



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI.**

**FACULTAD DE INGENIERIA.**

**"AGUA NO CONTABILIZADA EN LA RED DE AGUA POTABLE  
DEL FRACCIONAMIENTO POTOSINO DE GOLF"**

**TESIS**

**Para obtener el grado de:**

**MAESTRIA EN HIDROSISTEMAS.**

**OPCIÓN EN AMBIENTAL.**

Presenta

**Ing. Fabián Almendárez Alonso**

Director de tesis

**M.I. Jorge Alberto Rodríguez Robledo**

**San Luis Potosí, S.L.P, Diciembre de 2007.**





**AL ING. FABIÁN ALMENDÁREZ ALONSO  
P R E S E N T E. –**

En atención a su solicitud de Tema y Temario, presentada por el **M.I. Jorge Alberto Rodríguez Robledo**, Asesor de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestría en Hidrosistemas con Opción en Ambiental**. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 21 de junio del presente año, fue aprobado el Tema y Temario propuesto:

**TEMARIO:**

**“AGUA NO CONTABILIZADA EN LA RED DE AGUA POTABLE DEL  
FRACCIONAMIENTO POTOSINO DE GOLF”**

Introducción.

Objetivos.

1. Antecedentes de agua no contabilizada en las redes de agua potable.
2. Esquema general de un control de agua no contabilizada.
3. Catastro de la red de agua potable del Fraccionamiento Potosinos de Golf.
4. Micromedición y macromedición.
5. Balance de agua en la red del Fraccionamiento Potosino de Golf.

Conclusiones.

Bibliografía.

Anexos.

**“MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO”**



**ING. JOSÉ ARNOLDO GONZÁLEZ ORTIZ  
DIRECTOR**





Facultad de Ingeniería

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI**  
Facultad de Ingeniería  
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado



Universidad Autónoma  
de San Luis Potosí

San Luis Potosí, S.L.P., a 31 de octubre de 2007

**Ing. Ramiro A. Ramírez Cano**  
Secretario General de la Facultad  
Presente.-

Por medio de la presente me permito informar a Usted que el Ingeniero:

<b>Almendárez</b>	<b>Alonos</b>	<b>Fabián</b>
Apellido Paterno	Apellido Materno	Nombre(s)

con título de: **INGENIERO CIVIL**

ha concluido su trabajo de investigación, por lo que se autoriza realizar los trámites correspondientes ante la Secretaría de la Facultad para efectuar la revisión del mencionado trabajo, para lo cual se le han asignado los sinodales siguientes:

1. M.I. Jorge Alberto Rodríguez Robledo
2. Dr. Rodolfo Cisneros Almazán
3. Salvador Martínez Hernández

SUPLENTE: **Dr. Hilario Charcas Salazar**

y con el fin de obtener el grado de **Maestría en Hidrosistemas con opción en Ambiental.**

*HILARIO CHARCAS SALAZAR*  
**Dr. Hilario Charcas Salazar**  
 Coordinador Académico de la  
 Maestría en Hidrosistemas

mmpc.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

FORMA SCTL08

FECHA: 20 / NOV. / 2007  
DÍA / MES / AÑO

SECRETARÍA GENERAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
PRESENTE.-

Nos permitimos informar a esa Secretaría que el (la) Sr (ita).

ALMENDAREZ

ALONSO

FABIÁN

APELLIDO PATERNO

APELLIDO MATERNO

NOMBRE (S)

Ha efectuado a satisfacción las correcciones que se le indicaron durante la revisión conjunta a su Trabajo de investigación y/o Tesis, correspondiente a la MAESTRÍA EN HIDROSISTEMAS, por lo cual estamos autorizando con esta forma la impresión del mismo.

Sin otro particular por el momento, protestamos las seguridades de nuestra atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE

<u>Jorge Alberto Rodríguez R.</u>	<u>[Firma]</u>
NOMBRE	FIRMA
<u>Rodolfo Cisneros Alvaran</u>	<u>[Firma]</u>
NOMBRE	FIRMA
<u>Hilario Charcas Salazar</u>	<u>HILARIO CHARCAS</u>
NOMBRE	

**NOTA:** A la aprobación del Examen Previo de Grado, cuanta usted con seis meses a partir de la presente fecha, para sustentar su Examen Final, al vencimiento del mismo deberá presentar examen previo de nueva cuenta, haciendo los trámites requeridos para tal propósito.

ENTREGAR 7 EJEMPLARES IMPRESOS

# ÍNDICE

ÍNDICE DE LÁMINAS.....	<i>i</i>
ÍNDICE DE CUADROS.....	<i>ii</i>
INTRODUCCIÓN.....	<i>iii</i>
OBJETIVO.....	<i>iii</i>
	<b>Pág.</b>
<b>1 ANTECEDENTES DE AGUA NO CONTABILIZADA EN LAS REDES DE AGUA POTABLE.</b>	<b>1</b>
1.0 Generalidades.....	2
1.1 La potencia mundial y las pérdidas de agua.....	2
1.2 Pérdidas de agua en México.....	3
1.3 Fuga (pérdidas físicas), elemento principal del agua no contabilizada.....	6
1.4 Agua no cuantificada en la red.....	13
1.5 Problemas principales para reducir el agua no contabilizada en la Red.....	14
1.6 Acciones para disminuir las pérdidas dentro de la red.....	15
1.7 Reducción integral de pérdidas de agua.....	17
1.8 Programa de control de pérdidas.....	18
1.9 Beneficios de un proyecto integral de pérdidas.....	18
<b>2 ESQUEMA GENERAL DE UN CONTROL DEL AGUA NO CONTABILIZADA.</b>	<b>20</b>
2.0 Control de agua no contabilizada.....	21
2.1 Proyectos Básicos.....	21
2.1.1 Esquema general de los Proyectos Básicos dentro de un estudio de agua no contabilizada.....	21
2.1.2 Proyectos de Operación y de Servicio.....	22
2.1.3 Proyectos de Control de Usuarios.....	24
2.2 Diagnóstico.....	24
2.2.1 Esquema general de un diagnóstico dentro de un estudio de agua no contabilizada.....	24
2.2.1.1 Técnicas para la determinación de agua no contabilizada.....	25
2.2.1.2 Evaluación de la medición en la red.....	27
2.2.1.2.1 Análisis de Proyectos Básicos.....	27
2.3 Técnicas de localización y reparación de fugas.....	28
2.3.1 Técnicas de localización.....	28
2.3.2 Técnicas de reparación de fugas.....	29

<b>3</b>	<b>CATASTRO DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL FRACCIONAMIENTO POTOSINO DE GOLF.</b>	<b>30</b>
3.0	Evolución e historia de los catastros.....	31
3.1	Importancia de los catastros para un estudio de agua no contabilizada....	31
3.2	Proyectos de operación y de servicio.....	32
3.2.1	Catastro de la red de distribución.....	32
3.2.2	Formulación del proyecto de catastro de redes.....	33
3.2.3	Catastro de instalaciones.....	34
3.2.4	Actividades básicas para el levantamiento del catastro de redes hidráulicas en el Fraccionamiento Potosino de Golf.....	35
3.3	Catastro general del Fraccionamiento Potosino de Golf.....	38
3.3.1	Catastro de fuentes de abastecimiento principales de la red.....	41
3.3.2	Catastro de macromedidores instalados.....	43
<b>4</b>	<b>MICROMEDICIÓN Y MACROMEDICIÓN.</b>	<b>44</b>
4.0	La medición y el uso eficiente del agua.....	45
4.1	Sistema de medición.....	45
4.2	Objetivo de un sistema de medición.....	46
4.3	Elementos que integran un aparato de medición.....	46
4.4	Como ocurren los errores en la medición de agua.....	47
4.5	Corrección de los errores de medición y facturación.....	48
4.5.1	Calidad de los datos de medición.....	48
4.6	Principales puntos de medición para la recopilación de datos dentro de una red de distribución.....	49
4.7	La micromedición.....	50
4.7.1	Que es la micromedición.....	50
4.7.2	La micromedición como instrumento indispensable para la administración de la red.....	51
4.7.3	La micromedición, herramienta por excelencia en la determinación de agua no contabilizada (A.N.C).....	52
4.7.4	Clasificación de los diversos tipos de micromedidores según su uso.	53
4.7.4.1	Medidor de velocidad.....	53
4.7.4.2	Medidor volumétrico.....	55
4.8	Evaluación de sub y sobremedición.....	57
4.8.1	Método de estudio estratificado para la selección de muestras aleatorias.....	58
4.8.2	Prueba de exactitud a micromedidores.....	61
4.8.2.1	Pruebas de micromedidores en campo.....	63
4.8.2.2	Implementación de las pruebas de campo.....	64
4.8.2.3	Implementación de las pruebas de campo en el Fraccionamiento Potosino de Golf.....	66
4.8.2.3.1	Resultados de las pruebas en campo a medidores en los domicilios seleccionados.....	67
4.8.3	Prueba de micromedidores en laboratorio.....	69

