés P., R Almanza S., J M Zamora M., G. Sandoval A., V Estrada C. Estudio del comportamiento de sistemas solares térmicos para generar electricidad en 5 comunidades de Sonora o Baja California. Proyecto 0102 de C.F.E. 1990.
- 3.-R Ruiz E., A. F Monedero Diagnostico de comportamiento de condensadores, calentadores de agua y torres de enfriamiento de C.T.E., Libro de la 1a. Reunión Nacional de Ingeniería en Energía y Recursos Energéticos, 1990
- 4.-M.M. El- Wakil. Powerplant Technology. Mc Graw Hill, 1985.

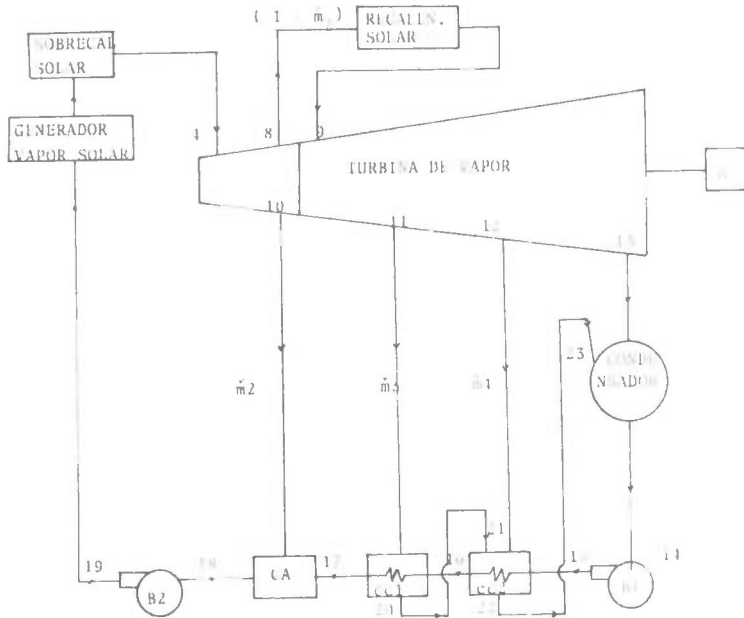


Figura 1 - Diagrama esquemático de la planta de potencia solar

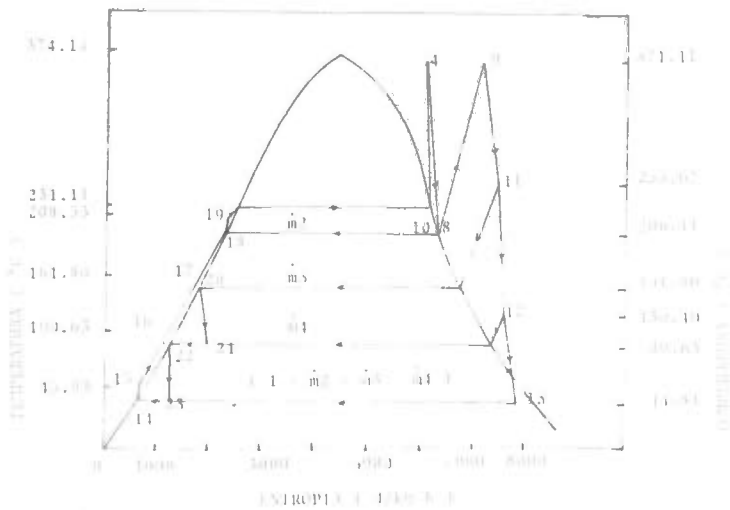


Figura 2 - Diagrama temperatura v entropía de la planta

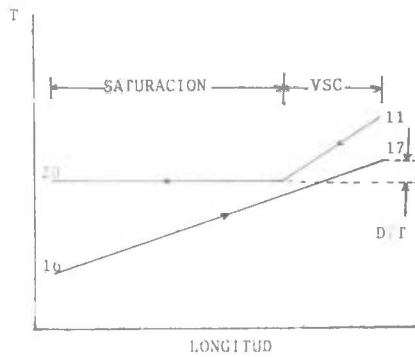


Figura 3.- Diagrama temperatura vs longitud del calentador de agua, en el cual se representa a la DTT.

EDO	p	T	v	h	s	x
1	104.317	231.11	0.0012005	996767.02	2604.8360	LSE
4	99.974	371.11	0.0242292	3001245.80	6067.4368	VSC
8	17.650	206.11	0.1125018	2795910.70	6385.2997	100.00
9	16.271	371.11	0.1780305	3190609.80	7133.4333	VSC
10	17.650	206.11	0.1125018	2795910.70	6385.2997	100.00
11	5.000	255.67	-	2971902.00	7292.3280	VSC
12	1.000	130.40	-	2737115.30	7518.7056	VSC
13	0.095	44.81	-	2473530.50	7825.1900	95.47
14	0.095	44.81	0.0010098	187650.00	636.1300	LSE
15	17.650	45.03	-	190078.56	638.1891	LSE
16	17.650	109.63	-	460961.10	1413.1179	LSE
17	17.650	161.86	-	684395.15	1974.0096	LSE
18	17.650	206.11	0.0011662	880313.29	2388.8930	LS
19	104.317	208.53	-	894158.67	2396.6766	LSF
20	5.000	151.86	0.0010925	640380.00	1861.0400	LS
21	1.000	99.63	-	640380.00	1900.5500	LS 87
22	1.000	99.63	0.0010431	417510.00	1411.0600	LS
23	0.095	99.63	-	417510.00	1359.1288	9.71

Tabla 1.- Propiedades termodinámicas en los estados de la planta de potencia solar que se obtienen al realizarle un análisis termodinámico. Las unidades son las del SI

the 1990s, the number of people in the UK who are aged 65 and over has increased from 10.5 million to 13.5 million, and the number of people aged 75 and over has increased from 4.5 million to 6.5 million (Office for National Statistics 2000).

There is a growing awareness of the need to address the needs of older people, and the UK Government has set out a strategy for the 21st century in the White Paper on *Ageing Better: Our Future as a Nation* (Department of Health 2000). This White Paper sets out a vision of a society in which older people are able to live well, and to contribute to their communities. It also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible.

The White Paper also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible. It also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible.

The White Paper also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible. It also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible.

The White Paper also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible. It also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible.

The White Paper also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible. It also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible.

The White Paper also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible. It also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible.

The White Paper also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible. It also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible.

The White Paper also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible. It also sets out a number of key objectives for the government, including the need to improve the health and social care of older people, and to ensure that they are able to live independently for as long as possible.

APLICACION DEL METODO DE SOMMERFELD PARA ESTABLECER
UNA SECUENCIA DE CALCULO PARA LA SIMULACION DE UN CICLO BRAYTON

R. Vázquez Rgz. y J. M. Zamora M.

Area de Ingeniería de Recursos Energéticos
Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Apartado postal 55-534, 09340 México, D.F.

RESUMEN

En este trabajo se aplica el algoritmo de Sommerfeld para determinar una secuencia de cálculo para resolver el sistema de ecuaciones algebraicas no lineales con el que se modela un ciclo de potencia que involucra una turbina de gas. Con esto se reduce el número de ecuaciones que tienen que resolverse simultáneamente. Asimismo, se propone una forma de evitar los cálculos de prueba y error que Sommerfeld sugiere en el planteamiento original de su algoritmo.

I. INTRODUCCION.

La simulación es la acción de crear, en modelos, situaciones que representen el comportamiento que seguirá el sistema simulado, para alteraciones en sus variables y bajo ciertas circunstancias [1].

El desarrollo de los modelos es un paso previo a la simulación, y consiste en representar, en forma concreta o abstracta, el sistema que pretende estudiarse.

La simulación de procesos determinísticos puede clasificarse en tres clases [2]:

- i) Simulación para propósitos generales. Este tipo de simulación comprende los enfoques modular y de solución de ecuaciones.
- ii) Simulación con propósitos específicos. Requiere de un modelamiento más detallado, para un conocimiento más profundo de un proceso o una parte de él.
- iii) Simulación Dinámica. Se usa para el análisis de aspectos de control y/o para el estudio de la respuesta transitoria durante el arranque o parada de un proceso.

Con el fin de diseñar un proceso es necesario recurrir a alguna de las diversas técnicas y tipos de simulación y optimización. Dentro de estas técnicas, el denominado enfoque de solución de ecuaciones [2,3,4] requiere de métodos y algoritmos que permitan simplificar los cálculos involucrados en la simulación.

En este trabajo se aplica un algoritmo para establecer secuencias de cálculo para las variables que aparecen como incógnitas en un modelo matemático para un ciclo Brayton. Al mismo tiempo se reduce el número de ecuaciones que se tienen que resolver simultáneamente, lo que redundará en el beneficio de ahorro de memoria y tiempo de computadora.

II. FORMULACION DEL PROBLEMA.

En su texto, Stoecker [5] propone un problema de simulación para un ciclo termodinámico de potencia que se muestra en la figura 1. Este ciclo no incluye regeneración y cuenta con un compresor, una cámara de combustión, y una turbina cuyas eficiencias se conocen.

El objetivo de la simulación es determinar la potencia, P , de salida en el eje de la turbina si se agrega un calor, q , al fluido de trabajo en la cámara de combustión. La turbina toma fluido de trabajo y lo rechaza a la presión atmosférica, P_4 . El aire entra al ciclo a una temperatura T_1 . Se plantean además las siguientes hipótesis:

- H1. Se supone para el gas un comportamiento ideal y un C_p constante.
- H2. Se desprecia la masa agregada como combustible de manera que el flujo másico \dot{W} es constante a través del ciclo.
- H3. Se desprecia la caída de presión en la cámara de combustión ($P_2 = P_3$).
- H4. Se desprecian las pérdidas de calor hacia el medio ambiente.

Las ecuaciones características para el compresor de flujo axial operando a una velocidad angular, $x = 120$ rev/s, y para una presión atmosférica de 101 Kpa, son:

$$P = 331 + 45.6W - 4.03W^2 \quad (1)$$

$$E_c = 1020 - 0.383P + 0.00513P^2 \quad (2)$$

Mientras que las ecuaciones características de la turbina de gas para $x = 120$ rev/s y presión atmosférica de 101 Kpa, son:

$$W = 8.5019 + 0.02332P + 0.48 \times 10^{-4} P^2 - 0.02644T_3 \\ + 0.1849 \times 10^{-4} T_3^2 + 0.000121PT_3 - 0.273 \times 10^{-6} P^2 T_3 \\ - 0.1137 \times 10^{-6} PT_3^2 + 0.2124 \times 10^{-9} P^2 T_3^2 \quad (3)$$

$$E_t = 1727.5 - 10.06P + 0.033033P^2 - 7.4709T_3 \\ + 0.003919T_3^2 + 0.050921PT_3 - 0.8525 \times 10^{-4} P^2 T_3 \\ - 0.2536 \times 10^{-4} PT_3^2 + 0.4473 \times 10^{-7} P^2 T_3^2 \quad (4)$$

Con base en las hipótesis H1 a H4, podemos establecer los siguientes balances de energía:

$$\text{Compresor: } E_c = WC_p (T_2 - T_1) \quad (5)$$

$$\text{Cámara de comb. } q' = WC_p (T_3 - T_2) \quad (6)$$

$$\text{Turbina: } E_t = E_c + E_s \quad (7)$$

Como puede verse, para hacer la simulación de este proceso, es necesario desarrollar un procedimiento de solución para resolver estas ecuaciones. Tenemos un número de ecuaciones e incógnitas igual a 7. Las variables del problema son: P, W, E_c, T₂, E_t, E_s, T₃. Dado que el número de ecuaciones es igual al número de incógnitas, este problema no tiene grados de libertad.

Stoecker [5] propuso y resolvió este sistema de 7 ecuaciones con 7 incógnitas utilizando el método de Newton-Raphson, lo cual es ineficiente, ya que desde hace varias décadas se han desarrollado algoritmos que permiten simplificar cálculos y ahorrar tanto memoria como tiempo de cómputo. En este trabajo se aplicó el algoritmo para la determinación de ordenes de precedencia de Sommerfeld [6] al sistema de ecuaciones presentado. Además se plantea la eliminación del proceso iterativo de prueba y error sugerido por Sommerfeld.

III. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO DE SOMMERFELD.

Con el propósito de que este trabajo sea leído en forma independiente, a continuación se da una descripción del algoritmo de Sommerfeld [6] que incluye ideas de Rudd y Watson [7]. La descripción que se da particulariza el algoritmo para el caso de que el problema bajo estudio no tenga grados de libertad.

ALGORITMO DE SOMMERFELD PARA LA DETERMINACIÓN DE ORDENES DE PRECEDENCIA

1. Construya la matriz de incidencia del sistema de ecuaciones algebraicas a resolver.
2. Seleccione una columna que contenga solo una entrada. Borre la variable correspondiente a esa

columna así como la hilera asociada. En la selección tome en cuenta que si hay más de una columna con una sola entrada, debe seleccionar aquella cuya variable asociada esté definida en forma explícita en la ecuación de la hilera correspondiente, si varias columnas cumplen con esta condición, entonces, seleccione de ellas la columna que produzca la eliminación del mayor número de entradas en la matriz de incidencia.

3. Repita el paso 2 hasta que todas las hileras hayan sido eliminadas.

4. Si al ejecutar los puntos 1, 2 y 3 (y solo ellos) se logra eliminar todas las hileras y columnas de la matriz de incidencia, entonces, se termina con la aplicación del algoritmo. El orden de precedencia sugerido para los cálculos es precisamente el orden inverso de aquel en que fueron eliminadas las hileras y variables de la matriz de incidencia, es decir, se calcula primero la última variable eliminada utilizando la ecuación de la última hilera eliminada, después se calcula la penúltima variable eliminada usando la penúltima ecuación eliminada y así sucesivamente.

En caso de que al ejecutar los puntos 1, 2 y 3 se alcance una situación en que no haya ninguna columna con una sola entrada continúe al punto 5.

5. Defina $k = \min \{z_i\} - 1$, donde z_i es el número de ecuaciones (de las restantes en la matriz de incidencia) en las cuales aparece la variable z_i .

6. Identifique un conjunto de k ecuaciones que tenga la propiedad de que si sus hileras correspondientes son eliminadas de la matriz de incidencia, aparecerá cuando menos una columna con una sola entrada.

7. Elimine de la matriz de incidencia que resta las hileras correspondientes al conjunto de ecuaciones que se seleccionó en 6.

8. Aplique los puntos 2 y 3 del algoritmo. Si nuevamente no se termina la eliminación de hileras y se alcanza una situación en que no haya ninguna columna con una sola entrada entonces pruebe con otro conjunto de k ecuaciones volviendo al punto 6. Si el eliminar cualquier conjunto de k ecuaciones no permite que el algoritmo termine al aplicar 2 y 3, entonces, incremente k en uno y vuelva al punto 6. Si se logró terminar la eliminación de hileras continúe a 9.

9. Observe que una vez que termina la eliminación de hileras permanecerán sin eliminar k variables en la matriz de incidencia. El orden de precedencia recomendado en este caso para resolver el sistema de ecuaciones bajo estudio es el siguiente:

- a) Proponga valores para las k variables que no fueron eliminadas de la matriz de incidencia.
- b) Del mismo modo que se indica en 4, calcule el resto de las variables en el orden inverso en que fueron eliminadas sus respectivas hileras.
- c) Evalúe las ecuaciones correspondientes a las hileras eliminadas en el punto 7, si estas se

satisfacen se habrán terminado los cálculos, si no, proponga nuevos valores para las k variables mencionadas y vuelva al punto b).

IV. APLICACION DEL ALGORITMO Y DISCUSION.

Antes de aplicar el algoritmo de Sommerfeld al sistema de ecuaciones algebraicas no lineales (1-7), lo reescribiremos en notación funcional. Así, el sistema de ecuaciones a resolver es el siguiente:

$$f_1(P, W) = 0 \quad (8)$$

$$f_2(P, E_c) = 0 \quad (9)$$

$$f_3(P, W, T_3) = 0 \quad (10)$$

$$f_4(P, T_3, E_t) = 0 \quad (11)$$

$$f_5(W, E_c, T_2) = 0 \quad (12)$$

$$f_6(W, T_3, T_2) = 0 \quad (13)$$

$$f_7(E_c, E_t, E_s) = 0 \quad (14)$$

La matriz de incidencia de este sistema de ecuaciones se muestra en la figura 2a, las figuras 2b a 2l muestran las matrices reducidas obtenidas al aplicar el método de Sommerfeld. Se puede ver que después del paso C se alcanza una situación en que no hay ninguna columna con una sola entrada (fig. 2c), por eso, se requiere calcular el valor de k . El valor de k , calculado en el paso D, es de uno, esto significa que una de las hileras de la matriz mostrada en la figura 2c debe eliminarse antes de continuar con la aplicación del algoritmo. La eliminación de la hilera (8) no deja ninguna columna con una sola entrada, por lo tanto, se busca otra hilera. Si se elimina alguna de las restantes hileras se obtiene una columna con una sola entrada. Se eliminó la hilera (9) y se continuó con la aplicación del algoritmo quedando finalmente libre la columna correspondiente a la variable W . De acuerdo a Sommerfeld, la secuencia de cálculo recomendada para resolver el sistema de ecuaciones estudiado es la siguiente:

- a) Proponga un valor para W .
- b) Calcule P utilizando la ec. (8).
- c) Calcule T_3 utilizando la ec. (10).
- d) Calcule T_2 utilizando la ec. (13).
- e) Calcule E_c utilizando la ec. (12).
- f) Calcule E_t utilizando la ec. (11).
- g) Calcule E_s utilizando la ec. (14).
- h) Con las variables calculadas, verifique si la ecuación (9) se satisface. Si es así, los cálculos se concluyen, en caso contrario proponga un nuevo valor para W y regrese al paso b).

Este procedimiento de solución basado en prueba y error tiene el inconveniente de no proponer una forma sistemática para resolver para W y se fundamenta en el "buen criterio" del que propone valores para esa variable. Una forma más

eficiente y sistemática de resolver el problema consiste en pensar que la ecuación (9) es una función de W que puede resolverse utilizando el método Newton-Raphson o algún otro que permita resolver una ecuación no lineal con una incógnita. Así, f_2 sería ahora función de la variable W y deberá resolverse $f_2(W) = 0$. La forma de evaluar f_2 sería muy similar a la indicada de a) a h):

- a') Dada W .
- b') Calcule P utilizando la ec. (8).
- c') Calcule T_3 utilizando la ec. (10).
- d') Calcule T_2 utilizando la ec. (13).
- e') Calcule E_c utilizando la ec. (12).
- f') Calcule E_t utilizando la ec. (11).
- g') Calcule E_s utilizando la ec. (14).
- h') Con la ecuación (9) calcule el valor de f_2 .