4.8.3.1	Requerimientos comunes para la realización de la prueba de error de medición en laboratorio.....	69
4.8.3.2	Requisitos preliminares.....	69
4.8.3.3	Mesa de pruebas.....	69
4.8.3.4	Estudio estratificado aleatorio para la selección de medidores....	69
4.8.3.5	Metodología para la realización de la prueba de error de medición en laboratorio.....	69
4.8.3.6	Análisis de errores.....	70
4.8.4	Ejemplo práctico de prueba de exactitud a micromedidores.....	71
4.9	La macromedición.....	80
4.9.1	Que es la macromedición.....	80
4.9.2	Beneficios de un programa de macromedición.....	81
4.9.3	Uso de la macromedición para la operación de una red.....	81
4.9.3.1	Macromedición aplicada a la operación.....	81
4.9.3.2	Calidad y cantidad de macromedidores.....	82
4.9.3.2.1	Precisión de los equipos.....	82
4.9.3.3	Formulación de un proyecto de macromedición.....	83
4.9.4	Definición de los puntos de medición.....	84
4.9.4.1	Ubicación de los puntos de macromedición sobre la red de distribución.....	84
4.9.5	Selección y descripción de macromedidores.....	86
4.9.5.1	Clasificación macromedidores.....	87
4.10	Formulación de un proyecto de macromedición para el Fraccionamiento Potosino de Golf.....	88
4.10.1	Recopilación y análisis de información de los macromedidores instalados para el proyecto de agua no contabilizada del Fraccionamiento Potosino de Golf.....	88
4.10.2	Elaboración del proyecto de evaluación para la instalación de macromedidores.....	89
4.10.2.1	Macromedidores electromagnéticos a instalar en los puntos de medición.....	90
4.10.2.1.1	Macromedidores Badger Meter.....	90
4.10.2.1.2	Características de los medidores electromagnéticos Badger Meter (magneto flow).....	91
4.10.2.1.3	Manual para la instalación de los macromedidores electromagnéticos Badger Meter (magneto Flow).....	92
4.10.2.1.4	Programación del primo amplifier.....	95
4.10.2.1.5	Período de tiempo para el estudio.....	96
4.10.3	Evaluación de resultados obtenidos de la macromedición en el Fraccionamiento Potosino de Golf.....	96
4.10.3.1	Cobertura de la macromedición.....	96
4.10.3.2	Obtención de datos para calcular el error de medición en macromedidores.....	97
4.10.3.3	Cálculo de los errores en macromedidores.....	100
4.10.3.4	Resultados de la prueba de error de medición en macromedidores.....	102

## **5 BALANCE DE AGUA EN LA RED DEL FRACCIONAMIENTO POTOSINO DE GOLF. 103**

5.1 El balance de agua.....	104
5.2 Que es un balance de agua.....	104
5.2.1 Clasificación de los balances de agua.....	105
5.2.2 Expresión de los elementos de un balance de agua.....	105
5.2.3 Selección de los elementos para la realización de un balance de agua.....	106
5.3 El tiempo como factor decisivo en la realización de un balance de agua...	107
5.4 Consideraciones a tomar para los suministros (puntos de extracción).....	107
5.4.1 Revisión de filtraciones en la cisterna.....	108
5.5 Fórmula, posibles escenarios y método alternativo para la realización de un balance de agua para un estudio de agua no contabilizada.....	108
5.6 Balance de agua para el cálculo del porcentaje de agua no contabilizada del Fraccionamiento Potosino de Golf.....	110
5.6.1 Selección de los puntos principales de consumo para la realización del balance de agua.....	110
5.6.2 Consideraciones para el balance.....	111
5.6.3 Selección del tiempo para el levantamiento de datos.....	113
5.6.4 Desarrollo del balance de agua.....	113
5.6.4.1 Datos de los Suministros (macromedición).....	113
5.6.4.1.1 Eficiencia de medición en el punto de suministro.....	116
5.6.4.1.2 Revisión de filtraciones en la cisterna.....	117
5.6.4.2 Datos de volúmenes justificados (micromedición).....	119
5.6.4.2.1 Datos de consumos especiales.....	122
5.6.5 Balance de agua.....	123
5.6.5.1 Suma de consumos.....	126
5.6.5.2 Comparación de consumos por sectores.....	129
5.6.5.3 Comparación general de consumos.....	131
5.6.5.4 Porcentajes de eficiencia.....	132
5.6.5.5 Porcentaje de agua no contabilizada.....	135

**CONCLUSIONES (recomendaciones)..... 139**

**BIBLIOGRAFÍA..... 142**

### **ANEXOS.**

- Anexo D, E, G..... **En tesis.**
- Anexo A, B, C, F, H, I..... **En disco.**



# ÍNDICE DE CUADROS.

## 1 ANTECEDENTES DE AGUA NO CONTABILIZADA EN LAS REDES DE AGUA POTABLE.

Cuadro 1.1 Agua no contabilizada de 329 entidades prestadoras de servicio.	5
Cuadro 1.2 Agua producida, facturada y no contabilizada en localidades de México durante el año 2001.....	5

## 3 CATASTRO DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL FRACCIONAMIENTO POTOSINO DE GOLF.

Cuadro 3.1 Elaboración y ejecución del catastro.....	34
Cuadro 3.2 Fuentes de abastecimiento.....	41
Cuadro 3.3 Tanque de almacenamiento.....	42
Cuadro 3.4 Red de distribución.....	42
Cuadro 3.5 Válvulas y dispositivos en la red.....	42

## 4 MICROMEDICIÓN Y MACROMEDICIÓN.

Cuadro 4.1 Proyecto realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.....	52
Cuadro 4.2 Número de estratos según tamaño de la población.....	59
Cuadro 4.3 Nivel de confianza.....	60
Cuadro 4.4 Posibles combinaciones de estratos.....	60
Cuadro 4.5 Obtención de los datos generales del domicilio donde se realizarán pruebas al medidor.....	67
Cuadro 4.6 Hora inicial y final tomada del medidor al realizar las pruebas.....	68
Cuadro 4.7 Toma de lecturas del medidor ya calibrado.....	68
Cuadro 4.8 Aplicación de la fórmula de exactitud del medidor.....	68
Cuadro 4.9 Datos de medidores probados en laboratorio, tanda 19.....	71
Cuadro 4.10 Formato de la tabla para los datos de la tanda 19.....	72
Cuadro 4.11 Valores de altura tanque de aforo de la tanda 19.....	73
Cuadro 4.12 Pruebas ISO a las que serán sometidos los medidores.....	73
Cuadro 4.13 Resultados de la prueba.....	74
Cuadro 4.14 Datos individuales por medidor.....	74
Cuadro 4.15 Datos de consumo para el medidor Badger Meter (m <sup>3</sup> ).....	75
Cuadro 4.16 Cálculo de edad del medidor.....	75
Cuadro 4.17 Medidores organizados por marca y edad.....	76
Cuadro 4.18 Datos del aparato analizado en laboratorio.....	76
Cuadro 4.19 Medidor del fraccionamiento con la misma edad y marca que el medidor probado en laboratorio.....	77
Cuadro 4.20 Medidor del fraccionamiento con los consumos modificados con el %de error de medición.....	77
Cuadro 4.21 Datos de porcentaje de error para medidores Badger Meter	

con edad de 3 años.....	78
Cuadro 4.22 Datos de porcentaje de error aplicado a el consumo del lote # 620 para medidores Badger Meter con edad de 3 años.....	78
Cuadro 4.23 Promedios de consumos domiciliarios con errores aplicados ( $m^3$ ), a los medidores Badger Meter con edad de 3 años, para la prueba de $Q_n = 41.67$ (lt/s).....	79
Cuadro 4.24 Recomendación de acuerdo al tipo de medición.....	83
Cuadro 4.25 Clasificación macromedidores.....	87
Cuadro 4.26 Tipo y características de medidores instalados.....	88
Cuadro 4.27 Datos del medidor Magneto Flow en el punto por extracción.....	98
Cuadro 4.28 Datos del medidor Magneto Flow en el punto por rebombeo.....	98
Cuadro 4.29 Datos del medidor Magneto Flow en el punto por gravedad (primer prueba).....	99
Cuadro 4.30 Datos del medidor Magneto Flow en el punto por gravedad (segunda prueba).....	99
Cuadro 4.31 Resultado del porcentaje de error del macromedidor en el punto de extracción.....	100
Cuadro 4.32 Resultado del porcentaje de error del macromedidor en el punto por rebombeo.....	101
Cuadro 4.33 Resultado del porcentaje de error del macromedidor en el punto por gravedad (primer prueba).....	101
Cuadro 4.34 Resultado del porcentaje de error del macromedidor en el punto por gravedad (segunda prueba).....	102
Cuadro 4.35 Resultados de la prueba de error de medición en macromedidores.....	102
Cuadro G.2 Valores de gasto, tiempo y volumen que se usaron en las pruebas a micromedidores del Fraccionamiento Potosino Golf.....	71

## **5 BALANCE DE AGUA EN LA RED DEL FRACCIONAMIENTO POTOSINO DE GOLF.**

Cuadro 5.1 Variación del método de balance.....	110
Cuadro 5.2 Esquema general de distribución de los puntos de medición para la realización del balance de agua.....	111
Cuadro 5.3 Volúmenes de agua anual en el punto de extracción ( $m^3$ ).....	113
Cuadro 5.4 Volúmenes de agua anual por el sector de rebombeo ( $m^3$ ).....	114
Cuadro 5.5 Volúmenes de agua anual por el sector de gravedad ( $m^3$ ).....	115
Cuadro 5.6 Eficiencias de medición dentro del suministro.....	117
Cuadro 5.7 Datos para el cálculo de filtraciones en el almacenamiento.....	118
Cuadro 5.8 Designación de la clave única para promedios de consumos domiciliarios con errores aplicados por cada tipo de prueba.....	120
Cuadro 5.9 Ejemplo para el acomodo de los consumos finales (volúmenes justificados con error aplicado).....	122
Cuadro 5.10 Consumos de los lotes con medidores Kent ( $m^3$ ).....	122



Cuadro 5.11 Consumos de los lotes situados en casetas de vigilancia, baños, áreas verdes y oficinas (m <sup>3</sup> ).....	123
---	-----

# ÍNDICE DE LÁMINAS

## 1 ANTECEDENTES DE AGUA NO CONTABILIZADA EN LAS REDES DE AGUA POTABLE.

Lámina 1.1 Precipitación pluvial media anual en el país.....	4
Lámina 1.2 Cargas superficiales distribuidas sobre tubería.....	7
Lámina 1.3 Agrietamiento por mala construcción de los elementos circundantes a la tubería.....	8
Lámina 1.4 Fugas por fatiga de soldaduras de plomo y de piezas especiales.....	8
Lámina 1.5 Fugas por golpe de ariete.....	8
Lámina 1.6 Fugas por corrosión en la tubería.....	9
Lámina 1.7 Ubicación y frecuencia de fugas en líneas principales, secundarias y en tomas domiciliarias.....	9
Lámina 1.8 Ubicación principal de las fugas.....	11
Lámina 1.9 Fuga por corrosión.....	11
Lámina 1.10 Fuga en caja de válvula.....	11
Lámina 1.11 Tipos de fuga en cisterna.....	12
Lámina 1.12 Ubicación principal de las fugas en cuadros.....	12
Lámina 1.13 Ubicación de fugas intradomiciliarias.....	12
Lámina 1.14 Rajadura en tubería.....	13
Lámina 1.15 Perforación en tubería.....	13
Lámina 1.16 Fuga por corte en la tubería.....	13
Lámina 1.17 Fugas por mala colocación de piezas y calidad del material.....	13

## 2 ESQUEMA GENERAL DE UN CONTROL DEL AGUA NO CONTABILIZADA.

Lámina 2.1 Caída de presiones en la tubería principal, esquema de posible fuga.....	25
Lámina 2.2 Caída de presiones en la tubería principal.....	26
Lámina 2.3 Clasificación de algunos equipos detectores de fugas.....	29

## 3 CATASTRO DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL FRACCIONAMIENTO POTOSINO DE GOLF.

Lámina 3.1 Ubicación del Fraccionamiento Potosino de Golf.....	39
Lámina 3.2 Sectores en los que se dividió la red.....	43
Lámina 3.3 Ubicación de macromedidores en el pozo.....	43

#### **4 MICROMEDICIÓN Y MACROMEDICIÓN.**

Lámina 4.1 Esquema del sistema de medición.....	46
Lámina 4.2 Esquema de acción de un medidor.....	46
Lámina 4.3 Esquema de acción de los engranajes del registrador.....	47
Lámina 4.4 Medidores de turbina.....	53
Lámina 4.5 Medidores de turbina.....	56
Lámina 4.6 Esquema del contacto del agua con la turbina.....	56
Lámina 4.7 Tipos de medidores de velocidad por chorro (medidores tangenciales).....	55
Lámina 4.8 Medidor de chorro múltiple.....	55
Lámina 4.9 Medidor de registro circular.....	57
Lámina 4.10 Medidor de registro directo con rodillos.....	57
Lámina 4.11 Grafica de curva de error.....	63
Lámina 4.12 esquema del aparato para medir 1 lt/min.....	65
Lámina 4.13 Esquema para colocación macromedidores en puntos de extracción.....	85
Lámina 4.14 Puntos de medición en una red de agua potable.....	86
Lámina 4.15 Medidor de hélice CNA en pozo, medidor de hélice en zona de rebombeo.....	89
Lámina 4.16 Partes del medidor electromagnético (Magneto Flow) Badger Meter.....	92
Lámina 4.17 Acomodo horizontal del medidor electromagnético (Magneto Flow) Badger Meter.....	93
Lámina 4.18 Acomodo vertical del medidor electromagnético (Magneto Flow) Badger Meter.....	93
Lámina 4.19 Acomodo inclinado del medidor electromagnético (Magneto Flow) Badger Meter.....	94
Lámina 4.20 Colocación de anillos medidor electromagnético (Magneto Flow) Badger Meter.....	94
Lámina 4.21 Longitud cable conector medidor electromagnético (Magneto Flow) Badger Meter.....	94
Lámina 4.22 Entradas Primo Amplifier del medidor electromagnético (Magneto Flow) Badger Meter.....	95
Lámina 4.23 Programación del display.....	95
Lámina 4.24 Selección de la opción a tubo vacío.....	96
Lámina 4.25 Selección de la escala máxima de flujo.....	96
Lámina 4.26 Selección de la opción a tubo vacío.....	96

#### **5 BALANCE DE AGUA EN LA RED DEL FRACCIONAMIENTO POTOSINO DE GOLF.**

Lámina 5.1 Elementos a tomar en cuenta dentro del balance de agua.....	106
Lámina 5.2 Croquis de la cisterna.....	118

## Introducción.

La preocupación de los seres humanos por controlar todos los sistemas, que con ingenio y determinación inventa, a fin de mejorar el status de vida de cada uno de los integrantes de una comunidad, no es nueva, desde los inicios de la sociedad se ha tenido la necesidad de perfeccionar cualquier metodología, técnica, mecanismo, etc., con el simple objetivo de vivir mejor por medio de la optimización de sus invenciones.

Con el avance y el crecimiento de las ciudades se mantuvieron algunas necesidades básicas, una de estas fue la de poder acceder a agua de calidad y en cantidad para asegurar la existencia de las generaciones. Es importante mencionar que los sistemas de agua potable (redes de tuberías, pozos, tanques, reservorios, canales, etc.) no son la excepción y requieren ser perfeccionados, ya que son un patrimonio mundial, y sin ellos muchos de los avances actuales hubieran sido imposibles de lograr, por ende la expresión "agua elixir de vida y del modernismo".

Es bien sabido por los operadores de cualquier tipo de sistema, que en el momento en que todas las partes de un mecanismo son reguladas, en vez de crear nuevos elementos que complementen al original, el todo se perfecciona y ejecuta mejor la función para la que fue inventado, este es el principio por el cual se rige un estudio de agua no contabilizada aplicada a un sistema de agua potable. Gracias a esta idea aplicada a las redes, desde los años setenta en Estados Unidos, se empezaron a conjuntar acciones de uso eficiente hasta constituirse en verdaderos programas para la optimización y uso del agua; con el tiempo se transformaron en programas de control, surgidos para "eficientizar las redes, con lo que se evitó la creación de nuevos sistemas" (Gordon, 1990; Van Dyke *et al.* 1990).

"La preocupación por usar mejor el agua en las ciudades es relativamente nueva, en 1980 Thomas Crapper construyó en Inglaterra el primer escusado de bajo consumo para reducir el problema de pérdida de agua" (Corpening 1990).

Si pudiéramos observar todos los organismos operadores que controlan la diversas infraestructuras que distribuyen el agua a los usuarios, podríamos entender la preocupación por controlar y administrar de una mejor manera su patrimonio, México no es la excepción. En nuestro País, los proyectos enfocados a la disminución del agua no contabilizada comenzaron en el año de 1984, con la creación del Departamento de Uso Eficiente del Agua en la ciudad de México, que tenía como principal función la operación y mantenimiento de la red.

Con el paso de los años y por medio de estudios realizados por dependencias de gobierno y centros de investigación se ha podido obtener valores en porcentaje del actual funcionamiento de los sistemas en casi todos los estados que conforman a México, los cuales están entre el 50 al 40% de error según la

Comisión Estatal del Agua (en un estudio realizado en un periodo de 5 años 1999 – 2001). Es indiscutible que los estudios enfocados a obtener la cantidad de agua no contabilizada en las ciudades no sean necesarios, por lo que en San Luis Potosí se deberá de implementar a largo plazo un proyecto que determine que tan eficiente es el sistema de agua potable y con esto reducir aumentos en el costo de operación de la red, que originen un incremento en la satisfacción del usuario y que se vera reflejado en la confianza hacia el operador. Por mi parte ya realizado el estudio de agua no contabilizada para una red aislada prototipo "red de agua potable del Fraccionamiento Potosino de Golf" dentro de la ciudad de San Luis Potosí y ya habiendo obtenido valores de eficiencia en el calculo de 70 a 80%, con un método practico, se pueda comprender la necesidad de generar estudios en toda la ciudad para obtener beneficios a largo plazo.

## Objetivos:

El propósito principal de la presente investigación, es estimar el porcentaje de agua no contabilizada (A.N.C) en el sistema de abastecimiento de agua potable del Fraccionamiento Potosino de Golf, utilizando un procedimiento que es el resultado de aplicar el método de balance de agua conjuntamente con el de distritos hidrométricos (utilizado por el IMTA), con el que se espera obtener resultados satisfactorios en periodos de tiempo relativamente cortos.

Ya que el método de Distritos Hidrométricos es usado en sectores o redes hidráulicas de gran tamaño (ciudades) se requirió que el sistema que se va a estudiar fuera optimo (con un suministro aislado y sin conexiones externas) ya que no solo se pretende verificar si existen perdidas, si no evaluar la eficacia del método en redes de magnitud pequeña, para así poder ejecutar estudios con un enfoque particular dentro de un universo de sistemas hidráulicos complejos (red de agua potable urbana).