V. CONCLUSIONES.

En este trabajo se ha probado con un ejemplo la importancia y utilidad que pueden tener la técnicas que, como la de Sommerfeld, permiten determinar secuencias de cálculo para la solución de sistemas de ecuaciones algebraicas no lineales. Stoecker [5] ha sugerido resolver simultáneamente con el método de Newton-Raphson el sistema de siete ecuaciones con siete incógnitas con las que modela un ciclo de Brayton de potencia, este procedimiento de solución es costoso en memoria y tiempo de cómputo. Se ha mostrado que al aplicar el algoritmo de Sommerfeld a este sistema de ecuaciones es posible resolverlo, a manera de prueba y error, proponiendo valores para una sola de las incógnitas del sistema. Sin embargo, el procedimiento de prueba y error que sugiere el algoritmo de Sommerfeld es aun ineficiente y poco sistemático porque se fundamenta en el "buen juicio" del que propone valores para la variable sobre la que se itera. Por esto, a partir de los resultados obtenidos, se ha mostrado la forma de construir una ecuación con una sola incógnita. Esta ecuación puede ser resuelta eficaz y sistemáticamente con cualquier método de solución para una ecuación no lineal con una incógnita.

REFERENCIAS.

1. Chapela Castañares, G.A., et al, "Simulación de una Planta de Proceso", Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, U.N.A.M., 1970.
2. Husain, A., "Chemical Process Simulation", Halsted Press Book, John Wiley & Sons, 1988.
3. Himmelblau, D.M. y Bischoff, K.B., "Análisis y Simulación de Procesos", Ed. Reverté, 1978.
4. Edgar, T.F. & Himmelblau, D.M., "Optimization of Chemical Processes", McGraw-Hill International Edition, 1989.
5. Stoecker, W.F., "Design of Thermal Systems", McGraw-Hill Kogakusha, International Student Edition, 1980.

5. Sommerfeld, J.T., Chemical Engineering Education, Summer, 138, 1986.

6. Rudd, D.F. and Watson, C.C., "Strategy of Process Engineering", Wiley, New York, 1968.

NOTACION

E_t	Potencia total desarrollada por la turbina, definida por la ec.7
E_n	Potencia de salida producida por la turbina, Kw.
E_c	Potencia de la turbina para mover al compresor, Kw.
C_p	Capacidad calorífica a presión constante del fluido de trabajo, K/(Kg K).
N	Número de ecuaciones que se borran de la matriz de incidencia, en el paso 6 y 8 del algoritmo Sommerfeld.
P_1	Presión atmosférica (entrada del ciclo), Kpa.
P_2	Presión a la salida del compresor, Kpa.
P_3	Presión a la salida de la cámara de combustión, Kpa.

P_4	Presión en la descarga de la turbina (Presión atmosférica), Kpa.
P	Presión en la descarga del compresor (ec. 1 y 2). También, presión en la entrada de la turbina (ec. 3 y 4).
q'	Tasa de entrada de energía por la reacción exotérmica en la cámara de combustión, Kw.
T_1	Temperatura ambiente (entrada del ciclo), °C.
T_2	Temperatura a la salida del compresor, °C.
T_3	Temperatura a la salida de la cámara de combustión, °C.
T_4	Temperatura a la salida de la turbina, (temperatura ambiente), °C.
W	Flujo de masa a través del ciclo, Kg/s.
Z	Denota las variables de problema que se resuelve (P, W, E_c , T_2 , T_3 , T_4).
$q(Z)$	Número de ecuaciones en las que aparecen Z_i .
x	Velocidad angular de la turbina/compresor, rev/s. Subíndice para indicar el número de variables de nuestro problema ($i = 1, \dots, 7$).

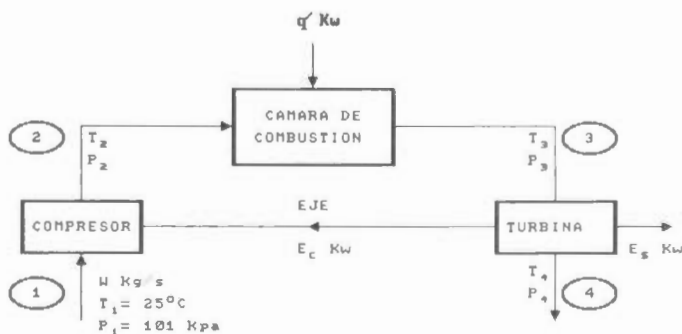


Figura 1. Ciclo Brayton sin regeneración.

PASO A: CONSTRUIR MATRIZ DE INCIDENCIA

	P	W	Ec	T3	Et	T2	Es
(8)	X	X					
(9)	X		X				
(10)	X	X		X			
(11)	X			X	X		
(12)		X	X			X	
(13)		X		X		X	
(14)			X		X		X

Figura 2a.

PASO B: BORRAR Es Y LA EC. (14)

	P	W	Ec	T3	Et	T2
(8)	X	X				
(9)	X		X			
(10)	X	X		X		
(11)	X			X	X	
(12)		X	X			X
(13)		X		X		X

Figura 2b.

PASO C: BORRAR Et Y LA EC. (11)

	P	W	Ec	T3	T2
(8)	X	X			
(9)	X		X		
(10)	X	X		X	
(12)		X	X		X
(13)		X		X	X

Figura 2c.

PASO D: CALCULAR $k = \min q(z_i) - 1$

- $q(P) = 3$
 - $q(W) = 4$
 - $q(Ec) = 2$
 - $q(T3) = 2$
 - $q(T2) = 2$
 - $\min q(z_i) = 2$
- $k = 1$

Figura 2d.

PASO E: BORRAR LA EC. (9)

	P	W	Ec	T3	T2
(8)	X	X			
(10)	X	X		X	
(12)			X		X
(13)		X		X	X

Figura 2e.

PASO F: BORRAR Ec. Y LA EC. (12)

	P	W	T3	T2
(8)	X	X		
(10)	X	X	X	
(13)		X	X	X

Figura 2f.

PASO G: BORRAR T2. Y LA EC. (13)

	P	W	T3
(8)	X	X	
(10)	X	X	X

Figura 2g.

PASO H: BORRAR T3. Y LA EC. (10)

	P	W
(8)	X	X

Figura 2h.

PASO I: BORRAR P Y LA EC. (8)

W

Figura 2i.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial data. This includes not only sales and purchases but also expenses and income. The document provides a detailed list of items that should be tracked, such as inventory levels, accounts payable, and accounts receivable. It also outlines the procedures for recording these transactions, including the use of double-entry bookkeeping to ensure that the books balance.

The second part of the document focuses on the analysis of the financial data. It explains how to calculate key financial ratios and metrics, such as the gross profit margin, operating profit margin, and return on investment. These calculations are essential for understanding the company's financial performance and identifying areas for improvement. The document also discusses the importance of comparing the company's performance to industry benchmarks and providing a clear explanation of the reasons for any variances.

The final part of the document covers the preparation of financial statements. It provides a step-by-step guide to creating the income statement, balance sheet, and cash flow statement. It also discusses the importance of auditing the financial statements to ensure their accuracy and reliability. The document concludes with a summary of the key findings and recommendations for the future, emphasizing the need for continued monitoring and reporting of financial performance.

METODOLOGIA PARA DETERMINAR A LOS PARAMETROS FUNDAMENTALES DE UNA TURBINA DE GAS (CICLO DE JOULE)

R. LUGO L.¹, E. DE MARIA Y CAMPOS M.²

¹ Ingeniería en Recursos Energéticos, Departamento de I.P.H., UAM-I, Apdo Postal 55-534, México, D.F.
² Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del I.P.N. Unidad Azcapotzalco, México, D.F.

RESUMEN

Se presenta la metodología para calcular los parámetros de las TG. Aplicando esta metodología se obtiene la relación de presiones óptima del compresor de una TG que genera 3000 kW_e y que además la temperatura de los gases a la entrada de la turbina sea de 1000 °C. Con esta relación de presiones se estudia el comportamiento de dicha máquina a cargas parciales diferentes, y finalmente se calculan los calores específicos a presión constante de la mezcla aire - gases de combustión a cargas parciales diferentes.

1. INTRODUCCION

La turbina de gas es una máquina térmica y su operación se basa en el ciclo termodinámico de Joule-Brayton. Entonces, para entender a ésta, es necesario tener un conocimiento muy profundo de los parámetros termodinámicos que intervienen en este ciclo.

Al realizar un análisis de alguna TG, no se parte de ninguna información específica, debido a que no se estudia a una en particular, y en el caso de que se hiciera, lo más probable es que el fabricante no proporcionaría la información requerida para realizar dicho análisis. Debido a esto, es necesario desarrollar una metodología para determinar los parámetros fundamentales de la TG, a la vez se tiene una mayor claridad del funcionamiento y además se adquiere un mayor criterio para poder tomar decisiones de selección de este tipo de máquinas en un momento dado.

Al hacer un estudio de los parámetros de la TG, se obtienen las herramientas necesarias para evaluarla, conocería mejor, además, se pueden conocer cuales son los parámetros que no se pueden modificar, los parámetros que se pueden mejorar y que parámetros se pueden variar en un rango adecuado; y de esta manera poder hacer un uso óptimo de esta máquina y un uso más eficiente de la energía.

La industria mexicana también se ha visto favorecida con esta sorprendente máquina, ya que existe una gran cantidad de TG, particularmente en la Comisión Federal de Electricidad, Petróleos Mexicanos y Altos Hornos de México, donde ha encontrado fecundos campos de aplicación en diversas áreas; éstas son de diferentes marcas, y que además, no trabajan en los mismos rangos de operación, tales como, la

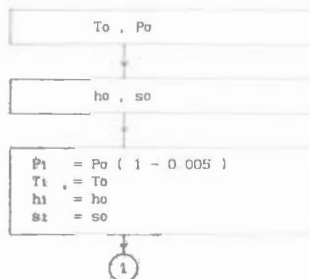
relación de presiones y la temperatura de los gases a la entrada de la turbina.

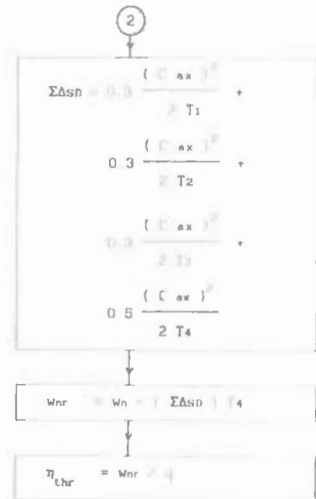
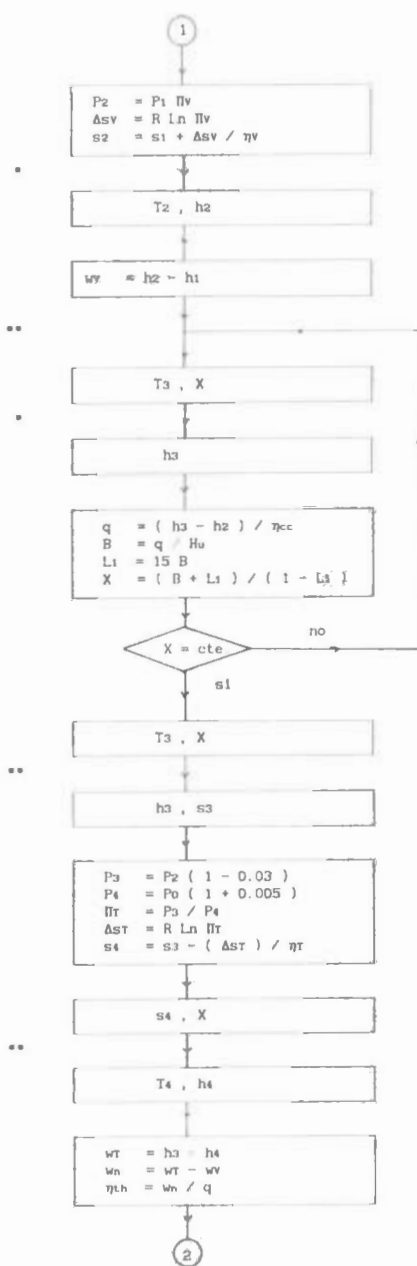
Una de las TG más representativas en la industria mexicana, es aquella en la cual, la temperatura de los gases a la entrada de la turbina es de 1273.15 K y que proporciona 3000 kW_e de potencia, por estas razones, se eligen dichas condiciones de operación, para realizar los análisis subsiguientes.

2. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS FUNDAMENTALES DE LA TURBINA DE GAS PROTOTIPO

A partir del ciclo termodinámico de Joule-Brayton, el cual se muestra en la figura 1 y de la teoría de la "Determinación de la variación de estado en turbomáquinaria por medio del incremento de entropía" [1], se desarrolla la metodología para determinar los parámetros fundamentales.

La metodología desarrollada [4] se presenta en el siguiente diagrama de flujo:





- * en tablas para aire [2]
- ** en el diagrama de Sahlberg

Para hacer el análisis del ciclo termodinámico de Joule-Brayton con la metodología antes descrita, es necesario conocer los siguientes parámetros:

- caídas de presión en los difusores (0.3)
- caída de presión en la cámara de combustión, 3 %
- coeficientes de pérdida (xi) de los difusores, 0.3 en los tres primeros y 0.5 en el último
- velocidad absoluta (C), 300 m/s
- poder calorífico del combustible (H_u), 44000 kJ/kg
- temperatura de los gases a la entrada de la turbina (T₃), 1273.15 K
- Temperatura del combustible (T_c), 300.15 K
- rendimiento politrópico del compresor (η_v), 88 %
- rendimiento politrópico de la turbina (η_T), 90 %
- rendimiento de combustión (η_{cc}), 90 %

Los parámetros que se obtienen al realizar el análisis del ciclo termodinámico de Joule-Brayton son:

- temperatura, presión, entalpía y entropía a la entrada y salida del compresor, cámara de combustión y de la turbina
- trabajo suministrado al compresor
- cantidad de gases de combustión en la mezcla aire - gases de combustión
- calor suministrado
- relación aire - combustible
- pérdidas de energía en los difusores
- trabajo que entrega la turbina
- rendimiento del ciclo

En la figura 1, se muestra un diagrama esquemático de las componentes y uniones de una TG, y se marcan los parámetros antes mencionados.

Para iniciar el análisis de la TG, se considera que las condiciones atmosféricas son la temperatura y presión de la norma ISO (International Standard Organization), las cuales son $T_0 = 288.15 \text{ K}$ y $P_0 = 1 \text{ bar}$ respectivamente [3].

Para calcular el valor de la entalpía y la entropía a la entrada de la turbina (h_3, s_3), se necesita conocer la cantidad de gases de combustión (X) que hay en la mezcla aire-gases de combustión; ésta se obtiene en el diagrama de Sahlberg [4].

El procedimiento a seguir es el siguiente:

a) - con la temperatura a la entrada de la turbina (T_3) y suponiendo que la mezcla sólo es aire, se obtiene el valor de la entalpía de dicho estado [2].

b) - con este valor de la entalpía se obtiene la cantidad de gases de combustión que se encuentran en la mezcla, siguiendo la secuencia del diagrama de flujo anterior.

c) - con la temperatura a la entrada de la turbina (T_3) y la cantidad de gases de combustión (X) calculada en el paso anterior, se entra al diagrama de SAHLBERG, y se obtiene el valor de la entalpía de la mezcla aire-gases de combustión que entra a la turbina.

d) - se repite el procedimiento, desde el paso b al paso c, hasta que el valor de la cantidad de gases de combustión en la mezcla permanezca constante.

Conociendo la cantidad de gases de combustión (X) y la temperatura a la entrada de la turbina (T_3), en el diagrama de Sahlberg se obtienen los valores de la entalpía y la entropía a la entrada de la turbina (h_3, s_3).

3. PARAMETROS FUNDAMENTALES DE UNA TG A RELACIONES DE PRESIONES DIFERENTES Y A UNA TEMPERATURA DE LOS GASES A LA ENTRADA DE LA TURBINA DE 1273.15 K

Uno de los parámetros más importantes en las TG, es la relación de presiones, debido a que el tamaño de la máquina depende fuertemente de ésta; entonces, es necesario obtener la relación de presiones óptima de operación para las condiciones antes dadas.

Con la metodología presentada anteriormente se analiza a una TG, para un caso particular, en el cual la temperatura de los gases a la entrada de la turbina es de 1273.15 K para relaciones de presiones de 2, 4, 8, 10, 12, 14, y 16, con la finalidad de obtener la relación de presiones óptima para generar 3000 kW.

El criterio para obtener la relación de presiones óptima, es obtener el trabajo neto

máximo, aunque no se obtenga el rendimiento termodinámico máximo del ciclo termodinámico de Joule para esta relación de presiones.

Al realizar el análisis de la TG con la metodología presentada para las condiciones dadas anteriormente, resulta que, para una relación de presiones del compresor de 12 el trabajo es máximo; y el rendimiento máximo del ciclo se tiene cuando la relación de presiones es de 14. En la figura 3 se presentan las gráficas para el rendimiento y trabajo termodinámico en función de la relación de presiones, para una temperatura de los gases de entrada a la turbina de 1273.15 K; en ellas se muestra el criterio antes mencionado.

Uno de los motivos por lo cual se elige la relación de presiones de 12, es por cuestiones económicas, ya que si se eligiera la de 14, se requeriría de un compresor y de una turbina de mayor capacidad, y esto trae como consecuencia un incremento en el precio de la TG.

En la tabla 1, se presentan los valores de los parámetros de las componentes de la TG, para las condiciones de operación antes mencionadas.

4. TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE A CARGAS PARCIALES.

La carga parcial a la cual trabaja una turbina de gas debe tenerse en consideración, debido a que la temperatura de los gases de escape es función de la carga. En efecto, al 100 % de carga, una turbina de gas expulsa los gases a su máxima temperatura. A carga cero, la temperatura de los gases de escapes será mínima y corresponde al estado en el cual la turbina de expansión genera únicamente la potencia necesaria para mover a su compresor y auxiliares, que totalizan aproximadamente las 2/3 partes de la potencia máxima capaz de generar la turbina.