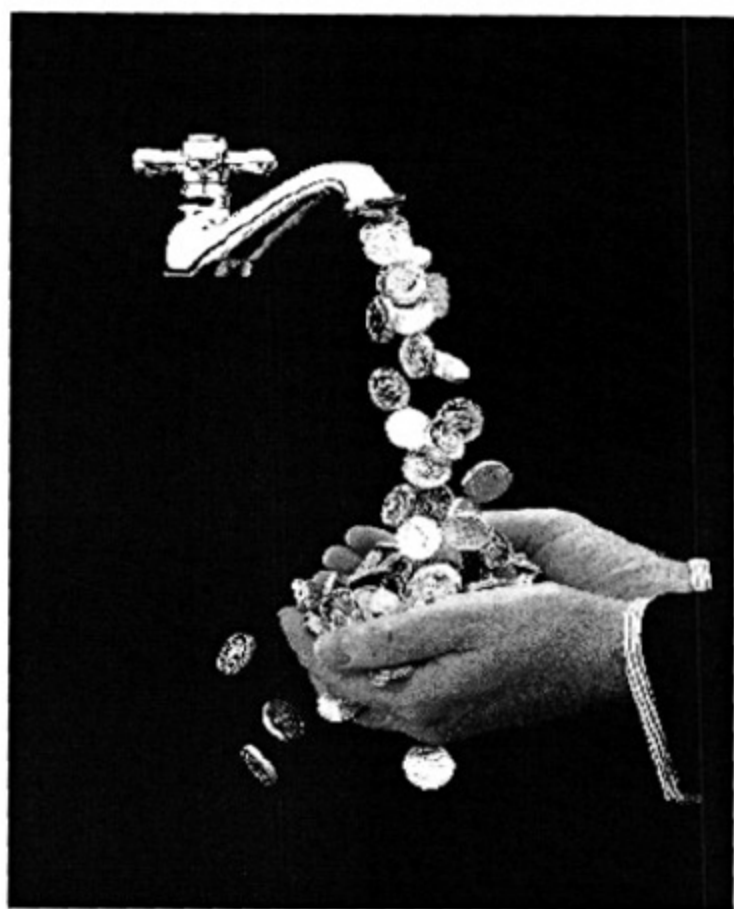
Cabe mencionar que la aplicación del método necesita de la implementación de proyectos enfocados al Apoyo Logístico que no se trataron durante el desarrollo de la investigación y al final de la misma ya que este, en su totalidad corresponde hacerlo al organismo operador.

### Particulares:

1. Establecer los antecedentes de agua no contabilizada en las redes de agua potable.
2. Desglosar y describir el método en su totalidad que se va a utilizar.
3. Recopilar la información de la red referente a:
  - La red de agua potable: planos existentes, distribución de tuberías, diámetros, materiales, conexiones especiales, restauración, modificaciones de la red y topografía.
  - Suministro: descripción del pozo, cisterna(s), del tanque elevado, puntos de conexión, diámetros, materiales y localización.
  - Medición del agua: facturación, consumos por usuario, volúmenes de extracción del pozo, volúmenes de almacenamiento en la(s) cisterna(s), características de los aparatos de medición tanto del suministro como de los usuarios.
4. Realizar un catastro que complemente la información suministrada por el organismo operador con las siguiente información:
  - Distribución de lotes (numero de domicilio, nombre de calles).
  - Selección de los Distritos Hidrométricos.

- Distribución de tomas dentro de los Distritos Hidrométricos.
  - Planos de la red de distribución.
  - Plano topográfico (en caso de no tenerse).
  - Descripción de las fuentes de abastecimiento.
  - Catastro de macromedidores.
  - Catastro de micromedidores (solo se verificara la marca y modelo de los medidores, así como su estado).
5. Realizar pruebas a los macromedidores, por medio de medidores verificadores, con los que se obtendrá la exactitud de los aparatos del organismo operador (macromedidores electromagnéticos).
  6. Verificar la exactitud de los micromedidoresde los usuarios. Mediante pruebas de exactitud aplicados a una muestra aleatoria, realizadas dentro de un banco de pruebas.
  7. Diseñar, construir y calibrar un banco de pruebas para micromedidores.
  8. Obtener los porcentajes de agua no contabilizada mediante la aplicación de la metodología correspondiente.
  9. Con base en los resultados obtenidos se realizaran las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

## Capítulo 1



ANTECEDENTES DE AGUA NO CONTABILIZADA EN  
LAS REDES DE AGUA POTABLE.



## **1.0 Generalidades.**

La población ha crecido aceleradamente durante el siglo XX. A finales del año de 1998 se contaba en el planeta con 5.9 millones de habitantes y casi 4 billones en 1975. Este tipo de crecimiento solo pudo ser posible gracias a nuestra habilidad única para proveer elementos esenciales para la subsistencia de nuestra sociedad, como el agua potable. Sin embargo durante la mitad de este siglo, la población se dio cuenta que el agua potable existente en el planeta, no podría sustentar la demanda del hombre a causa de su desarrollo desmedido.

La disponibilidad del agua siempre a sido el mayor factor de contribución para el crecimiento y asentamiento de las ciudades. La habilidad de construir sistemas de distribución que transporten el agua a los usuarios, a sus comercios, industrias y domicilios, es considerado hoy en día como una de las maravillas del mundo moderno creadas para el sustento del hombre. Sin embargo en tales lugares los sistemas de agua están siendo rebasados a causa de problemas técnicos y operacionales que desafían su desarrollo.

En México, el mayor problema de los sistemas de agua se debe a que las redes de distribución, incurren en una gran cantidad de pérdidas en sus procesos de operación, tales pérdidas de agua, constituyen una evasión de rentas y derivan en problemas de orden económico. Para cuantificarlas es necesario la realización de estudios enfocados a conocer el volúmen de agua producido y el volúmen de agua útil utilizado por el usuario, para así entender como se da la administración del recurso y el estado de la red.

Esto se logra mediante el empleo de metodologías enfocadas a calcular el porcentaje de agua no contabilizada en los sistemas de distribución, con el fin de que los organismos operadores tengan suficientes fundamentos y así generen cambios en la estructura y métodos administrativos enfocados al mantenimiento de sus redes.

En virtud de lo anterior, surge la inquietud por realizar un estudio agua no contabilizada en un sistema autónomo de la red de distribución de agua potable de la ciudad de San Luis Potosí, específicamente la administrada por el organismo que regula la red hidráulica del Fraccionamiento Potosino de Golf.

### **1.1 La potencia mundial y las pérdidas de agua.**

Según un estudio de cuantificación realizado en Estados Unidos, existen más de 55,000 sistemas de agua pública que procesan casi 40 billones de galones de agua al día. Desafortunadamente, casi 6 millones de galones por día son producidas por agua no contabilizada (Water loss control manual, Julian Thornton, McGraw-Hill companies. Inc 2002).

Se ha estimado que la mayoría del agua perdida se debe a problemas en la red provocadas por fugas (agrietamientos o fallas estructurales).

Según datos registrados durante los años de 1993 a 1997 por la American Water Works Association (AWWA) se estimó que aproximadamente 75,000 agrietamientos ocurren anualmente en las tuberías principales de sus redes de agua potable.

Los Estados Unidos tienen aproximadamente 800,000 redes de distribución, muchas de las cuales ya son muy antiguas y sus materiales son de acero muy deteriorado que necesita ser rehabilitado o remplazado. El organismo operador encargado de las redes propuso que para lograr un buen control y sustentabilidad de los sistemas, no se requiere de la sustitución parcial o total de las tuberías con mayor antigüedad, sino más bien la aplicación de prácticas enfocadas a un buen control del agua no contabilizada, que logren prolongar la vida útil de la infraestructura existente.

Otro aspecto que preocupa al organismo operador americano es la inexactitud e inconsistencia de los medidores instalados en las industrias, los domicilios y puntos de consumo donde se extrae agua para su uso, ya que estos errores contribuyen en mayor parte a la generación de datos incorrectos que afectan de forma directa la administración del agua. En los últimos años Estados Unidos a logrado implementar de forma eficaz programas de medición remota y digital con la ayuda de medidores de tipo electromagnético que obtienen de manera más exacta y no interrumpida datos de volúmenes de agua usada en sus sistemas.

Tales problemas en el control y buen uso del agua nos permiten visualizar la urgente necesidad de perfeccionar los sistemas de distribución. Tal es el caso de las redes de Estados Unidos, que se encuentran situados en los primeros puestos a nivel mundial en la tecnología y cuidado del agua.

## **1.2 Pérdidas de agua en México**

Para entender la problemática de las pérdidas de agua a nivel nacional es importante analizar la distribución de los recursos hidráulicos en el país. El territorio mexicano cuenta con una superficie cercana a los 2 millones de km<sup>2</sup>. Según datos del último censo de población, realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1997), el país tiene una población cercana a los 95 millones de habitantes, el 71% se ubica en poblaciones urbanas y el resto en comunidades rurales que cuentan con una concentración de población menor a 2,500 habitantes.

Más del 65% de la superficie de nuestro país es árida o semiárida, y en dicha porción del territorio se presenta apenas el 20% de los escurrimientos, mientras que ahí se asientan las tres cuartas partes de la población del país.

Por otro lado, hay regiones en las que cíclicamente ocurren precipitaciones extremas que ocasionan daños, y en otras se presentan sequías extremas igualmente dañinas.

México tiene una precipitación media anual de 780 mm (lámina 1.1), su escurrimiento medio anual es de 417 km<sup>3</sup> (el 1% del escurrimiento mundial) y la disponibilidad media anual por habitante es de 5,125 m<sup>3</sup>, aproximadamente el doble del promedio de disponibilidad per-cápita a nivel mundial; sin embargo, insuficiente para considerarse un país con disponibilidad natural de agua extraordinaria.



Lámina 1.1 Precipitación pluvial media anual en el país

Dicha disponibilidad se distribuye espacial y temporalmente en forma irregular, con relación a la localización de los principales asentamientos de los grandes centros urbanos e industriales; por ejemplo, en conjunto, las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey utilizan más del 50% del agua disponible para uso urbano e industrial.

Resulta claro que para administrar de manera eficiente el agua potable en las ciudades y localidades que cuentan con este servicio, los sistemas de distribución deben de contar con altos niveles de eficiencia y pocas pérdidas, a igual forma que los países desarrollados. Sin embargo, es lamentable que en la actualidad México cuente con grandes problemas de pérdidas en sus sistemas, generados en gran medida por una mala administración del agua por parte de los organismos encargados de conducirla hasta los usuarios.

Para entender la magnitud del problema a continuación se presentan una serie de datos que indican el análisis de cinco rangos: por tomas instaladas, por tipo de servicio, tanto doméstico, comercial e industrial y porcentajes de agua facturada y agua no contabilizada. En el cuadro 1.1 se puede observar que el porcentaje de agua no contabilizada para el año 2001 generó 36.9 millones de m<sup>3</sup> y se facturó el 60.7% de los mismos, es decir, el 39.3% de agua producida no se contabilizó.

Rango de tomas instaladas (miles).	Número de entidades prestadoras de servicios.	Promedio de agua (miles de m <sup>3</sup> )					Porcentaje de agua facturada (%)	Porcentaje de agua no contabilizada (%)				
		Facturada				Producida (m <sup>3</sup> )		1997	1998	1999	2000	2001
		Domiciliar (m <sup>3</sup> )	Comercial (m <sup>3</sup> )	Industrial (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )							
Mas de 150	9	51,119	8,044	4,764	63,927	96,822	66	37	35.9	37.7	35.3	34
De 100 a 149	11	20,278	2,874	1,627	25,179	49,581	50.8	53.8	45	38.9	47.3	49.2
De 50 a 99	18	12,255	1,351	1,369	14,975	25,039	59.8	40.3	45.7	48.5	48.8	40.2
De 20 a 49	29	5,683	538	530	6,751	11,101	60.8	46.5	46.7	50	44.2	39.2
Menos de 20	262	926	78	49	1,053	1,803	58.4	46.7	43.3	42.3	41.9	41.6
	<b>329</b>	<b>18,132</b>	<b>2,577</b>	<b>1,668</b>	<b>22,377</b>	<b>36,869</b>	<b>60.7</b>	<b>43.6</b>	<b>40.7</b>	<b>39.9</b>	<b>41.2</b>	<b>39.3</b>

Cuadro 1.1 Agua no contabilizada de 329 entidades prestadoras de servicio CNA 2001.

El porcentaje de agua no contabilizada en 2001, pasó del 41.2% del año anterior al 39.3%. El mayor porcentaje de agua no contabilizada en México fue de 49.2% y lo tuvieron las entidades prestadoras de servicio que tienen de 100 a 149 mil tomas instaladas, seguidas con el 41.6% valor que se presentó en entidades con menos de 20 mil tomas.

En las entidades con más de 150 mil tomas instaladas se observa un comportamiento contrario, éstas dejan de contabilizar el 34% del agua producida, esto refleja una mayor eficiencia en el cobro de los servicios por parte de los organismos operadores de las ciudades más grandes. Lo anterior nos demuestra que la efectividad de los sistemas están muy por debajo de los valores idóneos, si tomamos en consideración que los países de primer mundo como Estados Unidos que tiene un porcentaje de agua no contabilizada del 10%, Inglaterra con un valor del 10 al 12% y Francia con un 10%. A continuación se muestra un cuadro realizado por la Comisión Nacional del Agua para el año 2001, este se enfoca principalmente en resaltar el porcentaje de agua no contabilizada para algunas ciudades del país.

Localidad	Agua producida (m <sup>3</sup> )	Agua Facturada								(% ) ANC*
		Doméstica		Comercial		Industrial		Total		
		(m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>3</sup> )		
<b>Aguascalientes</b>	88,931,318	38,685,119	87	4,446,569	10	1,333,977	3	44,465,665	50	
<b>Saltillo</b>	40,542,227	19,820,957	86.71	2,154,808	9.43	884,177	3.87	22,859,942	44	
<b>Chihuahua</b>	100,781,701	52,995,712	82.13	9,117,455	14.13	2,413,417	3.74	64,529,584	36	
<b>Guanajuato</b>	1,527,349	751,793	78.44	131,807	13.75	74,889	7.81	958,489	37	
<b>Guadalajara</b>	259,360,720	131,649,668	81.51	21,839,414	13.52	8,029,365	4.97	161,518,447	38	
<b>Oaxaca</b>	6,553,818	1,136,056	86.44	89,594	6.82	88,619	6.74	1,314,269	80	
<b>Ciudad Chetumal</b>	21,132,820	6,924,636	90.25	678,215	8.84	69,535	0.91	7,672,386	64	
<b>Culiacán</b>	78,335,424	41,368,752	78.37	4,002,076	7.58	7,415,864	14.05	52,786,692	33	
<b>Zacatecas</b>	24,487,842	11,550,783	92.28	533,890	4.27	432,553	3.46	12,517,226	49	
<b>México</b>										
<i>Atizapán de Zaragoza</i>	47,646,666	28,969,893	89.42	3,050,860	9.41	379,122	1.17	32,419,875	32	
<i>Atzacmulco</i>	1,272,672	---	---	50,643	11.38	39,433	88.62	444,977	65	
<i>Chalco Solidaridad</i>	14,638,578	9,186,794	99.47	31,028	0.34	17,796	0.19	9,235,618	37	
<i>Chicoloapan</i>	2,975,953	3,670	0.43	211,076	24.91	632,753	74.66	847,499	72	
<i>Ixtapa de la sal</i>	486,953	356,979	85.06	62,721	14.94	---	---	419,700	14	
<i>Naucalpan de Juárez</i>	24,096,866	5,907,249	77.91	1,169,392	15.42	505,288	6.66	7,581,929	69	
<i>El oro de Hidalgo</i>	632,297	203,161	97.33	2,193	1.05	3,385	1.62	208,739	67	
<i>Tecamac</i>	12,340,520	12,025,510	98.55	22,014	0.18	151,615	1.24	12,199,139	1	
<i>Tlalnepantla</i>	83,042,172	34,622,858	81.57	3,964,186	9.39	3,838,564	9.04	4,2445,608	49	

\* ANC = Agua no contabilizada

Cuadro 1.2 Agua producida, facturada y no contabilizada en localidades de México durante el año 2001 (m<sup>3</sup> y %). CNA 2001



En el cuadro 1.2 se puede observar que las capitales de algunos estados de la republica cuentan con niveles de eficiencia muy bajos y porcentajes de agua no contabilizada muy altos, mas de lo permisible según el Banco Mundial, que dicta que un valor promedio de agua no contabilizada para los países en desarrollo debe de ser menor del 30%, que es mayor de lo que se considera aceptable para países industrializados (menor del 20%).

### **1.3 Fuga (pérdidas físicas), elemento principal del agua no contabilizada.**

Para lograr entender que es el concepto de fuga, a continuación se mostraran diferentes definiciones de diversos autores especialistas en el tema.

Leonel Ochoa y Víctor Bourget Ortiz en su libro de reducción integral de pérdidas de agua potable, definen que:

“Una fuga es el escape físico de agua dentro de la red, que no se contabiliza y que puede ocurrir en conducciones, tanques de almacenamiento, redes de distribución, conexiones domiciliarias y dentro de las casas de los usuarios”

Otra definición acertada por parte del Ingeniero José Augusto Hueb en su compendio de terminología utilizada en el control de pérdidas es:

“Las fugas son el escape de agua producido por fallas de un componente cualquiera del sistema de abastecimiento de agua, en condiciones no deliberadas o controladas. Una fuga es parte de la pérdida de agua, puede ser interna cuando ocurre en la instalación predial, externa cuando ocurre aguas arriba del sistema predial”.

Por su parte la CEPIS, en el tratado de control de pérdidas en sistemas de distribución define a la fuga como:

“Una pérdida efectiva de líquido, con reflejos sociales y económicos importantes en la población, ya que se trata de agua captada, bombeada, tratada, almacenada, distribuida y en el instante en que esta lista para ser consumida existe pérdida debido a fallas en el sistema de abastecimiento”.

Por lo anterior, una fuga se define como la salida de agua no controlada dentro de elementos de distribución de la red de agua potable, y las pérdidas de agua dependerán de diversas circunstancias que priven en ese instante dentro de la red y que a continuación se mencionan.

Las fugas se causan debido a:

- El tipo de suelo.
- Calidad de agua.
- Especificaciones.

- Calidad de la construcción (red de agua).
- Materiales usados (calidad).
- Edad de las instalaciones.

Dentro de la red las fugas son generalmente asociadas a fenómenos externos que producen estragos en la estructura de la tubería produciendo agrietamientos por los que el agua se pierde, causando pérdidas cuantiosas tanto al usuario como al operador. Para entender más el efecto de las grietas en la red es necesario clasificarlas y definir las en 3 tipos principales:

- Agrietamientos transversales.
- Agrietamiento por aplastamiento.
- Agrietamiento longitudinal.

El primer caso se debe a las cargas superficiales que actúan sobre las tuberías generando esfuerzos y vibraciones, causantes del agrietamiento en forma transversal.