Al hacer el análisis de los gases de escape a cargas parciales, se obtiene cual es la temperatura mínima de los gases a la que pueden entrar a la turbina (T_3). Este límite inferior, es cuando el trabajo neto real de la TG es cero, o sea, sin carga.

La metodología que se emplea para hacer el análisis de los gases de escape a cargas parciales, es la misma que se requiere para determinar la relación de presiones óptima, pero ahora se hace manteniendo constante el valor de la relación de presiones en 12 y variando la temperatura de los gases a la entrada de la turbina (T_3), o sea, desde la carga máxima hasta la carga mínima.

En la figura 4, se muestra como varía el trabajo con respecto a las cargas parciales, y se observa que al ir disminuyendo esta el trabajo que proporciona la TG también disminuye. También se puede ver que para una carga por debajo de 800.15 K el trabajo es negativo; entonces, para los análisis posteriores, el límite inferior de la carga parcial a la cual opera la turbina es de

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial statements. This includes not only sales and purchases but also expenses, income, and transfers between accounts.

The second part of the document provides a detailed breakdown of the accounting cycle. It outlines the ten steps involved in the process, from identifying the accounting entity to preparing financial statements. Each step is explained in detail, with examples provided to illustrate the concepts.

The third part of the document focuses on the classification of accounts. It discusses the different types of accounts used in accounting, such as assets, liabilities, equity, revenue, and expense accounts. It explains how these accounts are organized into a chart of accounts and how they are used to record transactions.

The fourth part of the document covers the journalizing process. It describes how transactions are recorded in the journal, including the use of debits and credits. It provides examples of journal entries for various types of transactions, such as sales, purchases, and adjustments.

The fifth part of the document discusses the posting process. It explains how the journal entries are transferred to the ledger accounts. It describes the different types of ledger accounts, such as T-accounts and multi-column accounts, and how they are used to summarize the data.

The sixth part of the document covers the trial balance. It explains how a trial balance is prepared and what it represents. It discusses the importance of the trial balance in detecting errors and ensuring the accuracy of the accounting records.

The seventh part of the document discusses the closing process. It explains how the temporary accounts (revenue, expense, and dividend accounts) are closed to the permanent accounts (assets, liabilities, and equity accounts). It provides examples of closing entries and explains the effect of closing on the accounts.

The eighth part of the document covers the preparation of financial statements. It discusses the different types of financial statements, such as the balance sheet, income statement, and statement of cash flows. It explains how these statements are prepared and what they represent.

The ninth part of the document discusses the importance of adjusting entries. It explains how adjusting entries are used to ensure that the financial statements reflect the true financial position of the company at the end of the period. It provides examples of adjusting entries for accrued expenses, accrued revenues, and depreciation.

The tenth part of the document covers the final steps of the accounting cycle. It discusses the importance of reviewing the financial statements and the journal and ledger accounts to ensure their accuracy. It also discusses the importance of archiving the records for future reference.

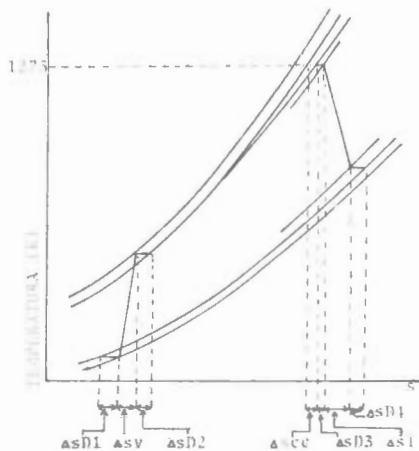
m_a flujo másico de aire (kg / s)
 m_c flujo másico de combustible (kg / s)
 D relación de combustible-aire (kgc / kg)
 C_{pcc} calor específico a presión constante de los gases de escape (kJ / kg K)

Subíndices

- 0 condiciones ISO
- 1 entrada del compresor
- 2 salida del compresor
- 3 entrada de la turbina
- 4 salida de la turbina

8 REFERENCIAS

- 1 - De María y Campos Eduardo Fundamentos de Turbinas de Gas Publicaciones I.S.I.M.F., México, D.F., 1987
- 2 - H.I. Rivkin Propiedades Termodinámicas de los Gases MIR 1979.
- 3 - I Ushiyama Theoretically Estimating The Performance of Gas Turbines Under Varying Atmospheric Conditions. ASME April 7, 1975
- 4 - Lugo Leyte R Tesis de Maestría Sección de Graduados de la ESIME del IPN, 1990



Δs_v incremento de entropía en el compresor
 Δs_t incremento de entropía en la turbina
 Δs_D incremento de entropía en los difusores
 Δs_{cc} incremento de entropía debido a la caída de presión en la cámara de combustión

Fig 2 - Ciclo de Joule utilizado para determinar los parámetros fundamentales de una Turbina de Gas

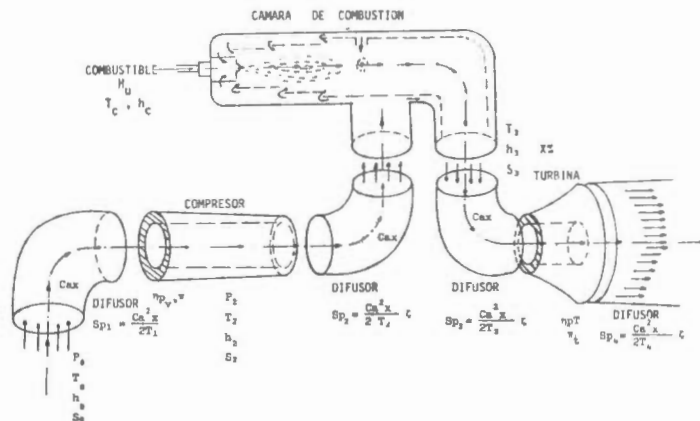


Fig. 1.- Diagrama esquemático de los componentes y uniones de una Turbina de Gas.

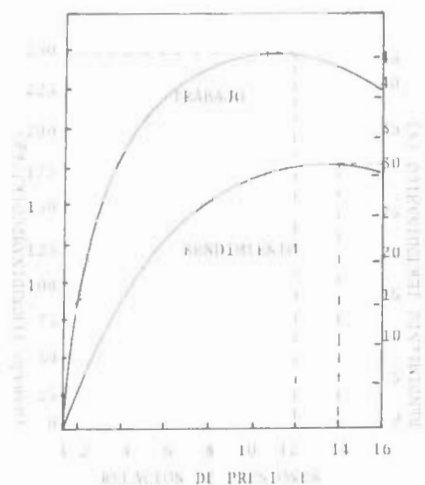


Fig. 1.- Rendimiento y trabajo termodinámico de una Turbina de Gas, en función de la relación de presiones y para una temperatura de los gases a la entrada de la turbina de 1273 K.

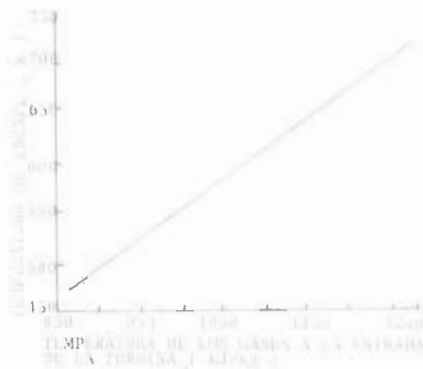


Fig. 2.- Temperatura de los gases de escape de una Turbina de Gas para una relación de presiones de 12, para cuatro presiones diferentes.

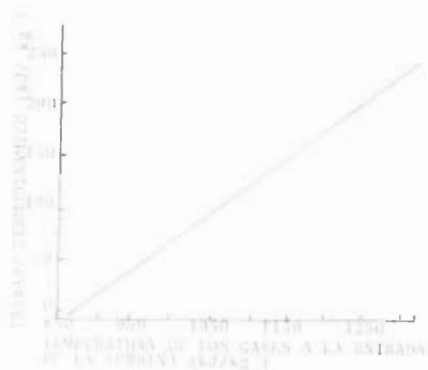


Fig. 3.- Trabajo termodinámico de una Turbina de Gas para una relación de presiones de 12, para cuatro presiones diferentes.

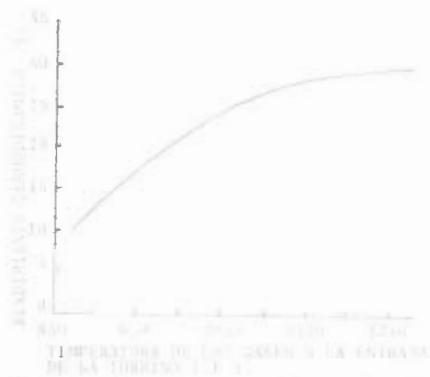


Fig. 4.- Rendimiento termodinámico de una Turbina de Gas para una relación de presiones de 12 y cuatro presiones diferentes.

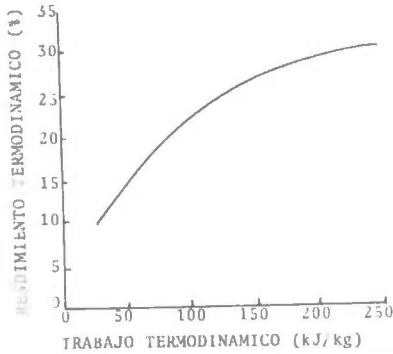


Fig. 7.- Rendimiento termodinámico en función del trabajo termodinámico a una relación de presiones de 12 y cargas parciales diferentes.

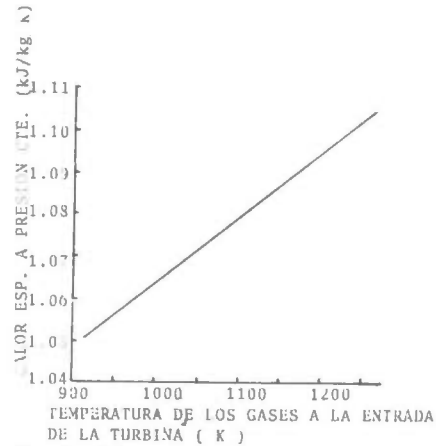


Fig. 8 - Calor específico a presión constante de los gases a una relación de presiones de 12 y cargas parciales diferentes.

π_v	2	4	6	8	10	12	14	16
To	288.150	288.150	288.150	288.150	288.150	288.150	288.150	288.150
Po	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
ho	288.270	288.270	288.270	288.270	288.270	288.270	288.270	288.270
T1	288.150	288.150	288.150	288.150	288.150	288.150	288.150	288.150
P1	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995
h1	288.270	288.270	288.270	288.270	288.270	288.270	288.270	288.270
s1	6.661	6.661	6.661	6.661	6.661	6.661	6.661	6.661
P2	1.990	3.980	5.970	7.960	9.950	11.940	13.930	15.920
Asv	0.198	0.397	0.514	0.596	0.660	0.713	0.757	0.795
s2	6.887	7.113	7.246	7.339	7.412	7.427	7.522	7.566
T2	360.792	450.932	512.975	561.560	602.003	636.911	667.768	695.483
h2	361.319	452.728	516.388	566.760	609.085	645.909	678.705	708.356
wv	73.049	164.008	228.118	278.490	320.815	357.629	390.453	420.086
T3	1273.150	1273.150	1273.150	1273.150	1273.150	1273.150	1273.150	1273.150
h3	1484.000	1471.000	1456.000	1449.000	1444.000	1436.000	1432.000	1428.000
q	1145.592	1039.050	958.770	900.240	851.953	806.215	768.660	734.320
B	0.026	0.023	0.022	0.020	0.019	0.018	0.017	0.016
L1	0.390	0.354	0.327	0.307	0.290	0.275	0.262	0.250
X	0.683	0.585	0.518	0.472	0.436	0.404	0.378	0.356
s3	8.404	8.382	8.363	8.355	8.348	8.339	8.334	8.329
P3	1.930	3.860	5.791	7.721	9.651	11.581	13.512	15.442
Tr	1.920	3.841	5.762	7.682	9.603	11.524	13.444	15.365
AsT	0.187	0.386	0.503	0.585	0.649	0.701	0.745	0.784
s4	8.236	8.034	7.911	7.828	7.763	7.708	7.662	7.633
P4	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005
T4	1095.000	933.000	843.000	791.000	747.140	718.000	685.000	673.000
h4	1267.000	1055.000	941.000	869.000	821.380	778.000	746.000	728.000
wT	217.000	416.000	515.000	580.000	622.620	658.000	686.000	700.000
wv	143.960	252.000	286.882	301.509	301.804	300.370	295.560	279.920
η_{th}	0.125	0.242	0.299	0.335	0.354	0.371	0.384	0.381
ΣAsD	0.078	0.075	0.073	0.072	0.073	0.072	0.072	0.072
$\Sigma AsD/T_4$	86.258	69.918	61.978	57.487	54.029	51.699	49.336	48.229
wTr	57.690	182.080	224.900	244.011	247.680	248.671	246.220	231.690
η_{Tr}	0.050	0.175	0.234	0.271	0.290	0.308	0.320	0.315

Tabla 1.- Parámetros del Ciclo de Joule a relaciones de presión diferentes.

T ₁	1273 150	1223 150	1173 150	1123 150	1073 150	1023 150	973 150	923 150	873 150	823 150
h ₀	1436 000	1387 000	1298 000	1231 000	1187 000	1107 000	1039 000	979 000	916 700	856 400
q	806 215	735 807	665 398	597 031	531 183	465 398	401 112	338 860	276 317	216 607
B	0 018	0 016	0 015	0 013	0 012	0 010	0 009	0 007	0 006	0 005
L ₁	0 275	0 251	0 229	0 203	0 181	0 158	0 136	0 115	0 094	0 074
X	0 404	0 357	0 313	0 272	0 238	0 201	0 169	0 139	0 111	0 085
g ₀	8 334	8 283	8 225	8 163	8 105	8 040	7 976	7 910	7 840	7 768
P ₃	11 581	11 581	11 581	11 581	11 581	11 581	11 581	11 581	11 581	11 581
Π ₇	11 524	11 524	11 524	11 524	11 524	11 524	11 524	11 524	11 524	11 524
Δs _T	0 701	0 701	0 701	0 701	0 701	0 701	0 701	0 701	0 701	0 701
s ₄	7 708	7 652	7 593	7 532	7 474	7 408	7 344	7 278	7 208	7 137
P ₄	1 005	1 005	1 005	1 005	1 005	1 005	1 005	1 005	1 005	1 005
T ₄	18 000	684 000	652 000	628 000	595 000	560 000	527 000	507 000	477 000	462 100
h ₄	78 000	741 000	701 000	664 400	628 330	590 000	560 000	526 000	491 000	461 100
w _T	658 000	626 000	597 000	566 600	538 730	512 000	479 000	452 000	424 700	394 210
w _h	300 370	268 371	239 371	208 979	181 100	154 370	121 370	94 370	68 070	30 581
η _{th}	0 372	0 364	0 359	0 350	0 342	0 331	0 322	0 278	0 246	0 168
ΣΔs ₀	0 072	0 071	0 074	0 075	0 076	0 077	0 075	0 080	0 081	0 083
ΣΔs ₀ T ₄	51 669	43 155	48 275	46 902	45 357	43 676	42 408	40 831	46 103	38 746
w _{hr}	248 671	215 215	191 095	162 068	135 742	110 031	78 061	53 539	27 966	2 164
η _{thr}	0 408	0 292	0 287	0 271	0 256	0 237	0 206	0 157	0 101	0 000
C _{oper}	1 153	1 099	1 090	1 081	1 074	1 068	1 062	1 051	0 000	0 000

Tabla 2 - Parámetros del Ciclo de Joule a cargas parciales diferentes.

PROCEDIMIENTOS COMPUTACIONALES PARA EL MANEJO DE LA INFORMACION
EMPLEADA EN EL MODELADO DE LA DISPERSION ATMOSFERICA DE CONTAMINANTES

R. Saldaña, M. Muriel

Instituto de Investigaciones Eléctricas
Apdo. Postal 475, Col. Centro
Cuernavaca, Mor., C.P. 62000
MEXICO

RESOMEN

En el presente trabajo se anotan los procedimientos computacionales desarrollados para el manejo de información utilizada por algunos modelos de dispersión de contaminantes. Mediante tales procedimientos es posible el cálculo, la clasificación, depuración y ahorro de tiempo en el manejo de los mismos.

INTRODUCCION

Un aspecto de suma importancia dentro del modelado de la dispersión atmosférica y la obtención de los niveles de concentración de contaminantes en áreas de interés, es el relacionado con el manejo de la información empleada por los modelos de dispersión atmosférica de tipo Gaussiano.

Para tener un panorama real de la contaminación en la zona de impacto de la (s) -- fuente (s) bajo estudio, es necesario conocer la contribución de las otras fuentes contaminantes que se encuentren en la zona o que impacten a la misma. Sin embargo muchas veces no se cuenta con los datos de emisión correspondientes, requiriéndose llevar a cabo un balance estequiométrico de las reacciones de combustión, en las que se involucra el gasto y composición del combustible, teniendo en primera instancia un valor de los productos de combustión bajo condiciones ideales.

Otro tipo de información que requiere tratamiento estadístico es la meteorológica, requiriéndose básicamente datos del medio ambiente atmosférico de la zona de estudio, como son: velocidad del viento, dirección, temperatura, humedad, presión, altura de mezcla, etc. Información como velocidad y dirección de viento es clasificada en forma matricial, dependiendo por un lado de la dirección, intensidad y condición de estabilidad.

Una vez que se encuentra lista la información para su introducción a los modelos

de dispersión, se pueden tomar dos alternativas: introducirla manualmente dato por dato, o bien, correr un programa que maneje las bases de datos correspondientes con la información que va a ser introducida a los modelos de dispersión. Esta última opción es muy recomendable ya que el manejo de la información resulta más efectivo evitando en cierto modo el cometer errores al teclear la información.

En este caso pueden ser introducidos solo algunos datos específicos que sean característicos de la corrida, y las bases de datos en sí, serían manejadas en forma transparente.

PROGRAMA BALANCE

a) Objetivo

El programa BALANCE tiene por objeto determinar:

- Volumen de gases secos (m^3)
- Volumen de gases húmedos (m^3)
- Concentración de SO_2 , en base seca ($\mu g/m^3$) y (ppm)
- Concentración de NO_x , en base seca ($\mu g/m^3$) y (ppm)
- Concentración de SO_2 , en base húmeda ($\mu g/m^3$) y (ppm)
- Concentración de NO_x , en base húmeda ($\mu g/m^3$) y (ppm)
- Velocidad de emisión (m/s)
- Emisión de SO_2 , en base seca (g/s)
- Emisión de NO_x , en base seca (g/s)

- Emisión de SO₂, en base húmeda (g/s)
- Emisión de NO_x, en base húmeda (g/s)

b) Información de entrada

Los datos de entrada al programa son:

Composición del combustible

- % de Carbono
- % de Hidrógeno
- % de Azufre
- % de Nitrógeno
- % de Oxígeno
- % de Cenizas
- Temperatura de los gases de salida (°C)
- Presión de los gases de salida (mmHg)
- % Exceso de Oxígeno
- Humedad (kg-H₂O/kg-Aire)
- Gasto de combustible (Ton/hr)

c) Procedimiento

Bloque No. 1

- Entrada de:

- Nombre del archivo de salida, ARCHSAL\$
- Título de la corrida, TITLES
- % de Carbono, PCARBONO
- % de Hidrógeno, PHIDROGENO
- % de Azufre, PAZUFRE
- % de Nitrógeno, PNITROGENO
- % de Oxígeno, POXIGENO
- % de Cenizas, PCZ

Bloque No. 2

- Cálculo de la masa de aire estequiométrico

$$PC = PCARBONO * 10$$

$$PO2C = \frac{PC * 32}{12.1}$$

$$PH = PHIDROGENO * 10$$

$$PO2H = \frac{PH * 32}{4.032}$$

$$PS = PAZUFRE * 10$$

$$PO2S = \frac{PS * 32}{32.06}$$

$$PN = PNITROGENO * 10$$

$$PO2N = \frac{PN * 32}{28.02}$$

$$PO = POXIGENO * 10$$

$$POCZ = \frac{PCZ * 32}{8.4571}$$

$$PPT = PC + PH + PS + PN + PO + PCZ$$

$$PONE = PO2C + PO2H + PO2S + PO2N - PO + POCZ$$

$$MAE = \frac{PONE}{0.2314}$$

Bloque No. 3

- Cálculo de la masa de nitrógeno estequiométrico.

$$MNE = MAE * (1.0 - 0.2314)$$

Bloque No. 4

- Cálculo de los productos finales

$$PCO2 = \frac{PO2C * 44.01}{32}$$

$$PH2O = \frac{PO2H * 18.016 * 2}{32}$$

$$PSO2 = \frac{PO2S * 64.06}{32}$$

$$PNO = \frac{PO2N * 30.01 * 2}{32}$$

$$PFE = PCO2 + PH2O + PSO2 + PNO + MNE$$

Bloque No. 5

- Entrada de temperatura TC (°C) y presión de los gases de chimenea PRTC (mmHg).

Bloque No. 6

- Cálculo de las densidades corregidas de los productos finales

$$TAC = TC + 273.17$$

$$TPCOR = \frac{298.17}{TAC} * \frac{PRTC}{100}$$

$$DCO2 = 1.827 * TPCOR$$

$$DH2O = 2.66 * TPCOR$$

$$DNO2 = 2.0529 * TPCOR$$

$$DN2 = 1.163 * TPCOR$$

$$DO2 = 1.328 * TPCOR$$

Bloque No. 7

- Cálculo del volumen de los productos de combustión

$$PNO2 = PNO$$

$$VEH2O = \frac{62.358 * TAC}{PRTC * 18.0152}$$

$$VCO2 = \frac{PCO2}{DCO2}$$

$$CH2O = PH2O * VEH2O$$

$$VSO2 = \frac{PSO2}{DSO2}$$

$$VNO2 = \frac{PNO2}{DNO2}$$

$$VN2 = \frac{MNE}{DN2}$$

Bloque No. 8

- Cálculo de NO_x

$$VNOX = VNO2$$

Bloque No. 9

- Cálculo del volumen total de los gases

$$VTGE = VCO2 + VSO2 + VNOX + VN2$$

Bloque No. 10

- Cálculo de la concentración de SO₂ y -- NO_x, base seca (ppm)

- Entrada del exceso de oxígeno en la des carga POEX

$$VTG = \frac{VTGE}{1.0 - \frac{POEX}{100} * 1.0 - \frac{0.79}{0.21}}$$

$$1.0 - \frac{POEX}{100} * 1.0 - \frac{0.79}{0.21}$$

$$PMSO2 = \frac{VSO2}{VTG} * 1000000$$

$$PMNOX = \frac{VNOX}{VTG} * 1000000$$

Bloque No. 11

- Cálculo de la concentración de SO₂ y NO_x (μg/m³)

$$CSO2 = PMSO2 * \frac{64.06}{24.0533}$$

$$CNOX = PMNOX * \frac{46.01}{24.0533}$$

Bloque No. 12

- Entrada de la humedad de aire HUMEDAD - (kg H₂O/kg Aire)

- Cálculo de la concentración de SO₂ y -- NO_x, base húmeda (ppm, μg/m³)

$$VAEX = \frac{POEX}{100} * VTGE + \frac{0.79}{0.21}$$

$$DA = 1.2920 * \frac{273}{TAC}$$

$$MAEX = VAEX * DA$$

$$MTA = MAE * MAEX$$

$$MAA = MTA * HUMEDAD$$

$$MTAG = MAA + PH2O$$

$$VTAG = MTAG + VEH2O$$

$$VTGH = VTG + VTAG$$

$$PMSO2H = \frac{VSO2 * 1000000}{VTGH}$$

$$PMNOXH = \frac{VNOX * 1000000}{VTGH}$$

$$ENOXBH = \frac{CNOX}{3600000} * GVT$$

$$CSO2H = PMSO2H * \frac{64.06}{24.0533}$$

$$CSO2H = PMSO2H * \frac{64.06}{24.0533}$$

Bloque No. 13

- Entrada de gasto de combustible GASTO
- Entrada de diámetro interno de a chimenea D.
- Cálculo de la velocidad de emisión (m/s).

$$GVT = VTGH * GASTO$$

2

$$AREA = 3.1416 * \frac{D^2}{4}$$

$$V = \frac{GTA}{AREA * 3600}$$

Bloque No. 14

- Cálculo de la emisión (g/s)

$$ESO2BS = \frac{CSO2}{3600000} * GVT$$

$$ENOXBS = \frac{CNOX}{3600000} * GVT$$

$$ESO2BH = \frac{CSO2H}{3600000} * GVT$$

PROGRAMA CLIMAT.

a) Objetivo

Este programa tiene por objeto determinar seis matrices para cada tipo de estabilidad según la escala de Pasquill. Cada matriz está formada de 6 columnas correspondientes a las clases normalizadas de velocidad de viento, y 16 renglones correspondientes a cada uno de los sextantes que representan la dirección.

La salida puede representarse de la siguiente manera:

		C1		C6	
Est. A	NNE	F(1,1,1)	....	F(1,6,1)	
Est. A	NE	F(1,1,2)	....	F(1,6,2)	
.	
Est. A	NNW	F(1,1,16)	....	F(1,6,16)	
Est. B	NNE	F(2,1,1)	....	F(2,6,1)	
.	
Est. B	NNW	F(2,1,16)	....	F(2,6,16)	
Est. C	NNE	F(3,1,1)	....	F(3,6,1)	
.	
Est. F	NNW	F(6,1,16)	....	F(6,6,16)	

Además de la elaboración del archivo de las matrices de estabilidad se imprime en pantalla el status del procesamiento de la información donde aparece:

- Día
- Hora
- Velocidad (m/s)
- Dirección
- No. de datos
- Temperatura máxima (°C)
- Temperatura mínima (°C)
- Temperatura media (°C)
- Frecuencia de velocidades por clases normalizadas
- Frecuencia de rumbos
- Estabilidad según la clasificación de Pasquill
- No. de datos empleados

b) Información de entrada

Los datos de entrada son valores horarios de:

- Día
- Velocidad
- Dirección
- Temperatura
- Humedad
- Precipitación

c) Procedimiento

Bloque No. 1

- Lectura del registro con los datos de entrada, REGISTRO\$
- Conversión de la información contenida en REGISTRO\$

NODATOS = Número de datos leídos
 DIA = Día
 VELOCIDAD = Velocidad horaria (m/s)
 DIRECCION = Dirección del viento
 TEMPERATURA = Temperatura media (°C)
 HUMEDAD = Humedad relativa (%)
 PRECIPITACION = Precipitación pluvial (mm)

Bloque No. 2

- Cálculo de las frecuencias en las matrices de estabilidad

BASEDATOS (X%, Y%, Z%) = BASEDATOS (X%, Y%, Z%) + 1

1 ≤ X% ≤ 6

1 ≤ Y% ≤ 6

1 ≤ Z% ≤ 16

Siendo:

X% = Clase de estabilidad según la escala de Pasquill.

Y% = Clase de velocidad normalizada para la cual:

LIMINF ≤ VELOCIDAD ≤ LIMSUP

LIMINF = Límite inferior de la clase normalizada

LIMSUP = Límite superior de la clase normalizada

Z% = Dirección del viento representada en sextantes.

Bloque No. 3

- Cálculo de las frecuencias relativas

BASEDATOS (I, J, K) = BASEDATOS (I, J, K) / NODATUTI

NODATUTI = No. de datos útiles

- Impresión de las matrices de frecuencias relativas de acuerdo al formato de entrada del programa VALLEY

PROGRAMA CIVALLEY

Este programa tiene por objeto elaborar las bases de datos utilizadas por el programa VALLEY el cual es un modelo aprobado por la EPA para la estimación de la dispersión de contaminantes en terrenos moderadamente complejos.

Las bases de datos creadas por CIVALLEY contienen la siguiente información:

General:

- Matriz de alturas de los receptores (los receptores están dispuestos en forma radial en cada uno de los 16 rumbos, a una distancia de 15/7 km) (ft)
- Presión (mb)
- Temperatura (°C)
- Variable de control
- Identificación de la corrida
- Control de escala
- Peso molecular del gas
- Altura de mezcla máxima media vespertina (m)
- Número de fuentes
- Modo de operación
- Dispositivo de impresión
- Selección del tipo de medio ambiente (urbano o rural)
- Control de salida
- Altura de mezcla (medio ambiente urbano) (m)
- Vida media del contaminante (hr)
- Opción para el tipo de promediación
- Velocidades medias en los intervalos de velocidad empleados para el cálculo de las matrices de estabilidad (WSA(I)).
- Matrices de estabilidad (frecuencias relativas)

Por fuente:

- Identificación
- Tasa de emisión (g/s)
- Temperatura del efluente (K)
- Velocidad del efluente (m/s)
- Diámetro de la chimenea (m)
- Tasa de flujo volumétrico (M³/s)
- Coordenada horizontal de la fuente
- Elevación de la fuente (ft)
- Ancho de la superficie cuadrado de la fuente (m)
- Altura de la pluma (m)

c) Procedimiento

El programa va requiriendo la información a través de entradas (INPUT) y envía a un archivo cuyo formato coincide con el usado por el programa VALLEY. Para el caso de las matrices de estabilidad, creadas por el archivo CLIMAT, el programa solicita el nombre del archivo donde estas se encuentran, lo abre, las lee y las deposita en el lugar correspondiente del archivo de salida.

OBSERVACIONES.

Existen actualmente en el mercado procesa

dores meteorológicos que elaboran las bases de datos correspondientes a la meteorología de un sitio para ser usados por los modelos de dispersión reconocidos por la EPA, solo que éstos accesan la información respecto a ciertas normas americanas.

Los programas aquí presentados fueron elaborados considerando un formato de la información de entrada específico.

En cuanto al balance estequiométrico de las reacciones de combustión realizado por el programa BALANCE, se consideran condiciones ideales y la operación del sistema contaminante a plena carga.

BIBLIOGRAFIA.

M. Muriel, R. Saldaña
Balance Estequiométrico de Reacciones de Combustión en Centrales Termoeléctricas
Informe IIE/12/2577/I-08/P.
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Marzo de 1990.

R. Saldaña, M. Muriel
Programa CBVALLEY (Manual de Usuario)
Informe IIE/12/2577/I-07/P.
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Marzo de 1990.

R. Saldaña, M. Muriel
Manual del Programa CLIMAT
(En elaboración)
1991.

"MONITOREO DE EMISIONES CONTAMINANTES EN CENTRALES TERMOELECTRICAS POR ESPECTROMETRIA LIDAR"

GOMEZ MENDOZA R.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS
Departamento de Sistemas de Combustion
AP 475 Cuernavaca Morelos, Mexico 62000

RESUMEN

En este trabajo se presentan mediciones por teledetección empleando absorción diferencial LIDAR para el monitoreo de centrales termoeléctricas, los mapas de contaminación obtenidos muestran el potencial de la técnica.

INTRODUCCION

El empleo eficiente de energéticos adaptiva a la política de generación limpia, generalmente, la optimización de procesos de combustión produce además de un mayor aprovechamiento del combustible, el abatimiento de emisiones contaminantes.

No obstante, la calidad de los combustibles disponibles para la generación de energía en México provocan inherentemente elevadas concentraciones de contaminantes. En particular dióxido de azufre debido al contenido de azufre en el combustible, típicamente entre 3.5 y 4.0%, una de las más altas concentraciones en el mundo.

Similarmete, elevadas concentración de otras especies indeseables en el combustible como sulfatos, vanadio, sodio, etc., que dificultan la combustión eficiente, ocasionando depositación, corrosión interna en el generador de vapor, indisponibilidad de mismo y emisión de partículas sólidas por efectos sinérgicos.

Una medida viable de control para Centrales Termoeléctricas (CTE), ubicada en zonas críticas como es la zona metropolitana del Valle de México, ha sido el cambio de combustible a el empleo de mezclas ricas en azufre natural (1). El uso del gas permite definitivamente una menor emisión de dióxido de azufre a la atmósfera; aunque a un costo más elevado. Sin embargo, en teoría, podría ser un incremento en óxidos

de nitrógeno, que a su vez repercute en la formación de ozono en horas críticas.

Las CTE constituyen las fuentes emisoras de contaminantes que más contribuyen a la contaminación atmosférica en el país [2] y [3]. A pesar de ello la capacidad de evaluación se la fuente es limitada e incluso la legislación vigente no permite establecer en una fuente fija dada quemando mezclas de combustibles, rebasa los límites permisibles. Esto es debido a que la Norma Técnica Mexicana establece límites para el empleo individual de un tipo de combustibles, e.g. para el gas las Normas correspondientes indican 10 lb. de SO₂ por millón de Btu de gas natural [4] y 57,000 kg de SO₂ por m³ de combustibles [5].

La capacidad actual de monitoreo en el país es insuficiente para establecer la efectividad de medidas restrictivas y su evaluación, paráticamente limitada a estaciones fijas con monitores continuos; desconociéndose la dispersión e impacto reales de las mismas. Por esta parte estaciones con monitores carecen de confiabilidad al no considerar los principales fenómenos meteorológicos y químicos que ocurren en la atmósfera.

Es evidente que se requiere de una herramienta que proporcione información espacial de los fenómenos de dispersión en lugar de ser puntual. Preferentemente, la información se requiere en tiempo real para su estudio

dinámico de respuesta atmosférica; mientras que las redes convencionales requieren procesamiento adicional de la información obtenida.

La espectrometría LIDAR# teledetección por luz, surge como la técnica analítica idónea para el monitoreo atmosférico con resolución espacial, en forma omnidireccional y tiempo real; específicamente la técnica de absorción diferencial LIDAR (DIAL #). La aplicación de esta técnica implica instrumentación relativamente costosa; sin embargo, ofrece el menor costo por área monitoreada.

INSTRUMENTACION

El espectrómetro LIDAR empleado en éste trabajo se describe en forma sinóptica en la Figura; consistente en una fuente laser constituida con una arquitectura integrada por un laser de estado sólido, Nd:YAG, que a su vez excita un laser a colorante sintonizable [6]. El primero con generador no lineal de segunda armónica KDP*, y separador de longitud de onda; pasando de la fundamental del Nd:YAG, 1064 nm a 532 nm, para el bombeo del segundo laser [7]. Similarmente, en el laser a colorante con KDP, doblando en frecuencia, se obtuvieron las longitudes de onda de trabajo en el sintonizable a 300 nm [8].

Esta combinación de laser de Nd:YAG/colorante, fue la de mayor popularidad en las primeras aplicaciones similares [9]; sin embargo, aunque ofrece versatilidad y una salida de 12 mJ suficiente para cubrir el alcance máximo, es obsoleta actualmente.

Sistema de transmisión-Recepción

Los haces laser de salida son direccionados a la atmósfera al través de un tren de espejos dieléctricos, con ayuda de un sistema de posicionamiento del telescopio comandado por una computadora central; siendo posible efectuar diversos tipos de barrido: acimutal, cenital y plano inclinado. La retrodispersión es recolectada por medio de un telescopio newtoniano, con diámetro de 0.60 m y una distancia focal de 1600 mm, que a su vez envía la luz al través de un diafragma de campo a un analizador espectral concavo y finalmente al detector (FM).

#LIDAR: Light Detection And Ranging.

* DIAL: Differential Absorption Lidar.

El sistema completo se encuentra condicionado a temperaturas frías para estabilidad de las características ópticas y montado en una sala con control de un sistema electrodinámico para su elevación.

Procesamiento de Señal

La señal proveniente del fotomultiplicador es enviada al digitalizador con resolución de 10 bits, digitalizado secuencialmente las señales de retorno, a 10 MHz. El sistema comprende un módulo de sincronía y el control de ganancia que permite la reducción de la señal a la capacidad total del convertidor A/D [10].

Dicho sistema sincroniza el disparo de cada pulso laser y la recepción del fotomultiplicador. Subsecuentemente pasa a la computadora, Workstation GPC/II, a través de una interfaz LMA para procesamiento final.

El software del sistema está diseñado para lograr la adquisición y presentación de la señal de retorno en tiempo real, con capacidad de presentar posteriormente la gráfica de concentración vs distancia de la especie portante del haz de medición apenas concluido.

EXPERIMENTACION

Aunque la factibilidad de la técnica ha sido demostrada para el monitoreo de centrales termoelectricas en otros países, además de innumerables aplicaciones, de la experimentación en las inmediaciones de una central en el país queda ratificada su factibilidad [11].

La técnica DIAL emplea la dispersión de Rayleigh y Mie, presentes en cualquier parte de la atmósfera. Para ello se requiere de dos pulsos laser, casi simultáneos en longitudes de máxima y mínima absorción, en una región específica del espectro, 1 y 2 respectivamente.