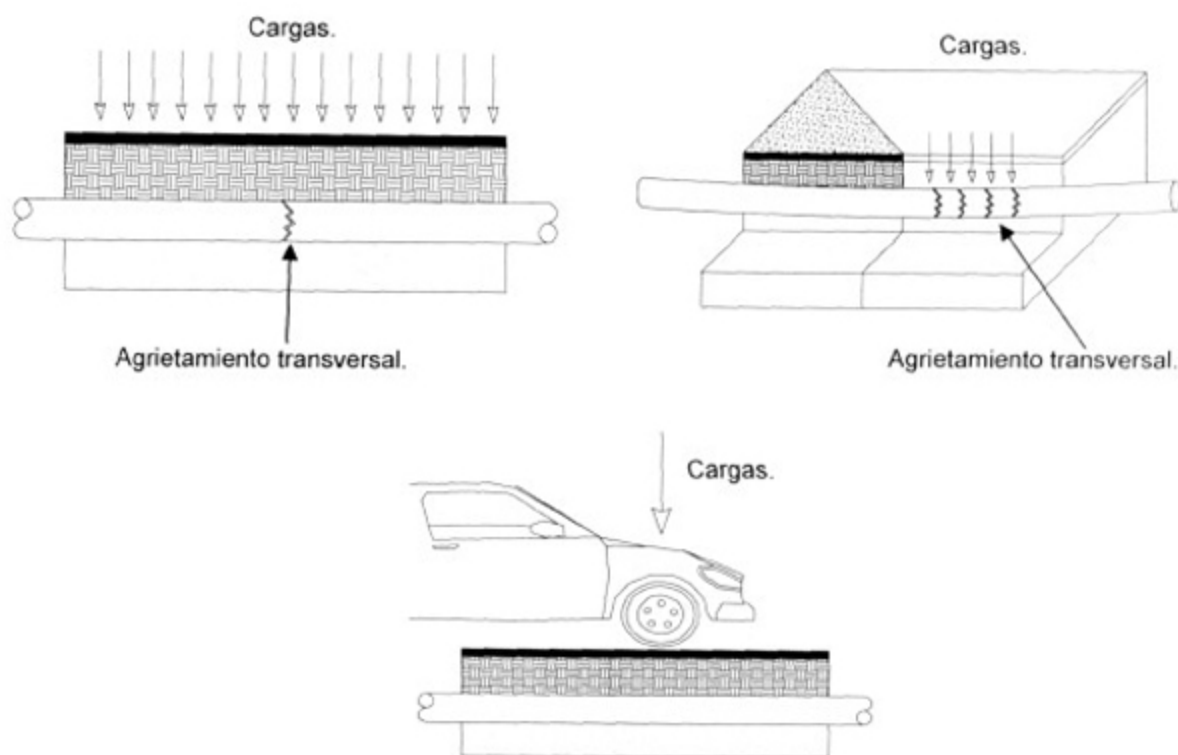


Lámina 1.2 cargas superficiales distribuidas sobre tubería.

Los agrietamientos por aplastamiento son producidos por una mala construcción de los elementos que circundan a la tubería, como la zanja, la cama e inclusive las diferentes capas de suelo y asfalto que cubren a la red.

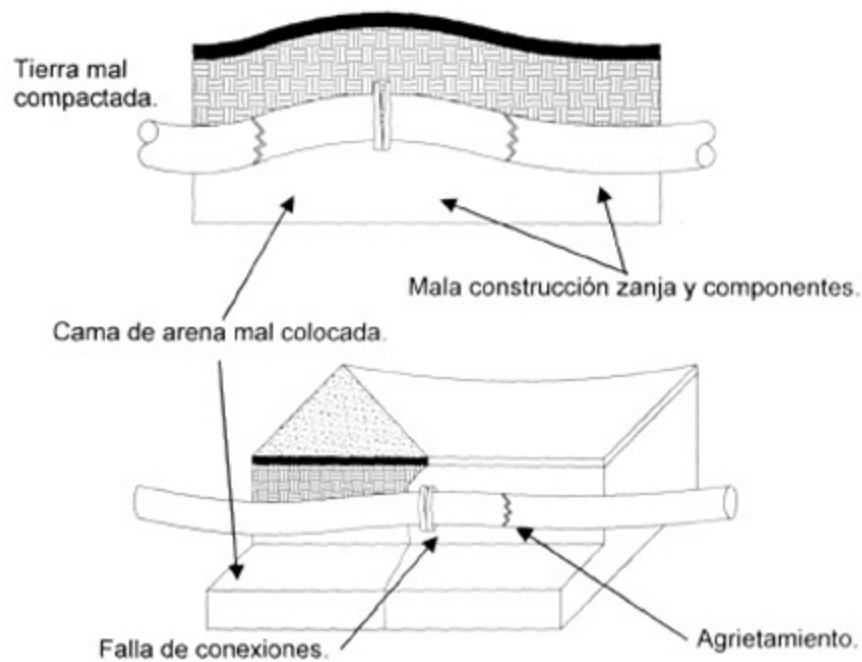


Lámina 1.3 Agrietamiento por mala construcción de los elementos circundantes a la tubería.

Por último describiremos las causas que provocan el agrietamiento longitudinal siendo este el más frecuente dentro de las redes de distribución.

Esta falla es incitada por la fatiga de los materiales, defectos de fabricación, golpe de ariete y la corrosión.

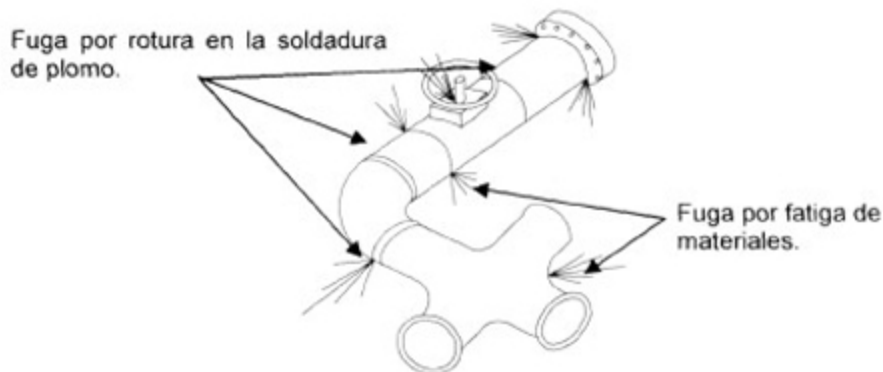


Lámina 1.4 Fugas por fatiga de soldaduras de plomo y de piezas especiales.

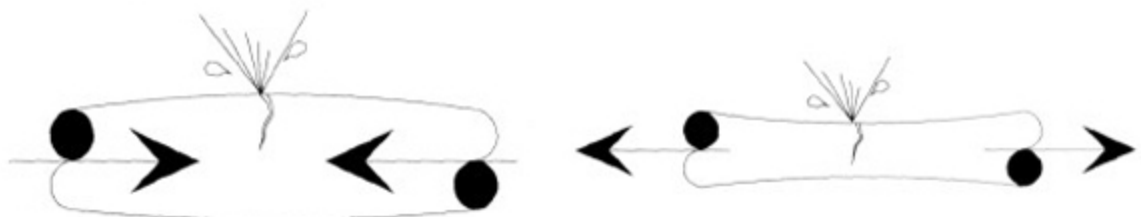


Lámina 1.5 Fugas por golpe de ariete.

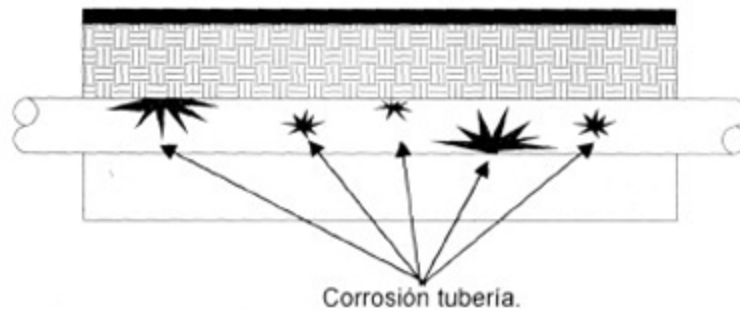


Lámina 1.6 Fugas por corrosión en la tubería.

En las lámina 1.7 se muestra la ubicación y frecuencia con la que ocurren las fugas tanto en tomas domiciliarias como en la red.

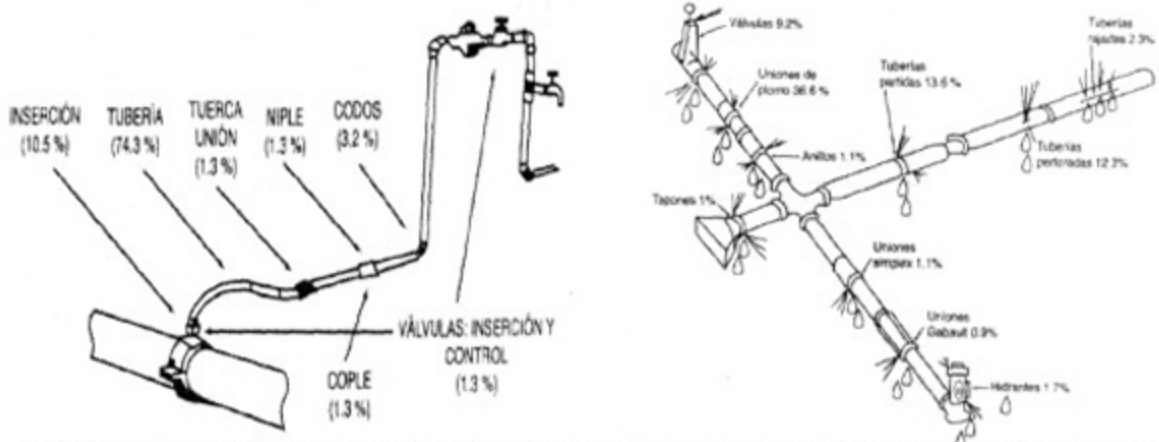


Lámina 1.7 Ubicación y frecuencia de fugas en líneas principales, secundarias y en tomas domiciliarias.