Explicando la ecuación fundamental LIDAR:

$$P(R) = \frac{P_0}{4\pi R^2} \left(\frac{A}{4\pi R^2} \right) \exp(-2\alpha R) \exp(-2\beta R)$$

en donde P(R) es la potencia del laser recibido por el sistema de detección para una distancia R, P₀ la potencia del pulso laser transmitido, t el tiempo de duración de dicho pulso, c la velocidad de la luz, βR el coeficiente de retrodispersión, α la eficiencia del sistema y A el área efectiva de recepción del telescopio.

Solución". Informe IIE/21/1124/I, Sep., 1982.

[4] Norma Técnica Ecológica, NTE-CCAT-007/88., Diario Oficial de la Federación, 18 Oct. 1988.

[5] Norma Técnica Ecológica, NTE-CCAT-008/88., Diario Oficial de la Federación, 19 Oct. 1988.

[6] Gómez-Mendoza R., "Integration and Development of a LIDAR Lab at IIE MEXICO", IEEE/Laser and Electro-optical Society Annual Meeting '89, Orlando, Fl. Oct., 627, 1989.

[7] Gómez-Mendoza R., "A Mobile Remote Sensing System for Atmospheric Monitoring", Third Autumn Workshop on Atmospheric Radiation And Cloud Physics, ICTP, Trieste, Italia, Nov.-Dic., 1989.

[8] Gómez-Mendoza R., "Primeras Mediciones en México de Bióxido de Azufre Atmosférico "in situ" por Espectrometría LIDAR", IMIQ XXX Convención Nacional '90, Guadalajara, Jal., Nov., 1990.

[9] T. Hirschfeld, E.R. Schildkraut, H. Tannenbaum., Appl. Phys. Letters 22, 38, 1973.

[10] Cahen et al., "An Overview of Recent Developments in France for Dial LIDAR Technique Applications", Proceedings of the First International DIAL Data Collection and Analysis Workshop.

[11] Romero G. R., "Desarrollo de Métodos de Calibración para Determinación de Gases por Espectrometría LIDAR", Tesis Profesional de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Orizaba, Jun., 1990.

[12] Gómez-Mendoza R., "Desarrollo de un Método Analítico para Determinación de Ozono por Espectrometría LIDAR", Propuesta de Proyecto de Infraestructura IIE/CF/RGM/126/90, Jun., 1990.

[13] Grant W.B. and Hake R.D. Jr., "Calibrated Remote Measurements of SO₂ and O₃ During Atmospheric Backscatter", J. Appl. Phys. 46, 1975.

[14] Rothe K.W., Brinkmann U., and Walther H., Applications of Tunable Dye Lasers for Air Pollution Detection: Measurement of Atmospheric NO Concentration by Differential Absorption", Appl. Phys., 3, 115, 1974.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This not only helps in tracking expenses but also ensures compliance with tax regulations.

In the second section, the author provides a detailed breakdown of the company's revenue streams. This includes sales from various product lines and services. The analysis shows that while some areas are performing well, others need more attention to improve overall profitability.

The third section focuses on the company's financial health and liquidity. It highlights the need for a strong cash flow to sustain operations and invest in future growth. The author suggests several strategies to optimize working capital and reduce unnecessary expenditures.

Finally, the document concludes with a summary of key findings and recommendations. It stresses the importance of regular financial reviews and transparent reporting to stakeholders. By following these guidelines, the company can achieve long-term success and stability.

EL MEDIO AMBIENTE URBANO Y EL DETERIORO DE MONUMENTOS HISTORICOS

VELASCO AYALA ILEANA

DEPTO. DE INGENIERIA DE PROCESOS E HIDRAULICA
 UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA-IZTAPALAPA
 AV. MICHOACAN Y PURISIMA S/N COL. VICENTINA
 C.P. 09340 APDO. POSTAL 55-534 MEXICO, D.F.

RESUMEN

México es un país rico en Monumentos Históricos cuyo deterioro se debe principalmente, al incremento de la contaminación ambiental. En este trabajo se describen algunas de las causas de degradación en relación a tres Monumentos de la Ciudad de México. Se resumen los resultados obtenidos y se presentan algunas propuestas con el fin de formular las políticas necesarias para la conservación, restauración y puesta en valor de todo aquello que conforma nuestro acervo cultural.

INTRODUCCION

El acelerado aumento de la contaminación atmosférica en las grandes urbes, como la Ciudad de México, ha contribuido a un deterioro acelerado de los Monumentos Históricos, mismos que de no protegerse adecuadamente corren el riesgo de desaparecer. Además, conservar todos los monumentos de México resulta una tarea irrealizable, dado el gran número de éstos; aún el mantener algunos de los monumentos en buen estado representa una gran erogación y la necesidad de contar con un personal capacitado. De lo antes dicho se desprende la importancia que tiene conocer las causas y los mecanismos físicos y químicos que rigen el deterioro de los elementos constitutivos u ornamentales de los Monumentos, con el fin de optimizar las posibilidades de protección.

ANTECEDENTES.

La mayoría de los materiales naturales utilizados en la construcción de edificios, al ser expuestos a la intemperie, sufren alteraciones cuya intensidad depende de su estabilidad química, resistencia, porosidad, capacidad de absorción etc. Este deterioro es más acentuado en ambientes urbanos (1) donde el aumento de la concentración de gases ácidos y la descarga al aire de grandes cantidades de óxidos de azufre, nitrógeno y carbono, así como de otros contaminantes, incluyendo las partículas totales en suspensión, contribuyen a la corrosión y erosión de los monumentos (7).

METODOLOGIA

El estudio de la relación entre medio ambiente urbano y deterioro de los Monumentos Históricos comprende dos grandes campos, como se muestra en la figura (1). De donde se concluye que el estudio debe limitarse a una región particular y a un tipo de piedra característico. Se decidió limi-

tar inicialmente este trabajo a la Ciudad de México. Respecto a los Monumentos, numerosos son las causas externas que favorecen el deterioro (fig. 2). Por el momento se intenta relacionar algunos factores ambientales y de calidad del aire con el daño observado en los Monumentos Históricos en estudio; las causas internas están ligadas a las características intrínsecas del material. Dado el amplio uso de la cantera en los monumentos de la Ciudad de México, se inició el estudio con canteras de las partes altas de monumentos situados en tres zonas con características ambientales diferentes (5).

El deterioro de las piedras ocurre mediante varios mecanismos independientes o cooperando simultánea o consecutivamente. En la mayoría de los casos, el mayor deterioro tiene lugar en la superficie de la piedra y su magnitud está relacionada con la solubilidad de los minerales constitutivos de la piedra (2).

En lo tocante al medio ambiente, se recabaron datos de temperaturas máxima, mínima y promedio, humedad y vientos dominantes de 13 estaciones de la red meteorológica. La elección de estas variables se debe a que la variación de temperatura, más o menos drástica provoca fenómenos de dilatación diferencial en las superficies de los materiales.

Un cambio brusco en la temperatura del medio ambiente hace nacer tensiones que pueden debilitar, con el paso del tiempo, a los monumentos, además, estos esfuerzos propician aumentos en la porosidad del material, permitiendo la degradación de éste por otros agentes (6).

La temperatura también favorece, de manera indirecta, ciertas reacciones químicas que se manifiestan por un ataque a los materiales de las rocas. Un aumento de temperatura provoca migraciones y causa que la velocidad de reacción sea mayor.

Finalmente, las variaciones de temperatura pueden causar un efecto hinchado/secado; en ciertos casos, como después, el agua aprisionada en los poros de la piedra llega a congelarse, como en el caso de la dilatación es menor que el de la roca, entonces se estallan los cristales; en otras, cuando el agua se evapora, transporta sales en solución desde el interior, las que deposita en la superficie del exterior. En otros casos, la granulación del material se altera, "convenciéndose".

El agua de lluvia, por sí sola, puede tener un acción mecánica directa al ocurrir puede de sus microcristales y faja fragmentos, desgastando el material. Por otra parte, interviene como factor básico en las reacciones químicas, más aún si esta agua tiene contaminantes en solución, o si está salada, como sucede aquí.

Simultáneamente se estudiaron los datos de la red nacional de monitoreo (1973-1984) sobre SO₂ y partículas totales en suspensión (PTM), así como algunos datos más recientes de la red automática.

Toda esto con el objeto de trazar el patrón general que han estado sometidos los Monumentos.

RESUMEN

Las muestras se caracterizaron por diferentes métodos; el análisis elemental se determinó por el microscopio electrónico de barrido; tiene la ventaja de dar información no sólo con muestras mínimas, de ventilar la información sobre elementos por otro del solo. La TABLA I presenta, como ejemplo, los análisis de las canteras vírgenes; la presencia de azufre y cloro en las muestras su participación, protección de la lluvia sólo puede explicarse como proveniente del medio ambiente urbano. Al parecer hay migración de calcio y de hierro; la única muestra de piedra tratada con resina (Mon. de las Culturas), sugiere que el tratamiento con ésta facilita la captura de contaminantes. El análisis petrográfico se realizó sólo a las piedras vírgenes ya que presenta la desventaja de requerir una muestra significativa. Los estudios de fluorescencia de Rayos X, difracción de Rayos X y análisis químico de las canteras se complementan y corroboran.

El área superficial se determinó por el método: "4H" de absorción de nitrógeno (3). La permeabilidad se estableció mediante un permeámetro de 15 quilibrio y porosidad por el método gravimétrico. En las medidas de porosidad se compararon con el método no destructivo de emanometría de radón natural de muestras de algunos monumentos en proceso de deterioro; al parecer existe una tendencia lineal entre los dos valores (4).

Esto implica que la medida de las partículas alfa totales da información directa, con una técnica no destructiva, realizada "in situ" sobre la porosidad del material.

COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

La dificultad de muestrear un Monumento Histórico para conocer su grado de deterioro es real. De ahí la importancia de contar con métodos no destructivos.

La correlación piedra-medio ambiente se confirma por la presencia de S y Cl en la superficie de las piedras no expuestas a la lluvia. Piedras aparentemente semejantes han presentado respuestas diferentes a un mismo medio ambiente

similar, pruebas que se obtienen son relativamente pueden tener un fuerte deterioro; algunos veces ayudado por la aplicación de presiones.

El tratamiento de las piedras, en vías de deterioro, se ha manejado experimentalmente y se cuenta con buenos resultados de ahí la importancia de conocer bien las canteras y las necesidades antes de proponer soluciones.

En bien algunas características ambientales que son semejantes en cada uno de los tres sitios en estudio, se observaron variaciones que las diferenciaron durante el estudio se vio que la concentración de SO₂ era menor en el centro, vi 10 y las partículas en suspensión aumentaban desde el sur hacia el norte; las lluvias de las zonas eran idénticas en el sur, como también las áreas con aguas corrientes.

Se observó una variación factorial en algunos contaminantes, con el radón (excepto en el centro).

La precipitación siguió mostrando excepciones. Es necesario estudiar otros métodos de caracterización de piedras para compararlos, básicamente la optimización tanto en la cantidad del material requerido como en el carácter de los mismos. Y sobre todo, resulta urgente la formación de cursos humanos.

REFERENCIAS

1. Gauri, K. Lal y G. E. Oldren, Jr. Pollutant Effects on Stone Monuments. *Environmental Science and Technology*, 14(4), 386-390, 1981.
2. Martínez G., E. Martínez. Difusión y reacción química durante la degradación de Monumento Histórico, especialmente los de México. *Avances en Ingeniería Química, Memorias*, 389-391, 1986.
3. Martínez G., E. Martínez, I. Velasco, M. E. Aguín, A. Sánchezcampo, L. Ordóñez, N. Segovia, S. Bulbulian, R. F. Rodríguez, J. Abascal. Difusión y reacción química durante el deterioro de Monumento Histórico. *VI Simposio en Química Nuclear, Radioquímica y Química de Radiaciones*, 1 a 3 Diciembre 1980. Universidad Autónoma de Puebla, Memoria (Trabajo 110).
4. Segovia, N., I. Velasco, G. Martínez, E. M. Contribution of the track etch technique to the study of conservation of historical monument. *International Journal of Radiation Application Instrumentation, Part D, Nuclear Track and Radiation, Measurement*, 13(14), 699-702, 1988.
5. Velasco I. E. Martínez, E. Jaóregui. Efecto de algunos factores del medio ambiente urbano en el deterioro de Monumentos Históricos de la Ciudad de México. *Avances en Ingeniería Química, Memorias*, 1986, 375-387.
6. Velasco Ayala, Ileana. Influencia de algunos factores del medio ambiente urbano en el deterioro de la ciudad de México. *Reporte interno 0302103 017,90 UAM I*, 1989.
7. Winkler, E. M. Weathering Rate of stone in Urban Atmospheres,

in Conservation of Stone, R. Rossi Manaresi, ed. Centro per la Conservazione della Sculture All'Aperto, Bologna, 1976.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Enrico Martinez las facilidades que me dió al permitir mi integración a su grupo para el desarrollo de este trabajo. Asimismo, expreso mi reconocimiento a todas las personas que colaboraron durante el desarrollo de este estudio.

FIGURA 1: DETERIORO DE MONUMENTOS HISTORICOS

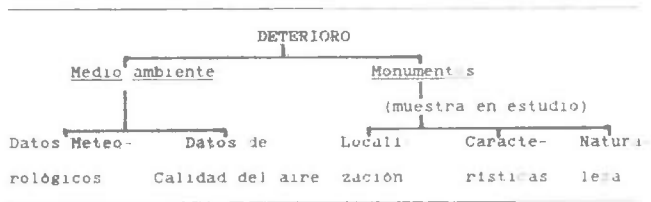


TABLA 1: Analisis de las Canteras Virgenes mediante el Microscopio Electrónico (6)

Los Remedios				Chiluca		
Elemento	Intemperie	Bajo Techo	Guardada	Intemperie	Bajo Techo	Guardada
Na	rastros	rastros	rastros	rastros	rastros	rastros
Al	7.8	7.0	7.7	8.4	11.4	11.0
Si	9.0	8.1	8.3	8.7	4.1	4.8
S	1.0	1.0	4.1	1.0	1.0	1.0
K	1.0	1.0	1.4	1.1	1.0	1.0
Ca	1.0	1.0	1.8	1.4	1.0	1.0
Pi	rastros	rastros	1.7	rastros	rastros	rastros
Fe	1.1	1.0	1.5	1.4	1.0	1.0

ECOSISTEMA Y SUS RELACIONES ENERGETICAS

ING. JOSE I. DELGADO HERRERA

ING. FERNANDO FLORES ESCOBEDO

ESCUELA DE MINERIA Y METALURGIA "LIC. ADOLFO LOPEZ
MATEOS" DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA.
NUEVA ROSITA, COAHUILA

La novedad de las relaciones ambientales del Ecosistema con la actividad humana se esboza en algunos rasgos interesantes y dramáticos, y de manera conceptual con la estructuración del sistema inteligente del hombre, tan análogo al funcionamiento de la computadora electrónica.

Se refiere en suma, a las medidas para que la afinidad de los seres humanos con la naturaleza sea gobernada armónicamente por las leyes físicas y las leyes ético-es-téticas.

Nuestro sistema (ecosistema), como otro cualquiera, incluyendo el sistema-universo, tiene dos partes distintas que se conjugan en la sola realidad de una función. Una parte que se distingue es la de su equipo material o "hardware" y la otra es la de la Programación o "software". - ("hardware" y "software" son tecnicismos usados en las computadoras electrónicas).

Se asemeja nuestro ecosistema al de una computadora electrónica creada artificialmente a "imagen y semejanza nuestra", en la que nos es fácil distinguir esas dos partes constituyentes:

La primera es la del equipo físico (hardware) y la segunda la del programa (software). Partes - que como se sabe se compran y se venden separadamente.

Esa misma división existe en el hombre, impuesta por nuestro propio cerebro, donde se desempeñan por separado las mismas dos especialidades en - cada uno de sus hemisferios.

En nuestro hemisferio izquierdo, que se ha comprobado que es lógico, se procesa todo lo que - se refiere a unidades físicas y matemáticas, a las condificaciones discontinuas de señales para las comunicaciones, mientras que nuestro hemisferio derecho que es especialmente analógico, - se procesan las emociones, como son complejas y continuas como son los sentimientos. Esta disposición se invierte en las personas zurdas.

Debido a que el mundo moderno tiene preferencia por la lógica de la tecnología, las comunicaciones y la informática, algunos educadores reclaman, "corazones" y no "cerebros", es decir una educación que atienda las emociones del hemisferio derecho ("corazón") y las razones del hemisferio izquierdo ("cerebro") por igual. Desafortunadamente, las sombras de la ignorancia - plagan el "cerebro" y las sombras de la intención plagan el "corazón humano", siempre en conflicto, porque "el corazón tiene razones que la

razón no conoce" dijo el poeta.

Algo similar encontraba el famoso filósofo francés René Descartes con su dualidad "cuerpo y - Alma", otorgando al cuerpo el símil de la máquina y al alma el del operador maquinista, lo que se conoce como "el paradigma cartesiano".

La dualidad de este paradigma se manifiesta - igualmente en el área de la computación electrónica, donde se tiene un equipo y un programa, - que obedecen, las leyes objetivas de la Energía el primero, y las leyes subjetivas de la Intencionalidad el segundo.

Resulta muy importante para la educación alcanzar un equilibrio mas o menos dinámico, entre las habilidades de la inteligencia (intelectuales) y las habilidades de la sensibilidad emocional (éticas y estéticas), para beneficio del entorno de nuestro sistema, que es físico, pero -- también emocional.

Siendo la energía que mueve lo objetivo y material, de naturaleza transitoria y entrópica en el pasado, se dió por llamarla "lo temporal"; por ejemplo, la vida humana, y la intencionalidad de nuestras decisiones que siguen patrones de comportamiento permanente, se dió por llamar "lo eterno".

Pero tanto las capacidades intelectuales, como las capacidades emocionales del hombre, están en la primera línea de defensa del ambiente de todos los seres vivos, cuyos riesgos dramáticos son siempre de actualidad.

Estos factores de riesgo provienen de la contaminación del medio ambiente, ocasionada por las actividades humanas, principalmente el uso de - la energía para la explotación de los recursos na-

turales y para la producción de bienes de consumo y comodidades.

A) Factores que afectan la parte objetiva o equipo físico:

1.- Factores Físicos: a) Calor b) Radiaciones c) Ruido

2.- Factores Químicos: a) Gases b) Polvos

c) Líquidos d) Vapores

3.- Factores Biológicos: a) Parásitos b) Bacterias c) Esporas Alergénicas

B) Factores que afectan la parte subjetiva o programación:

Que pueden ser: a) Espirituales b) Sublimales

c) Sugestionamientos d) Propaganda e) Falsas Profecías.

Algunos comentarios de mucha actualidad son:

1a.- Calor: Se presta actualmente mucha atención al aumento en la atmósfera del contenido de gases que tienen "efecto de invernadero" como son el CO_2 (Bióxido de Carbono) y el CH_4 (Metano) - principalmente, los cuales podrían hacer que la atmósfera de la tierra se calentara más de lo - debido produciendo cambios en los climas, mas - desertificación, mas ciclones y marejadas, etc. Por otra parte se menciona también que la tierra podría estar a punto de entrar a un nuevo período de frío, pues el período interglacial en - que estamos ya casi se terminó. De acuerdo con - unos estudios de geocronología que se han hecho en los hielos polares.

1b.- Radiaciones: Respecto de éstas hay que recordar que la mas importante es la de los peligrosos rayos ultravioleta solares cuyos efectos podrían aumentar debido a que el filtro natural que tenemos, el Ozono de la estratósfera, puede

ser destruido por la emisión de los compuestos llamados FluoroCarbones que utilizamos en refrigeración, en la producción de plásticos y en cosméticos (sprays). Los rayos UV queman la piel de los humanos y de las plantas.

Respecto a las radiaciones artificiales, hay que recordar que los reactores de Chernobyl aún -- están vivos y que además hay demasiado material radiactivo en el mundo, de tipo bélico y acumulado también en los desperdicios de las plantas nucleo-eléctricas, que han dado un problema que aún no está resuelto.

2a, b, c y d.- Gases, Polvos, Líquidos y Vapores: Principalmente presentes en el llamado smog o neblinismo que atosiga a las grandes ciudades; los polvos que muchas veces contienen metales tóxicos como el plomo derivado de las gasolinas, el mercurio derivado de la combustión de carbón mineral y junto con el cadmio en las pequeñas baterías de cadmio-mercurio desechables que van a la incineración de basuras, y también por qué no recordar la contaminación de los plásticos no-biodegradables, de los detergentes no-biodegradables, los pesticidas y otros tóxicos industriales de alta peligrosidad por ser cancerígenos, como los policlorobifenilos. Los botes de plástico arrojados al mar son confundidos por los peces mayores y los delfines que los tragan y les ocasionan la muerte.

3a, b y c.- La historia nos dice que Moisés sacó de Egipto a los israelitas hace más de 3000 años, para purificarlos en el desierto de las enfermedades parasitarias, transmitidas por los mosquitos, por los ácaros y por los cerdos (triquina y solitaria), abundantes en el Delta insalubre

del Río Nilo. Sabiamente les prohibió comer la carne de cerdo por ser "impura", medidas que -- todavía puede ser de utilidad en algunos lugares.

B) Son los factores de la contaminación mental o psicológica que afectan la intencionalidad espiritual de nuestras decisiones, los que en esta época nos llevan volando al "mundo del consumismo", al sobreconsumo de los recursos naturales que se ve la tierra, y que se originan en lo moral de las costumbres, los atavismos y los vicios (el vicio siempre es un abuso).

Se ve que por dondequiera abundan los escritos y los letrados de prevención ambiental, pero lo que no abunda nunca es tiempo para corregir los rumbos.

Los efectos del consumismo han llevado al mundo a momentos de crisis que afectan ya a muchos países.

Por lo tanto se procura alertar a los grupos humanos concientes y estimular a las instituciones interesadas que se formen.

Ya han surgido recomendaciones básicas de aplicación universal, recomendaciones que pueden ser aplicables al presente y al futuro inmediato con toda la fuerza de la autoridad moral de las instituciones mundiales y el respaldo de los gobiernos nacionales con ayuda de las organizaciones civiles interesadas.

Recomendaciones básicas:

1.- Reciclado al máximo de desechos como el vidrio, el papel, los metales, los plásticos, etc.

2.- Utilizar los residuos orgánicos para producir "compost", que es un producto de fermentación que sirve como fertilizante.

- 3.- Evitar en lo posible el consumo de objetivos desechables como platos, vasos, servilletas, toallas y usar al máximo los pañales de tela.
- 4 - Limitar el uso de productos de limpieza con tanques por otros detergentes que contengan bicarbonato de sodio, bórax, vinagre, jabones sin aroma, etc.
- 5 - Eliminar en forma apropiada sustancias inflamables, como aceites automotrices, anticongelantes, pinturas, adelgazadores de pintura, pesticidas, etc., los cuales no deben echarse al drenaje sin antes preguntar las recomendaciones de los agentes de salubridad o los bomberos.
- 6 - Limitar el uso agrícola de pesticidas y fertilizantes que causen contaminación del agua del subsuelo y de las corrientes.
7. Estimular la transportación de personas en bicicleta o en automóvil compartido, el transporte colectivo y controlar las emisiones de los tubos de escape.
- 8 - Plantar en profusión árboles que mejoren la calidad del aire y que fijen el suelo evitando que sea erosionado.
- 9.- Evitar la compra de animales curiosos que provengan de especies en peligro de extinción, porque su desaparición empobrece y daña al ecosistema.
- 10 - Evitar el desperdicio de energía usando en invierno más ropa de abrigo, usar más aislamiento térmico en el hogar y menos aire acondicionado en el verano, encender focos solamente donde sean necesarios y ahorrar el agua de limpieza en los baños y sanitarios.

El Termostato Humano.

Es conocido el hecho de que el hombre al dejar su cama por la mañana tiene caliente el núcleo de su cuerpo y en ese momento tiene que elevar su metabolismo para conservar ese nivel de temperatura ya sin el abrigo de la cama. Pero para ello requiere una señal de termostato que acelere el desprendimiento de calor metabólico y el individuo no tenga la necesidad de mucho abrigo o de mucha calefacción ambiental. A veces se dispone de un termostato de pared cuando hay la calefacción central, pero más importante que eso es un termostato integrado al cuerpo humano que da la señal para que el organismo se regule térmicamente, adaptándose al momento al frío exterior.

Este termostato se ha comprobado en los músculos superiores de piernas heladas. Es la falta de los pies. Por eso la sabiduría popular ha aconsejado al dejar la cama por la mañana, pisar el suelo frío por un minuto, antes de calzarse, lo que es especialmente útil para los lentos en reaccionar, los friolentos de garganta enfermiza, porque de esta manera el hombre puede utilizar las calorías sobrantes de su grasa corporal en lugar de acumularla.

Pues parece que el hombre no necesita abusar de la energía para la adecuación artificial del clima externo puesto que posee hasta cierto punto un mecanismo interior de adecuación.

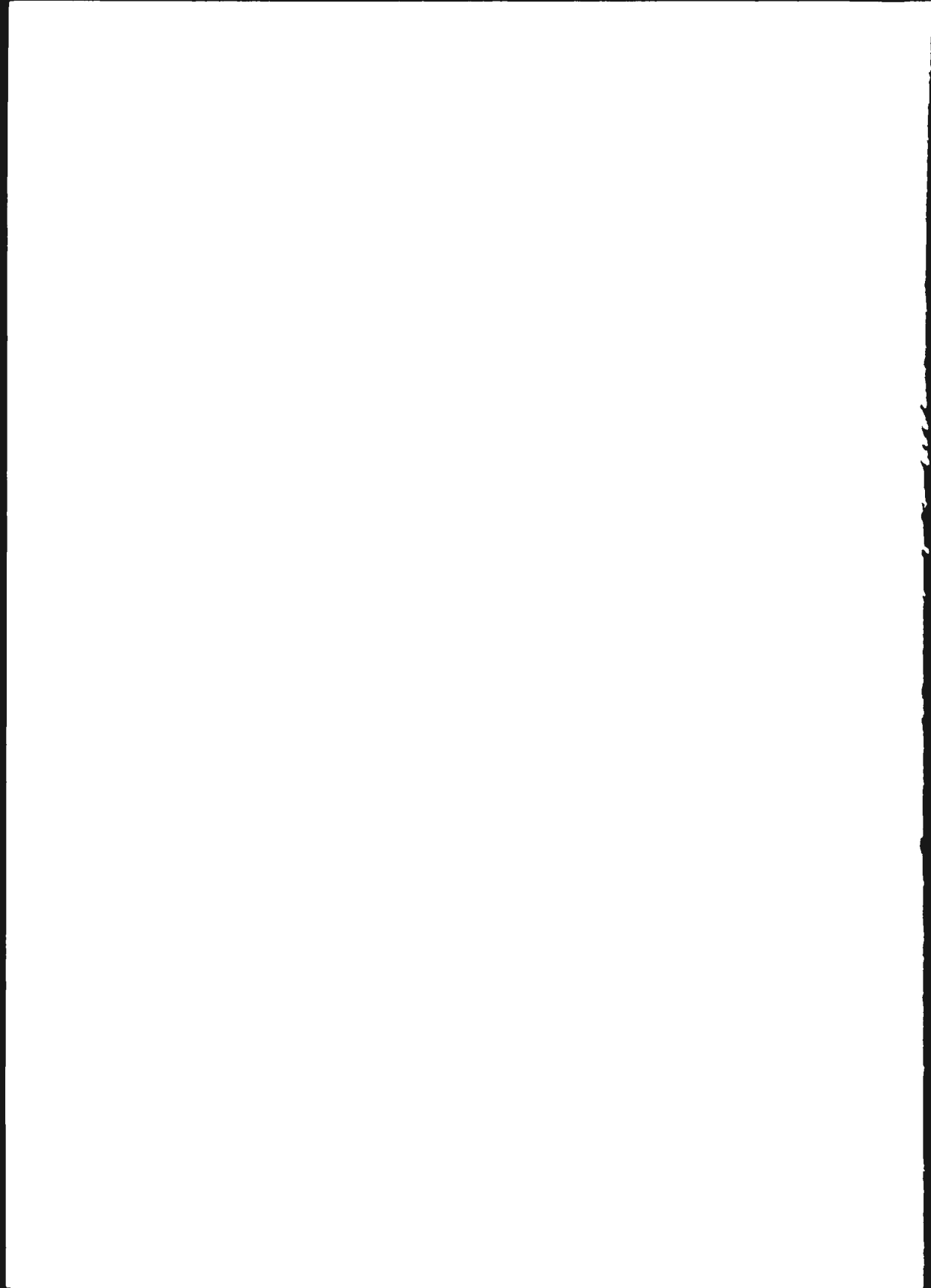
Tendencias Globales

Hay tendencias en conflicto con las razones aducidas, porque se advierte que en la actualidad las naciones que tienen intereses comunes - tienden a formar bloques económicos para defender y preservar sus niveles de vida, de producción de consumo, pues tal parece que las naciones del mundo en su desesperación por alimentos y combustibles no quieren sacrificarse hoy para beneficiar al futuro y por eso necesitamos líderes que tengan buena dosis de perseverancia de - tolerancia y de sentido común, en estos tiempos en que el mundo nos tiene maravillados con su - tecnología y promesas de comodidades y lujos, - que no exigen que echemos mano de todos los recursos de la tierra y de los países poco desa- rrollados que los usan para pagar sus propias - comodidades aún a costa del empobrecimiento de sus propios territorios.

En lo que concierne a los hidrocarburos, la necesidad de explotarlos intensamente en ambientes difíciles geográficos o políticos, lleva a riesgos tan altos como los que se están presenciando con el desastre ecológico del Golfo Pérsico con el incendio provocado de cientos de -- pozos petroleros y derrame de aceite en el mar. En casos como este, están preocupando demasiado a la opinión mundial y a las naciones involucradas, tanto en el consumo como en la producción. Porque por ahora ya se anuncia que tan sólo para poner bajo control los pozos incendiados se van a tardar más de un año.

Bibliografía:

- 1) Algunos números recientes de National Geographic magazine, de Mar. 1985, Jul. 1987 y - - Oct. 1990
 - 2) The Thermostat of the vertebrate animals p 78 de Scientific American de Ago. 1978
- Folleto The Planet Earth Beyond Repair de Worldwide Church of God. 1990



CARTA DE DOSIMETRIA DE RADIACION PARA MEXICO

VELASCO AYALA ILEANA

DEPTO. DE INGENIERIA DE PROCESOS E HIDRAULICA
 UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA IZTAPALAPA
 AV. MICHOACAN Y PURISIMA S/N COL. VICENTINA
 C.P. 09340 APDO. POSTAL 35-534 MEXICO, D.F.

RESUMEN

Una carta de Dosimetría tiene por objeto determinar las dosis de radiación que recibe un individuo en función del lugar donde radica y de su forma de vida. El estudio se dirige a quienes en alguna forma laboran con material radiactivo, permitiéndole comparar las dosis que reciben por su trabajo con aquellas que se deben al mero hecho de existir. También tiene un carácter de difusión hacia el público al dar a conocer lo que es la radiación y algunos de sus usos en bien de la Humanidad.

INTRODUCCION

La energía nuclear ha sido y sigue siendo un tema muy controvertido. Esto se debe en gran parte al desconocimiento e información deficiente a este sujeto (9). A muchas personas sorprende el hecho de que simplemente por existir recibamos radiación. Las dosis debidas a la radiación natural dependen del lugar geográfico, naturaleza de suelo y construcciones (2, 3, 6, 7, 8); de la precipitación radiactiva (1) y además, de la forma de vida que llevamos. Podemos incrementar nuestras dosis sea por usos médicos, industriales o artísticos; por empleo de materiales radiactivos en ganadería, agricultura y control de plagas; por ver TV, viajar en avión y trabajar con material radiactivo o en una nucleoelectrica. Esta carta resume estos datos.

CONCEPTOS BASICOS (10)

En general, es común observar que algunos términos de uso frecuente en temas referentes a la radiactividad, a la energía nuclear y a la radioprotección han sido mal interpretadas. Es por este motivo que se hará una breve presentación de estos temas.

La radiación es la energía que viaja en forma de ondas, partículas o haces de energía llamados fotones. Algunos ejemplos familiares son la luz y el calor que llegan a la tierra, así como las ondas de radio, la televisión, las micro-ondas empleadas en los hornos con ese nombre, el radar, los rayos X que se emplean en medicina y odontología (6).

El proceso por el cual los átomos emiten radiación ionizante para convertirse en átomos estables recibe el nombre de decaimiento radiactivo; en tanto que la propiedad de algunos materiales para emitir o radiar el exceso de energía de su núcleo en forma de partículas o de fotones

y decaer a átomos del mismo u otro elemento original, recibe el nombre de radiactividad. La radiactividad es un proceso natural esencialmente estadístico; a cualquier edad del átomo, su probabilidad de desintegración, por unidad de tiempo, es constante; además, escapa al control humano. Ninguna circunstancia exterior puede tener una influencia sustancial sobre la probabilidad de desintegración de un elemento.

Rutherford y Soddy (3) observaron que a cada material radiactivo se le podía asignar un tiempo al cabo del cual la mitad de los átomos habían decaído (el período o vida media), con la correspondiente emisión de energía. Esta energía emitida es la que hace a los elementos radiactivos tanto útiles como potencialmente dañinos. La radiación con cierta longitud de onda se considera ionizante; es decir, esta radiación, al interaccionar con la materia, produce partículas eléctricamente cargadas o iones. Hay varios tipos de radiación ionizante, entre los más importantes se pueden mencionar los rayos X y gamma, las partículas alfa y beta y los neutrones. Estos últimos no tienen carga, son muy penetrantes y transmiten su energía a otros agentes que son los que se encargan de ionizar. La ionización es un fenómeno importante para los seres vivos porque los iones pueden iniciar reacciones químicas en los tejidos vivos.

Listas y otras radiaciones del tipo ionizante no son detectables por los sentidos, por lo que se han diseñado y construido instrumentos muy sensibles capaces de detectar y medir aún niveles muy bajos de radiación. Es importante comprender que la radiación electromagnética y las partículas alfa y beta no hacen que los cuerpos se vuelvan radiactivos. Sin embargo, los neutrones pueden hacer ocasionalmente que los átomos del material expuesto transmuten a átomos inestables.

La radiación puede ser beneficiosa, pero también en capaz de dañar. Esta afirmación es válida aún para la energía solar. Ningún ser vivo existiría sin la energía radiante del sol, sin embargo la exposición excesiva a la luz solar puede producir quemaduras dolorosas y, en algunos casos, incluso de la piel. Muchos otros ejemplos se pueden dar sobre los peligros que representan diversas actividades humanas. La radiación ionizante no escapa a estos riesgos, de ahí la importancia de conocer en qué consiste, qué daños produce y cómo se pueden disminuir los riesgos de su empleo sin dejar de aprovecharla en beneficio del hombre.

FUENTES RADIACTIVAS

Todo el mundo está expuesto diariamente a la radiación ionizante. Las fuentes de donde proviene son diversas y, para su presentación, se les han agrupado en fuentes naturales y fuentes artificiales por la forma de sus orígenes, con presencia llamadas fuentes artificiales (2, 6, 8).

FUENTES DE RADIACIÓN NATURAL

La evaluación de los dosis de radiación que el ser humano recibe de las fuentes naturales tiene particular importancia, en que la radiación natural constituye la proporción más elevada de la dosis colectiva a la población mundial (3). Así mismo, el estudio de la magnitud de la irradiación de la radiación natural de acuerdo con un lugar permite tener un interés práctico porque puede influir en las actividades y adoptar ante cualquier exposición adicional procedente de fuentes artificiales por factores tecnológicos. Las fuentes naturales se pueden clasificar como fuentes internas, origen terrestre y extraterrestre y las fuentes internas, por los radionúclidos naturales absorbidos por el cuerpo humano.

Fuentes externas de origen extraterrestre

Las radiaciones de alta energía que penetran en la atmósfera terrestre procedentes del espacio ultraterrestre reciben el nombre de rayos cósmicos primarios. Cuando hay una interacción entre ellos y los núcleos de la atmósfera, se producen partículas secundarias y radiaciones electromagnéticas que reciben el nombre de rayos cósmicos secundarios. Por abajo de 100 km, la densidad de flujo de los rayos cósmicos es modulada por el campo magnético terrestre que desvía las partículas cargadas con energías más bajas de regreso al espacio ultraterrestre. Esto ocurre después de la latitud geomagnética, donde tal como que la densidad de flujo de protones de alta energía en los polos superiores de la atmósfera es mayor en los polos que en los trópicos equatoriales.