Las fugas dentro de la red se presentan de dos tipos básicos: fugas visibles y no visibles. Las fugas visibles son aquellas que emergen hacia la superficie del pavimento y se pueden observar a simple vista. La mayoría de las fugas visibles identificadas en una red son descubiertas por los lecturistas, operadores y usuarios. Las fugas no visibles se infiltran en el suelo o pueden drenar hacia las tuberías del alcantarillado o canales. A continuación se muestran las fugas visibles más comunes que se identifican al realizar un recorrido sobre la superficie de la red.

### Falla en los cuadros

- Válvulas de control (9.2% de Frecuencia de fuga).
  - a) Ya sea por piezas mal colocadas.
  - b) Defecto de fabricación.
  - c) Daño por golpeteo externo.
  
- Codos (3.2 % de frecuencia de fuga). Causadas por:
  - a) Mala colocación.
  - b) Por agrietamiento.



- c) Por mala colocación.
- Niples (1.3% de frecuencia de fuga). Causadas por:
  - a) Por defecto de fábrica.
  - b) Sobre enroscamiento de la pieza.
- Tuerca unión (1.3% de frecuencia de fuga). Causadas por:
  - a) Por mala colocación.
  - b) Por falta de empaques.
  - c) Defecto de fabricación.
  - d) Sobre enroscamiento de la pieza.
- Tubería (74.3% de frecuencia de fuga). Causadas por:
  - a) Defecto de fabricación.
  - b) Por agrietamiento.
  - c) Por corrosión

#### Fallas en tuberías principales y secundarias

- Válvulas de control (9.2% de Frecuencia de fuga). Causadas por:
  - a) Ya sea por piezas mal colocadas.
  - b) Defecto de fabricación.
  - c) Excesivo giro del volante.
- Uniones de plomo (36.6 % de frecuencia de fuga). Causadas por:
  - a) Mala colocación.
  - b) Falla por carga.
  - c) Falla por movimiento brusco.
- Anillos (1.1 % de frecuencia de fuga). Causadas por:
  - a) Mala colocación.
  - b) Falla por carga.
  - c) Defecto de fabricación.
- Tapones (1 % de frecuencia de fuga). Causadas por:
  - a) Mala colocación.
  - b) Golpe de ariete.
  - c) Sobre presiones.
  - d) Daño por golpeteo externo.
- Tubería partida (13.6 % de frecuencia de fuga). Causadas por:
  - a) Excesiva carga superficial.
  - b) Movimientos de la tierra.
  - c) Malos procesos constructivos.
- Tubería perforada (12.3 % de frecuencia de fuga). Causadas por:

- a) Corrosión.
  - b) Cargas puntuales excesivas.
  - c) Defecto de fabricación.
- Tubería rajada (2.3 % de frecuencia de fuga). Causadas por:
    - a) Corrosión.
    - b) Cargas puntuales excesivas.
    - c) Defecto de fabricación.

Según L. Ochoa y V. Bourguett, el lugar donde ocurren las fugas se puede clasificar en seis categorías que son:

1. **Fugas en conducciones de líneas principales y secundarias:** Este tipo de fugas producen pérdidas de agua en un rango de 250 ml. Hasta 10 l/s y en ocasiones son mayores. Este tipo de pérdidas se deben al efecto de corrosión que usualmente inicia con fallas pequeñas, pero pueden crecer con el tiempo en fallas muy grandes.

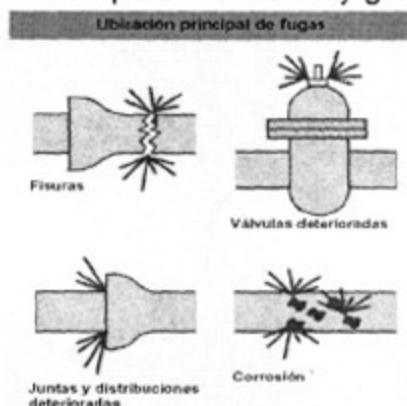


Lámina 1.8 Ubicación principal de las fugas.  
(OPS, Organización panamericana de la salud Fugas y Medidores.).



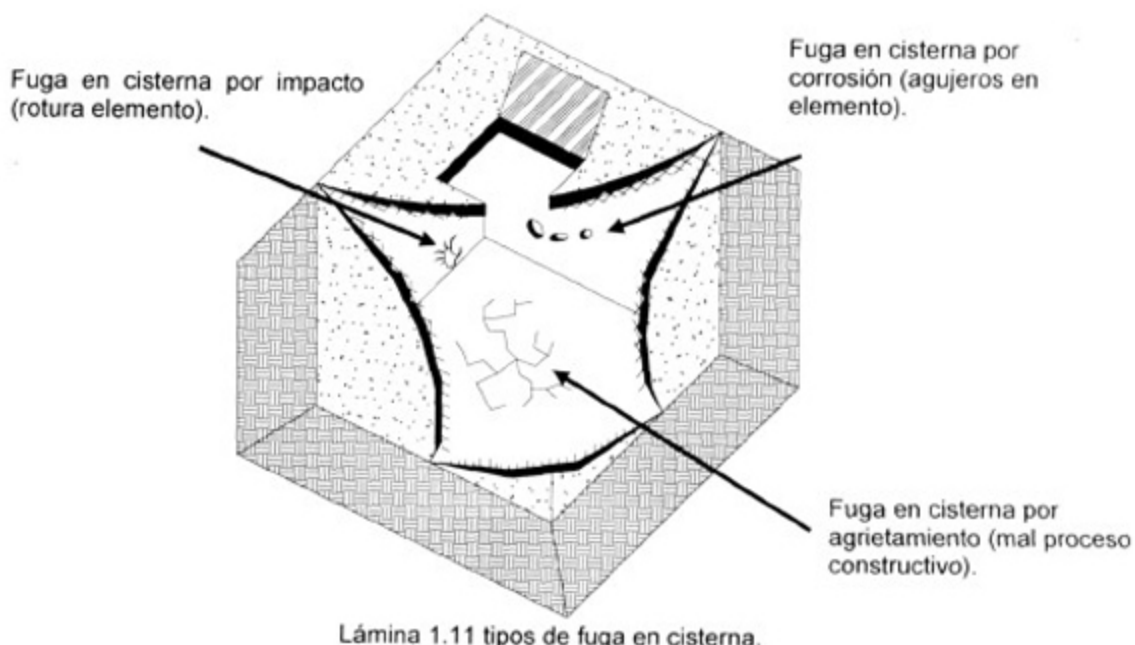
Lámina 1.9 Fuga por corrosión.  
(OPS, Organización panamericana de la salud Fugas y Medidores.).

2. **Fugas en cajas de válvulas:** Varían entre 200 ml. hasta 1 l/s. Se producen por rotura de empaques o volantes de las válvulas. Las fugas pueden ocurrir en válvulas reductoras de presión, reguladoras de presión, etc.

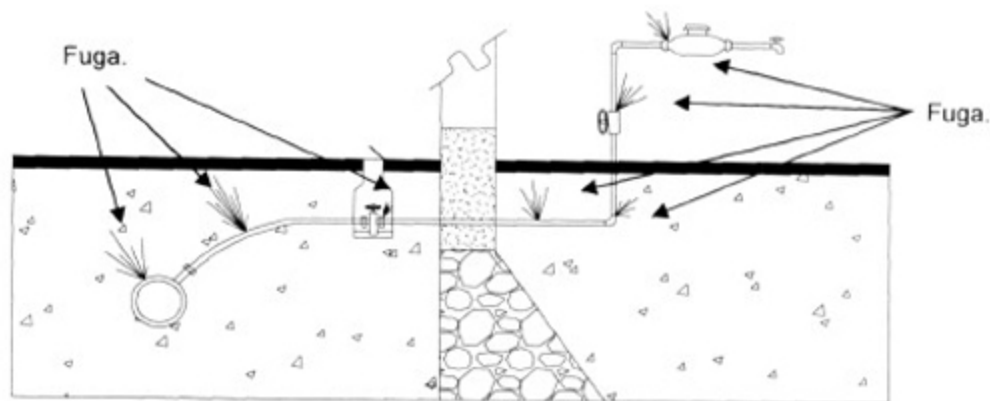


Lámina 1.10 Fuga en caja de válvula.

3. **Fugas en depósitos:** Ocurren por el agrietamiento de las estructuras o del rebose de los niveles de agua. En general, son de gran magnitud, esporádicas y de corta duración.



4. **Fugas en cuadro de medidor:** Normalmente son gotas que representan un caudal de 50 a 100 l/hr. (menores de 20 ml/s son básicamente fallas por piezas flojas).



5. **Fugas intra domiciliarias:** Principalmente se presentan en los herrajes o el "sapito" de los W. C. ó bien en empaques de regaderas y llaves.



6. **Fugas en conexiones domiciliarias:** Tienen caudales entre 20 y 250 ml /s en promedio y pueden presentarse como tipo:

- Rajadura (mala calidad del material).