Salvo en las zonas altas cercanas de la atmósfera, los electrones aportan la contribución más alta a la tasa de dosis absorbida. Por tanto, la ionización en la atmósfera depende más del nivel de la latitud al aumentar la altura.

Fuentes externas de origen terrestre

En la Tierra siempre han existido núclidos radioactivos, como que el desintegración produce

partículas alfa, electrones y radiación electromagnética. Los radionúclidos naturales han siempre existido en la corteza terrestre desde sus orígenes tienen periodos largos, entre los que más tribuyen en forma importante a la irradiación externa están K^{40} , Th^{232} y Pb^{210} .

La concentración de estos elementos en el suelo viene determinada por la radiactividad de las rocas originales y por la naturaleza de los procesos que han intervenido en la formación del suelo. La radiactividad se ve influenciada por diversos factores, como son: la acción lixiviante de las corrientes de agua, la difusión cuando se tiene una mayor porosidad, la presencia de agua y materia orgánica. Todo también se puede tener un aumento en la radiactividad de las rocas, a través de la alteración y precipitación de los radionúclidos contenidos en el agua que se ha depositado sobre el suelo. Todo esto guarda relación inmediata con la irradiación de un individuo al estar sobre.

Desde que los materiales de construcción se tomaron de la tierra, las casas y edificios contribuyen a las exposiciones de las personas, como que se han retirado de su vida dentro de ciertos edificios que contienen elementos radiactivos en diferentes proporciones.

Fuentes internas

Los núclidos radiactivos presentes en la tierra entran en el organismo por ingestión y inhalación, una vez absorbidos pueden ser fuentes de irradiación interna. Para evaluar la dosis a órganos y tejidos se requiere conocer la concentración y tipo de radionúclidos, así como ciertas características biológicas que del organismo establezcan dentro del organismo.

Entre los radionúclidos absorbidos, el ^{137}Cs se produce en la atmósfera, y un 99% pasa a ser constituyente del agua; el 90% se encuentra en el agua y en las verduras de hojas, ^{137}Cs es absorbido por las seres vivientes, incluyendo su concentración en los animales de los árboles. Si en sedimentos de aguas estancas se encuentran estos dos radionúclidos sobre la historia de la tierra, y cuando se le determina en objetos arqueológicos permite su datación. El ^{137}Cs , debido a sus propiedades de desintegración y comportamiento metabólico, así el que tiene mayor concentración sobre la dosis que recibe un individuo por las fuentes internas, natural y artificial.

Los niveles del ^{137}Cs y del ^{134}Cs fueron muy trascendentes en el accidente de Chernobyl, así que la radiación y exposición del agua y el organismo en cualquier momento, así como el agua, alimentos de animales de los árboles y otros radionúclidos y otros productos de desintegración de los radionúclidos externos, los cuales se desintegran muy rápidamente son importantes al proporcionar una dosis alta. Por lo tanto, la radiación interna y externa influyen, de manera, al tipo de radionúclidos, concentración y la concentración de los radionúclidos en los alimentos y en las fuentes secundarias para determinar la dosis colectiva.

Fuentes radiactivas internas causadas por alimentos bioacumulativos

La exposición a la radiación del tipo puede ser influenciada por la actividad biológica que

ejemplo, los vuelos a grandes alturas, la construcción de edificios con materiales ricos en elementos radiactivo, la reducción en la tasa de ventilación en las viviendas, la perforación de pozos profundos para extraer agua, la que será rica en radón, los residuos de las industrias de fosfatos, la liberación de radionúclidos naturales en las centrales eléctricas alimentadas con carbón, etc.

Estas exposiciones son variables y oscilan entre pequeños incrementos y aumentos de varios órdenes de magnitud; pueden ser objeto de evaluaciones relativas a las fuentes, cuando son consecuencia de decisiones humanas, en las que es factible relacionar una dosis comprometida colectiva con la medida del detrimento consiguiente, como son los casos del empleo de la radiación con fines médicos, la producción de la nucleoelectricidad, la explosión nuclear y los bienes de consumo que emiten radiaciones como son los relojes luminosos, algunos instrumentos usados en navegación, etc.

METODOLOGIA Y RESULTADOS

Al inicio de este trabajo conté con el apoyo invaluable de Lydia Paredes, en ese entonces asistente de la licenciatura de Ingeniería en Energía, realizamos una investigación bibliográfica y consultamos a investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias y de la Universidad Nacional Autónoma de México. La Tabla 1 muestra los resultados de esa etapa, enmarcados por los valores extremos reportados en su servicio social por Elvia Palma Sandoval, posteriormente.

José Luis Moreno Pérez realizó su servicio social sobre la Investigación del Impacto de las Radiaciones Ionizantes en Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos y José Luis Carrillo logró recabar datos de personal ocupacionalmente expuesto y de algunos pacientes a quienes se les tomaron radiografías. La Tabla 2 resume los resultados sobresalientes de esta colaboración. Dada la gran cantidad de desinformación que surgió en los medios masivos de comunicación a raíz de la puesta en marcha de la planta nucleoelectrónica de Laguna Verde, en la Tabla 3 se presentan los niveles de las dosis debidas a los efluentes de una planta de este tipo funcionando normalmente. Finalmente, con el fin de situar el significado de los niveles de dosis, la TABLA 4 muestra las dosis requeridas para que el 50% de la población irradiada muera dentro de los 30 días que siguen a la irradiación, para diferentes especies.

Cabe mencionar que en la carta de Dosimetría la dosis anual puede referirse a diferentes órganos a cuerpo entero (en este trabajo), a las gónadas (7) o a médula ósea (6); posiblemente ésta sea una de las causas de la variedad de valores encontrados en la bibliografía, ya que en muchos casos no indican el órgano de referencia. Además en ocasiones mezclan; por ejemplo, la dosis por radiografía dental referidas a cuerpo entero contribuyen con 6 mrem por placa, con 10 mrem a médula ósea (6) y con 1000 mrem (8, 4) al hueso maxilar.

Asimismo, los valores reportados han supuesto el uso de equipo en óptimas condiciones, con un

manejo adecuado, por personal capacitado y siguiendo las estipulaciones del constructor.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Desde hace algunos años y cada vez con mayor rapidez ha aumentado la dosis de radiación a que están sometidos los seres vivos. Hasta la fecha están en discusión las consecuencias debidas a este aumento, principalmente en lo referente al material genético.

La industria nuclear ha fijado normas para la protección contra la irradiación, que sirven de modelo a seguir por otras industrias. La energía nuclear ejerce un papel vital y creciente en el desarrollo de muchos países, por lo cual es necesario conocerla y valorarla.

La Carta de Dosimetría de Radiación permite:

que los trabajadores ocupacionalmente expuestos comparen las dosis que reciben por razones de trabajo y las límites al valor mínimo necesario que las personas que laboran en el sector salud tomen conciencia de los riesgos para ellos, como personal ocupacionalmente expuesto, como para los pacientes a quienes se deben evitar exposiciones innecesarias.

que el público en general tome conciencia de que vivimos en un mundo radiactivo, desvaneciendo los temores infundados sin menospreciar los riesgos y aproveche los usos pacíficos, incorporando la energía nuclear juiciosamente a nuestros sistemas productivos, con confianza y seguridad.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Alba, Fernando. Precipitación radiactiva. Boletín de la Sociedad Mexicana de Física, 2, No. 2 (1955) pp 5-13
- (2) American Nuclear Society, Nuclear Power and the Environment. Book 1 Radiation, 1980.
- (3) Bulbulian, Silvia. La Radiactividad, la Ciencia desde México No. 42 Fondo de Cultura Económica, 1987.
- (4) Genis Sánchez Roberto. Conceptos de Física. Taller Mitos y Realidades en la Atención de los pacientes con radioterapia, Conferencia en las aulas de San Lorenzo, H.R. 20 de Noviembre, ISSSTE, 15 de Noviembre de 1990.
- (5) Glasstone Samuel & Walter H. Jordan. Nuclear Power and its Environmental Effect. ANS, 1980
- (6) Johnson, Harry & Marvis Tutiah, La Radiación es parte de nuestra vida. Series de Información Nuclear 1981
- (7) Martín, Alan & Samuel Harbison. An Introduction to Radiation Protection. Chapman and Hall, 1979
- (8) Rickards, Jorge, Las Radiaciones: Reto y Realidades. La Ciencia desde México No. 8. Fondo de Cultura Económica, 1986
- (9) Velasco Ayala Ileana. La Radiactividad y su Símbolo. Resultado de una Incubadora. Reporte Interno. UAM 1 1990.
- (10) Velasco Ayala Ileana. Notas de Física Nuclear. UAM 1, 1979.

TABLA 1. CARTA DE DOSIMETRIA DE RADIACION PERSONAL PARA MEXICO

FUENTES DE RADIACION COMUNES		DOSIS mrem/Año	
RADIACION COSMICA			
Localización			
DONDE	Radiación al nivel del mar	28	41
por cada 100 metros sobre el nivel del mar, sumar 1			
VIVE			
Construcción en casas (10 D de estancia)			
MITIG	madera: 30	15	65
concreto: 40			
piedra: 40			
ladrillo: 15			
Estancia al aire libre (6 h)			
0			
LO QUE USTED			
Ocurrencia natural de radionúclidos en alimentos, agua y aire (en prom.)			
COMER		10	22
BEBER			
ESPIRAR			
Precipitación Radiactiva: centro y sur del país, sumar 3; norte del país, sumar 4			
-			
FUENTES INTERNAS			
K 40, ²²⁶ Ra y sus productos, C 14			
14			
SECTOR SALUD			
No. placas RX _____ x 10			
COMO	No. placas RX _____ x 500 (area gástrico-intestinal baja)		
VIVE	No. Exámenes Radiológicos		
x 250			
MITIG	No. placas RX _____ x 6 (dentales)		
-			
Por ver TV Horas/día _____ x 0.15			
1			
Viajes en Avión: Por vuelos de 2500 Km, sumar 1 a 5			
-			
En las alrededores de la planta:			
VIVIENDO	horas prom. anual por día x 0.2		
CERCA DE	A 1.5 Km: horas prom. anual por día x 0.02		
UNA PLANTA	A 8 Km: horas prom. anual por día x 0.02		
NUCLEAR	A más de 8 Km:	0	
-			
TRABAJO CON MATERIALES RADIOACTIVOS			
Uso de dosímetro, comparar la lectura con los valores calculados en esta tabla			
(100 rem = 1 Sv, unidad dosimétrica que considera posible daño)			

TABLA 7: RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE COLABORADORES.

JOSE LUIS MORENO PEREZ (Ingeniero en Energia, 1986)

EMPRESAS O INSTITUCIONES DEL D.F. MANEJANDO MATERIAL RADIATIVO	TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE EXPUES- TOS	REGISTROS ENERO 1984 A JUNIO 85	EXPOSICION INFERIOR A 100 mSv
19	1429	900	861 (**)

- (*) Registros consecutivos por más de 7 meses.
 (***) Se considera que las causas de sobreexposición se deben al:
 1) Uso incorrecto de los dosímetros
 2) Aplicación incorrecta de las medidas de protección
 3) Ignorancia y descuido de los trabajadores.

JOSE LUIS CARRILLO PEREZ (ICSE y Técnico Radiólogo Sector Salud)

TIPO INDIVIDUOS	REGISTRO	DOSES PROMEDIO mSv/AÑO	NOTAS
-----------------	----------	------------------------	-------

OCUPACIONALMENTE EXPUERTO (*)	8	0.3	(1)
-------------------------------	---	-----	-----

- (*) Personal que trabaja en Radioterapia.
 (***) El promedio corresponde al de los valores leídos en sus dosímetros durante un año.
 (1) Un solo caso presentó dosis del orden de magnitud a las del fondo natural.

PACIENTES	100	Dado que en este caso el beneficio predomina sobre riesgos no tiene sentido hablar de dosis (A)
-----------	-----	---

(A) Se observó que predominan las radiografías de torax (86), siguientes Abdomen (46) y craneo (36). Una caso único fue el de un joven de 15 años a quien le tomaron 23 placas: 10 torax AP, 3 torax lat., 5 lumbotorax, 3 pelvis y 2 craneo, le sigue una señora de 52 años con 10 de torax y 1 de pierna. En promedio se tienen 4 placas por paciente.

En forma global se puede decir que en teleterapia los pacientes reciben 50 Gy en 25 sesiones, en tanto que en braquiterapia son 45 Gy en 72 horas en una zona determinada (4).

ELVIA PALHA SANDOVAL (Ingeniero en Energia, 1987)

LUGAR	FONDO NATURAL, prom., mSv/Año
Farallón de San Carlos, Ver.	0.60
Jalapa, Ver.	0.79
Veracruz, Ver.	0.69
México, D.F.	0.85

TABLA 3: DOSIS INDIVIDUALES ANUALES CALCULADAS PARA LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS NUCLEARES (5).

LOCALIZACION	TRAYECTORIA	[DOSI] mrem/Año	
Km		CUERPO ENTERO	TIROIDEA
EFLUENTES GASEOSOS			
0.9 *	EXTERNA	0.15	0.15
	INHALACION		0.11
1.3	EXTERNA	0.48	0.45
	INHALACION		0.37
1.9 &	EXTERNA	0.018	0.018
	INHALACION		0.035
4.5	LECHE		4.5
EFUENTE LIQUIDO			
REGION DE DESCARGA	PECHE	0.004	0.008
	RECHACION		
AGUA MUNICIPAL	INGESTION	4.9 EXP 5	3.0 EXP 5
1.4 Km	RECHACION	1.3 EXP 4	

* CONSIDERANDO COMPACTACION DE 40 HORAS SEMANA

& CONSIDERANDO COMPACTACION DE 300 HORAS AÑO

TABLA 4: DOSE LETALE POR INGESTION

Organismo	LD ₅₀ (mg/kg)	LD ₅₀ (g)	LD ₅₀ (g)
Humano	1.5	1.5	1.5
Chimpancé	1.5	1.5	1.5
Perro	1.5	1.5	1.5
Hombre y Mono	1.5	1.5	1.5
Perro	1.5	1.5	1.5
Chimpancé	1.5	1.5	1.5
Humano	1.5	1.5	1.5
Perro	1.5	1.5	1.5
Chimpancé	1.5	1.5	1.5
Humano	1.5	1.5	1.5
Perro	1.5	1.5	1.5
Chimpancé	1.5	1.5	1.5
Humano	1.5	1.5	1.5
Perro	1.5	1.5	1.5
Chimpancé	1.5	1.5	1.5

DOSE LETALE POR INGESTION

Organismo	LD ₅₀ (mg/kg)	LD ₅₀ (g)	LD ₅₀ (g)
Humano	1.5	1.5	1.5
Chimpancé	1.5	1.5	1.5
Perro	1.5	1.5	1.5
Hombre y Mono	1.5	1.5	1.5
Perro	1.5	1.5	1.5
Chimpancé	1.5	1.5	1.5
Humano	1.5	1.5	1.5
Perro	1.5	1.5	1.5
Chimpancé	1.5	1.5	1.5
Humano	1.5	1.5	1.5
Perro	1.5	1.5	1.5
Chimpancé	1.5	1.5	1.5

(5) TOMADO DE: "EVALUACION DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL POR EFUENTES DE LAS PLANTAS NUCLEARES" (6)

AGRADECIMIENTOS

Con la realización de este trabajo me quedé en deuda con numerosas personas e instituciones que me ayudaron en el desarrollo de este trabajo. A todos mi reconocimiento.

**DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA ZONA DE
INFLUENCIA DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA LERDO**

N. Mariel, R. Saldaña

Instituto de Investigaciones Eléctricas
Apdo. Postal 475, Col. Centro
Cuernavaca, Mor., C.P. 62000
MEXICO

RESUMEN

En base a los resultados obtenidos a partir de un modelo de dispersión atmosférica se diseñó una red de monitoreo para la zona de influencia de la Central Termoeléctrica Lerdo, por medio de la cual se recopilará información de la concentración en piso de SO_2 , NO_x y PST durante la operación de la central.

INTRODUCCION

En 1989 se inició en el IIE un proyecto -- sobre el diseño de una red de monitoreo -- ambiental en los alrededores de la CTE -- Lerdo, dentro de la zona de influencia. Las actividades que se llevaron a cabo en términos generales fueron las siguientes:

- Reconocimiento de la zona de influencia.
- Recopilación de información meteorológica, topográfica, uso de suelo y población.
- Localización de sitios para el monitoreo de la concentración de fondo.
- Evaluación de la concentración de fondo.
- Modelación de la dispersión de contaminantes dentro de la zona de influencia.

A continuación se describe en forma general cada una de las actividades anteriores.

DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

- a) Reconocimiento de la zona de influencia.

Con objeto de llevar a cabo el reconocimiento de la zona de influencia durante la operación de la CTE Lerdo, se dividió esta en áreas de 25 km² con el fin de especificar con mayor detalle sus características respecto a la topografía, uso -- del suelo y población. Se realizaron recorridos por aquellas áreas en las cuales fue posible el acceso, con el fin de observarlas físicamente, las áreas que no se visitaron por problemas de acceso fueron estudiadas en base a cartografía.

- b) Recopilación de información de la zona de influencia.

Meteorología.

A partir de los datos de velocidad y dirección de viento obtenidos durante el período comprendido del 23 de septiembre de 1984 al 31 de octubre de 1988, se obtuvieron los valores de probabilidad de impacto en los alrededores de la CTE.

Además de los datos de viento, se recopiló información de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial. Esta información fue obtenida por medio de una estación climatológica automática ubicada en la CTE Lerdo, y fue proporcionada al IIE por el Departamento de Ingeniería Mecánica, Disciplina Protección Ambiental de la Gerencia de Proyectos Termoeléctricos de CFE.

Así mismo se analizaron los valores promedio mensuales, estacionales y anuales de velocidad, rumbos dominantes, velocidades máximas, temperatura, humedad relativa, insolación, presión y precipitación pluvial, recolectados en el observatorio del SMN ubicado en Torreón, Coah., durante el período comprendido del 1.º de enero de 1979 al 31 de octubre de 1979.

Topografía, uso de suelo y población.

A fin de analizar los aspectos topográficos, de uso de suelo y población más importantes de cada una de las áreas que comprende la zona de influencia, se hizo uso de las cartas de Uso del Suelo escala 1:50000 obtenidas en la Dirección General

de Estudios del Territorio Nacional, Coordinación General del Sistema Nacional de Información de la Secretaría de Programación y Presupuesto.

Inventario de emisiones.

Se llevó a cabo la identificación de las posibles fuentes contaminantes en la zona de influencia de la CTE clasificadas en tres tipos principales:

- Industrias de transformación.
- Plantas generadoras de electricidad
- Tráfico vehicular.

c) Localización de sitios para el monitoreo de la concentración de fondo.

La localización de los sitios para monitorear la concentración de fondo se realizó por medio del programa VALLEY, el cual lleva a cabo el modelado matemático de la concentración de contaminantes en terrenos moderadamente complejos.

El modelo empleado es de tipo estado estacionario, Gaussiano univariante, diseñado para aplicaciones en casos de fuentes múltiples ya sean puntuales o de superficie, reconocido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos. Este programa requiere como datos de entrada:

- Altura de los receptores dispuestos radialmente en dirección de cada uno de los 16 rumbos, a partir del punto donde se localiza la CTE Lerdo, separados una distancia de 15/7 km. En total se disponen 7 receptores por cada rumbo dando un total de 112 receptores.
- Presión y temperatura media ambiente observada en la zona, teniéndose además la opción para el cálculo a condiciones estándar.
- Identificación alfabética de la corrida.
- Factor de escala para los mapas impresos.
- Peso molecular del gas.
- Altura de mezcla máxima promedio vespertina.
- Número de fuentes.
- Modo de operación, respecto a la entrada de datos.
- Dispositivo de salida de los resultados.
- Opción para la selección de tipo de medio ambiente, rural o urbano.

- Tipo de resultados:

- a) Suma de las contribuciones de todas las fuentes.
- b) Suma de las contribuciones de todas las fuentes y las contribuciones individuales.
- c) Sólo las contribuciones individuales.

- Altura de mezcla nocturna para el caso urbano.
- Vida media del contaminante.
- Opción de control que indica el tiempo de promediación de los datos meteorológicos y de las fuentes de emisión.

Respecto a los datos por fuentes se requiere:

- Identificación.
- Tasa de emisión.
- Altura de la chimenea.
- Velocidad del afluente.
- Diámetro de la chimenea.
- Flujo volumétrico.
- Coordenadas relativas de la fuente.
- Elevación de la fuente.
- Ancho del área de la fuente.
- Altura compuesta de la pluma.
(Puede ser calculada por el propio programa).

Datos de velocidad de viento:

- Medias de las clases de velocidad empleadas en la clasificación de las matrices de estabilidad.

Matriz de estabilidad:

- Valores de las frecuencias relativas de cambios de rumbo clasificados en seis valores de estabilidad atmosférica, para cada rumbo y velocidad de viento.

La determinación de los sitios para el monitoreo del nivel de contaminación de fondo se realizó tomando en cuenta el análisis de la información climatológica, cartográfica y de uso del suelo, realizado para la zona de influencia de la CTE Lerdo, así como el modelado matemático de la dispersión de SO_2 y NO_x a través del programa VALLEY, considerando las emisiones de todas las fuentes existentes, inclusive el tráfico vehicular, con lo cual se pudo obtener los puntos de máxima concentración.

Una vez localizados estos puntos cartográficamente, se realizó una inspección in situ a fin de determinar los sitios defini-

nitivos.

d) Evaluación de la concentración de fondo.

Dióxido de azufre (SO₂)

El método utilizado en la medición de la concentración de SO₂ en el ambiente de acuerdo a las especificaciones de "National Ambient Air Quality Standards" CRF Part 50, App. A, de los E.U.A. fue el de la pararasanilina y se aplica a períodos de muestreo en un rango de 30 minutos a 24 horas.

Partículas Suspendidas Totales (PST)

El método de alto volumen se utilizó para la medición de las partículas suspendidas (PST) en la atmósfera de acuerdo con la "National Ambient Air Quality Standards" CRF Part 50, App. B. El proceso de medición no es destructivo y el tamaño de la muestra recolectada es el adecuado normalmente, para el subsecuente análisis químico de la misma.

Oxidos de Nitrógeno (NO_x)

El método utilizado para la medición de los óxidos de nitrógeno fue el quimicoluminiscente de acuerdo con la "National Ambient Air Quality Standards", para lo cual se utilizó en analizador quimicoluminiscente Thermoelectron 14B/E y el sistema de calibración de gases modelo 146.

Los sitios seleccionados para la colocación de los monitores de SO₂, PST y NO_x deben cumplir ciertas condiciones con respecto a representatividad y mínima interferencia de las fuentes contaminantes de manera individual.

El proceso de selección del sitio de monitoreo, es un proceso de depuración; seleccionándose en primera instancia áreas generales las cuales pasan por una revisión exhaustiva respecto a la concordancia de los criterios, determinándose posteriormente sitios específicos que cumplan al máximo las normas.

El promedio del nivel de la concentración de fondo de un determinado contaminante depende de las características de las fuentes emisoras de contaminantes y la ocurrencia de las diferentes condiciones atmosféricas que transportan y diluyen las emisiones. La cantidad de fuentes contaminantes y el promedio de las emisiones son de gran importancia. El viento y la estabilidad son parámetros atmosféricos de gran influencia. La dirección del viento determina hacia donde se dirigen los contaminantes, mientras que la estabilidad atmosférica gobierna el promedio de dilución cuando existe turbulencia. Otro factor importante es que el contaminante reaccione químicamente y cambie su masa

total con el tiempo.

Para llevar a cabo la medición de la concentración de fondo se utilizaron los métodos y criterios antes mencionados, teniendo como objetivo detectar la contaminación urbana emitida por las ciudades de Torreón, Gómez Palacio y Lerdo incluyendo su tráfico vehicular, y las termoelectricas La Laguna y Francke.

e) Modelación de la dispersión de contaminantes dentro de la zona de influencia incluyendo la operación de la CTE Lerdo.

Con objeto de determinar el impacto de contaminantes en la zona de influencia de la CTE Lerdo incluyendo la operación de esta, se realizó una modelación de la dispersión de SO₂ u NO_x para períodos mensuales, estacionales y anuales, considerando las tasas de emisión de estos dos contaminantes durante la operación de la central a plena carga, así como la emisión de NO₂ por parte de los vehículos que circula por la ciudad de Torreón.

RESULTADOS OBTENIDOS.

Con base en el análisis de los resultados obtenidos de la modelación de la dispersión atmosférica de los contaminantes en la zona de influencia de la CTE Lerdo, se localizaron en forma preliminar 5 puntos en los cuales se recomienda la instalación de los equipos de monitoreo de SO₂, NO_x y PST. La localización geográfica de dichos puntos se anota a continuación:

No. de Sitio	X (km)	Y (km)	Localización Geográfica	
			Latitud N	Longitud W
1	11.1	4.8	25° 32' 18"	103° 27' 49"
2	4.9	0.0	25° 30' 00"	103° 33' 18"
3	1.6	-4.25	25° 27' 28"	103° 33' 18"
4	-4.14	-3.8	25° 28' 36"	103° 35' 29"
5	0.0	7.4	25° 33' 37"	103° 34' 15"

El punto X=0, Y=0 está referido a la CTE Lerdo.

OBSERVACIONES.

La ubicación definitiva de las estaciones de monitoreo de la contaminación atmosférica puede sufrir ligeras variaciones respecto a los puntos arriba anotados debido a que se requiere de cierta infraestructura para el funcionamiento de los equipos, además de un efectivo resguardo que los proteja de actos vandálicos. Es indispensable considerar lo anterior para garantizar al máximo la continuidad de la adquisición de la información.

Otro aspecto importante es que con el paso del tiempo, quizá sea necesaria una reubicación de las mallas debido a que por un lado se pueden incrementar tanto los asentamientos humanos como industriales lo cual puede llegar a representar una fisonomía diferente desde el punto de vista de contaminación, a la que existe actualmente y que sirvió como base del estudio.

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos a los Ings. Reynaldo Márquez y Alfonso Arias del Departamento de Ingeniería Mecánica, Disciplina Protección Ambiental de la Gerencia de Proyectos Termoelectrónicas de la CFE por todo el apoyo recibido para la elaboración de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA.

M. Muriel, B.I. Romero, R. Saldaña
Red de Monitoreo de la Calidad del Aire -
en Emisores y Receptores de la CTE Lerdo.
Informe IIE/12/27/I-01 P
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Julio, 1990.

M. Muriel, C. Melendez, B.I. Romero,
R. Saldaña
Red de Monitoreo de la Calidad del Aire -
en Emisores y Receptores de la CTE Lerdo.
Informe IIE/12/27/I-02 P
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Julio, 1990.

M. Muriel, R. Saldaña, B.I. Romero,
C. Melendez
Estudios sobre la Modelación de la Disper-
sión Atmosférica de Contaminantes en Cen-
trales Termoelectrónicas
Memorias del Primer Simposio Internacio-
nal sobre Clima Urbano, Contaminación del
Aire y Planeación en Ciudades Tropicales,
pp. 17, 220-230.
Guadalajara, Jal., México.
Noviembre, 1990.

REFLEXIONES SOBRE EL PAPEL DE LAS UNIVERSIDADES PARA LA PROMOCION DEL USO
DE LAS FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

ING. JOEL MILAN NAVARRO

AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
FACULTAD DE INGENIERIA
U.A.S.L.P.

Se hace un esbozo de las diferentes alternativas de participación de las universidades en relación a la implementación de tecnologías y a la evaluación de las diferentes fuentes alternas de energía, con vistas a tener a corto plazo las bases para el desarrollo de un programa interinstitucional que defina los elementos necesarios para poder realizar programas integrales de aprovechamiento de las fuentes alternas de energía.

Es ahora común, como se desprende de la lectura de los trabajos que se presentan en diferentes foros, seminarios, congresos, etc. que -- existe en las Universidades y Centros de Investigación del país, la tecnología para poder -- aprovechar adecuadamente casi cualquier fuente alterna de energía. De igual modo es conocido en el medio científico cuales son las acciones que se deben llevar a cabo para evaluar de manera general estos recursos.

Sin embargo, actualmente aunque se hace investigación en relación a estas fuentes energéticas, cada centro de investigación o universidad desarrollan sus propios modelos, sus propios proyectos buscando diferentes objetivos. Por ello, todos estos esfuerzos al carecer de un objetivo común, no propician claramente la utilización de los resultados de sus investigaciones en programas factibles de aprovechamiento de las fuentes alternas de energía.

Nos podríamos preguntar ¿existe entre nuestros centros de investigación una comunicación real, un intercambio de experiencias? ¿Estos centros mejor que la respuesta, pero es interesante preguntarse si en un país como el nuestro que carece de recursos petroleros, no sería más adecuado que la colaboración entre esta comunidad científica se diera para permitir alcanzar mejores y más rápidos avances tecnológicos y científicos.

En algunos que ahora, invitarán a los centros de investigación e universidades a plantear en que regiones de nuestro país concretamente, es viable la utilización de fuentes alternas de energía. En este momento se podría tal vez decir, que tales regiones o estados serían --

susceptibles de aprovechar tal o cual recurso, pero que habría que hacer estudios más detallados para su evaluación. Por otra parte, sin duda también, se pondría en tela de juicio la aplicabilidad de ciertas tecnologías. No porque por ellas mismas no funcionen sino más bien porque las comunidades en las que se implementarían probablemente no las aceptarían. Todos habrán seguramente tenido experiencias -- en el sentido de que una cuestión es la operabilidad de ciertos aparatos y tecnologías en el laboratorio, y otra distinta a nivel de aplicación a la realidad. Esto puede parecer "fuera del quehacer científico" pero en la actualidad, como en todas las ramas del conocimiento hay que "vender" nuestras ideas y conocimientos, de otro modo, prácticamente sería como si no existieran.

Esta pequeña introducción nos lleva a dos cuestiones simples, planeación interinstitucional a largo plazo e integración de tecnologías a las realidades de nuestro país.

En relación a la planeación a largo plazo, debemos aceptar que una adecuada explotación de las fuentes energéticas en nuestro país requiere sistematización e inducción de tiempo. Pues en esta planeación no sólo se deben ver los aspectos científicos y tecnológicos, sino que estos se deben analizar desde un punto de vista eminentemente práctico.

Para que esta planeación se de adecuadamente -- deberá faltar un lugar a donde acudir cuando planteando las universidades y centros de Investigación del país, ellas deberán responsabilizarse de llevar a cabo los programas de un plan interinstitucional. Deberán también estar

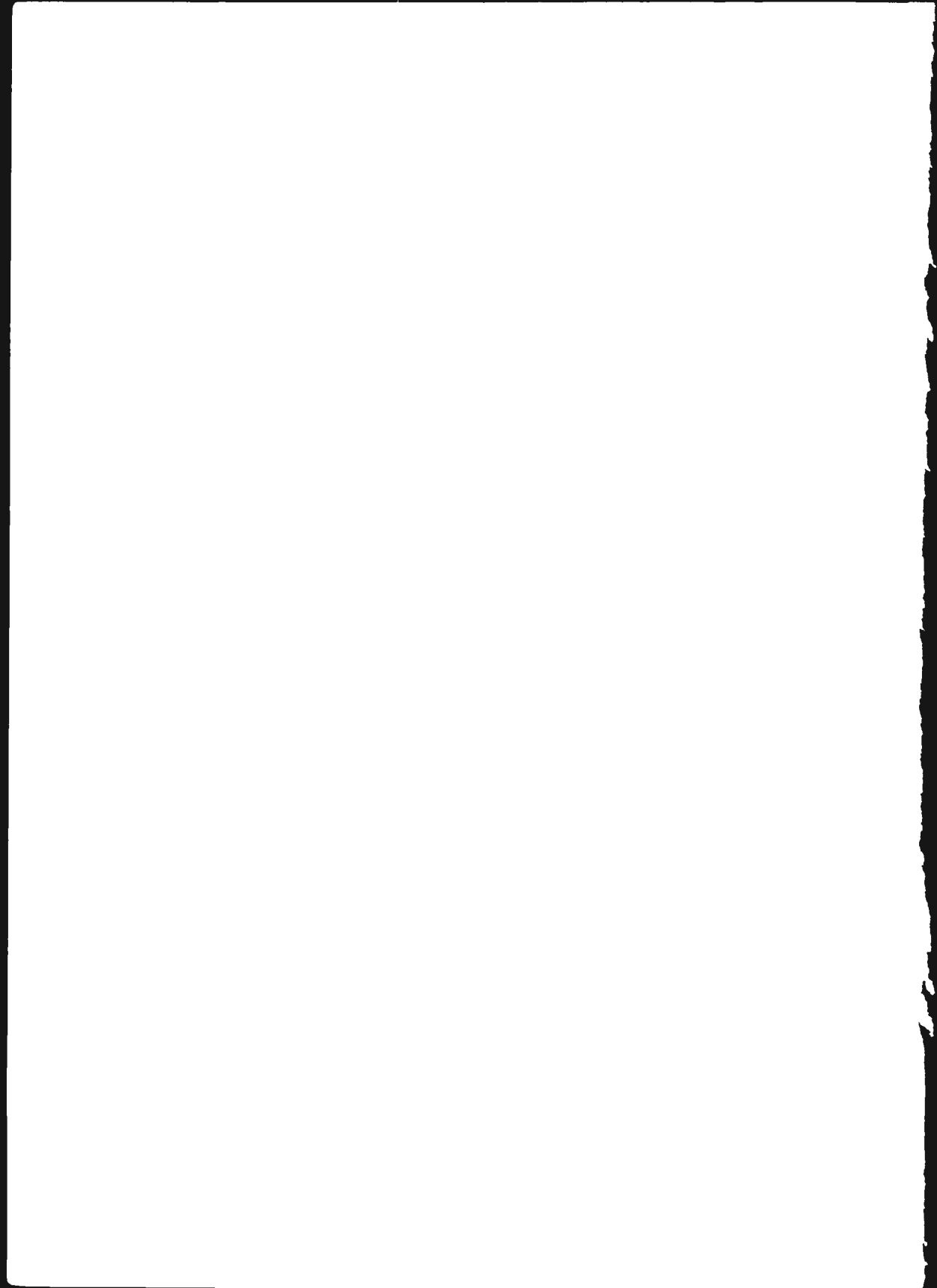
La participación de las universidades es importante no sólo por el aporte que pueda hacer en los aspectos tecnológicos y científicos sino que también, tienen la obligación de formar una opinión sana en relación a esto, - en el radio de influencia de su comunidad.

No sólo las Universidades deberán normar la opinión pública, sino que su interrelación con los gobiernos y empresas energéticas, ayu dará a orientar las decisiones de estos organismos. Debe quedar suficientemente claro que, el hecho de aprovechar energías más limpias a una escala reducida, pero en gran cantidad, permitirá que las demandas de energía se mantengan dentro de un rango que el gobierno no pueda manejar sin comprometer ni sus recursos energéticos, ni su entorno ecológico.

Este trabajo conjunto a través de un plan interinstitucional permitirá llegado el momento presentar modelos interesantes de explotación de fuentes alternas de energía, que puedan llevar a proponer ciertas adecuaciones a las leyes, que permitan que otros sectores diferentes al Gobierno Federal puedan invertir en este tipo de programas, para producir energía para su autoconsumo y tal vez para vender sus excedentes, como ya se hace en otros países.

Se hará obvio que la utilización de las fuentes alternas de energía, entre ellas la eólica, solar, biomasa, etc., probablemente no lleguen, proporcionalmente a otros energéticos como los hidrocarburos, a tener una enorme importancia en la generación masiva de energía, pero sin ningún lugar a dudas, ayudarán en gran medida a disminuir la demanda energética en algunas áreas, a las que se hace difícil llevar la energía de manera convencional.

Finalmente, una alternativa que todos debieramos promover, es el establecimiento de esquemas, tanto de carácter fiscal como administrativo a las grandes empresas públicas y privadas, y gobiernos estatales y municipales, para que inviertan en poner a punto, teniendo a las Universidades y Centros de Investigación como la piedra angular, los planes y programas que lleven a simplemente esperar el momento económico propicio para establecer sistemas energéticos que aprovechen las fuentes alternativas de energía.



EL SEÑOR LIC. ALFONSO LASTRAS RAMÍREZ,
RECTOR DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ, ORDENÓ LA IMPRE-
SIÓN DE ESTE LIBRO A LA EDITORIAL UNI-
VERSITARIA POTOSINA. LA EDICIÓN FUE
CONCLUIDA EL 27 DE FEBRERO DE 1992 Y
CONSTA DE 500 EJEMPLARES.