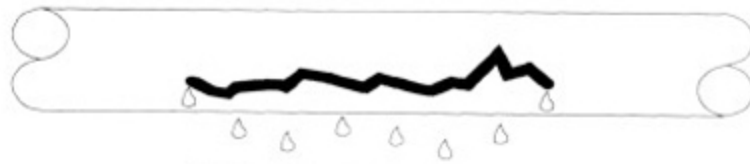


Lámina 1.14 Rajadura en tubería.

- Perforación (factores externos).

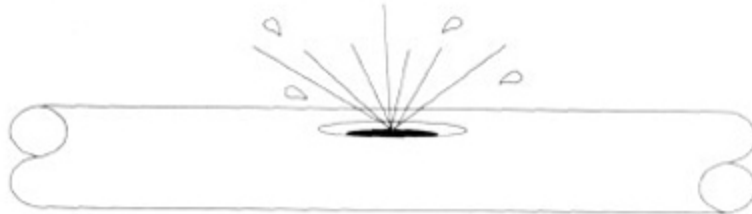


Lámina 1.15 Perforación en tubería.

- Corte (factores externos).

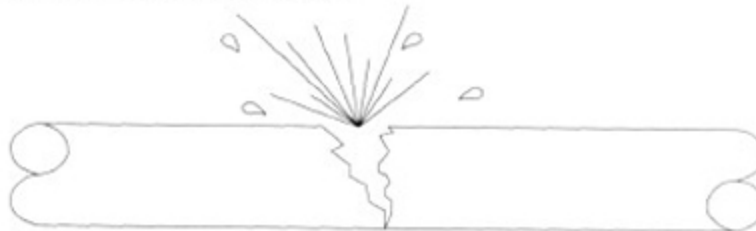


Lámina 1.16 Fuga por corte en la tubería.

- Piezas flojas (mala calidad del material).

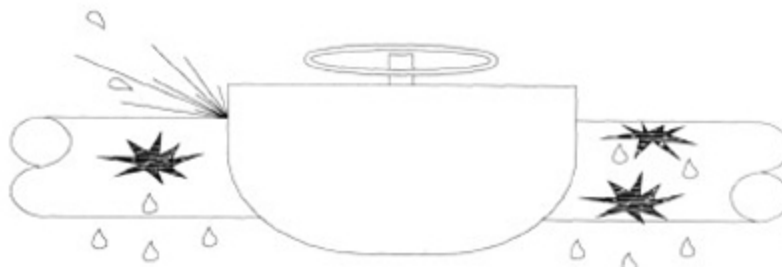


Lámina 1.17 Fugas por mala colocación piezas y calidad del

#### 1.4 Agua no cuantificada en la red.

Las pérdidas de agua que se producen en la red de distribución, muchas veces no se debe a problemas causados por el escape de la misma a través de rajaduras, perforaciones, corte o piezas flojas. Comúnmente esta agua no es contabilizada y el organismo operador no tiene la sospecha de que es usada en un punto del sistema, ya que no cuenta con un mecanismo de medición, por lo que no se cuantifica con exactitud.

Este tipo de problemas es muy común en zonas donde se realizan actividades comerciales, industriales, de riego o de vivienda, en las que se requieren grandes cantidades de agua. Muchas veces estos consumidores extraen sin autorización una gran cantidad del recurso hidráulico para abastecer la demanda diaria, sin contemplar que el mal uso e ilegal extracción, generan altos costos monetarios al organismo operador.

El agua no cuantificada puede deberse a:

- Errores de medición.
- Errores de facturación.
- Usos no autorizados.

Los errores de medición, son producidos por el mal funcionamiento e inexactitud de los micro y macromedidores encargados de almacenar datos volumétricos del consumo de agua.

Los errores de facturación están enfocados a efectos de carácter humano, y es producido por el mal levantamiento de datos a la hora de recopilar los valores, mostrados por los medidores que se encargan de almacenar los volúmenes de agua o por la pérdida de registros históricos por parte del organismo que se encarga de la red.

Los usos no autorizados son todos aquellos volúmenes de agua que son utilizados por un usuario ya sea industrial, comercial o domiciliario, el cual se conecta de forma ilegal a la red sin dar de alta su conexión.

### **1.5 Problemas principales para reducir el agua no contabilizada en la Red**

En estos tiempos es común ver que dentro de los organismos operadores existe una gran preocupación por la reducción de agua no contabilizada, esto conlleva a que se planeen estrategias, se adquieran equipos y se implanten actividades que producen altos costos y eficiencias reducidas.

Gracias a la experiencia de los investigadores y con base en análisis realizados por instituciones enfocadas al tema del agua, se obtuvieron las principales causas que producen agua no contabilizada que se originan por:

- Desconocimiento de técnicas aplicables a la solución del problema.
- Falta de financiamiento, para llevar a cabo los trabajos correspondientes.
- Ausencia de programas sistemáticos de reducción y control de pérdidas.
- Errores en la estimación de la existencia real de agua no contabilizada (no hay auditoría del agua).
- Escaso adiestramiento y capacitación del personal encargado.

Logrando acotar estos 5 cinco puntos dentro de un esquema general para el control de agua, se obtendrán suficientes datos para realizar estudios que permitan corregir problemas dentro de la red. Sin embargo, es conveniente recordar que la reducción de pérdidas tiene las siguientes características:

- Es parte de un proceso que arroja resultados en un determinado plazo, de tres o cuatro años para redes de gran tamaño y de un año a dos para redes pequeñas, por lo que no es inmediata la obtención de resultados.
- Al inicio puede ser fácil recuperar altos porcentajes de agua no contabilizada a un costo relativamente bajo, pero después de un cierto nivel, la relación de costo aumenta considerablemente debido a que se vuelve mas difícil localizar las pérdidas o detectar las fallas en su control.
- "Existe siempre un nivel mínimo aceptable que físicamente se puede alcanzar, debido a que la ocurrencia de pérdidas es un proceso dinámico dependiente de parámetros no controlables". (L. Ochoa, V. Bourguett IMTA 1998).

"Según estudios realizados por el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) utilizando curvas de costo contra nivel de reducción de pérdidas se pudo observar que el agua no contabilizada del 70% al 50% tendría un costo inferior a querer reducir el agua de un 50% a 30%. Por esta razón reparar los daños en la red del agua potable que ocasionan las pérdidas, puede ser rentable hasta cierto punto."(L. Ochoa, V. Bourguett IMTA 1998).

En México se estima como valor aceptable un 30% de agua no contabilizada y el valor límite se considera del 15% respecto al volúmen total suministrado.

"Por otra parte se realizó una encuesta en México por parte de la Comisión Nacional del Agua en la que se obtuvo un porcentaje que supone un rango para el cual un red es rentable en su operación, el valor obtenido fue de 25%."

(Control de fugas en sistemas de distribución, manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento CNA 1994).

## **1.6 Acciones para disminuir las pérdidas dentro de la red.**

La eliminación de pérdidas de agua se define como: "cualquier acción que se realiza directamente al sistema de agua potable, con el fin de rescatar agua, tanto física como contable. Particularmente se establece en dos sentidos": (L. Ochoa, V. Bourguett IMTA 1998).

- a) **Eliminación física:** Se presentan dos posibilidades. La primera que consiste en detectar, localizar y reparar fugas que aparecen puntualizadas en las tuberías, accesorios o tomas domiciliarias de la red. La segunda



considera la acción de limpiar, reparar o sustituir todo un tramo de una tubería de la red.

- b) **Eliminación contable:** se refiere a la corrección de errores de medición, localización de conexiones no autorizadas y ajuste de errores de facturación.

La eliminación de pérdidas en la red es un proceso que se deberá realizar durante toda la vida útil del sistema con el fin de obtener un beneficio a corto plazo generando bajos costos de reparación, una correcta facturación y cobro de agua.

Actualmente para lograr disminuir las pérdidas en la red, existen varias técnicas disponibles, que dependen del ofrecimiento de sus fabricantes y que deber ser aplicadas de forma sistemática y organizada para lograr la reducción de pérdidas.

Algunas de las técnicas para la localización de fugas se exponen a continuación:

- a) **Escuchar directamente con un aparato de amplificación:**

El uso de la caja de escucha demanda gran experiencia para poder distinguir los ruidos normales de los ruidos atribuidos a las fugas. Lo mas adecuado es usar esta técnica cuando los ruidos del ambiente son mínimos, es decir, en la noche entre 1:00 a.m. y 4:00 a.m. horas.

- b) **Procedimiento electroacústico:**

Numerosos fabricantes proponen aparatos electroacústicos de localización de fugas que, después de un cierto período de adaptación brinda resultados similares. Sin embargo estos aparatos también dependen de la experiencia y concentración del usuario y en el ambiente siempre hay ruidos que pueden comprometer el resultado. Además de medir el nivel del ruido, es posible analizar la frecuencia del ruido registrado con la ayuda de estos aparatos. Esto debe permitir distinguir mas fácilmente entre la señal útil (ruido de la fuga) y los ruidos parásitos.

- c) **Localización de fugas por correlación:**

En la actualidad la localización de fugas por medio de este método, es la forma más segura y precisa de localizar fugas en redes de tuberías metálicas y bajo ciertas condiciones de tuberías de plástico. La ventaja principal de este método es su notable insensibilidad a los ruidos ambientales. Sin embargo, esto presupone conocer o respetar los siguientes parámetros:

- Tubería bajo presión.
- Tuberías libres de aire.
- Conocimiento de la velocidad del sonido.

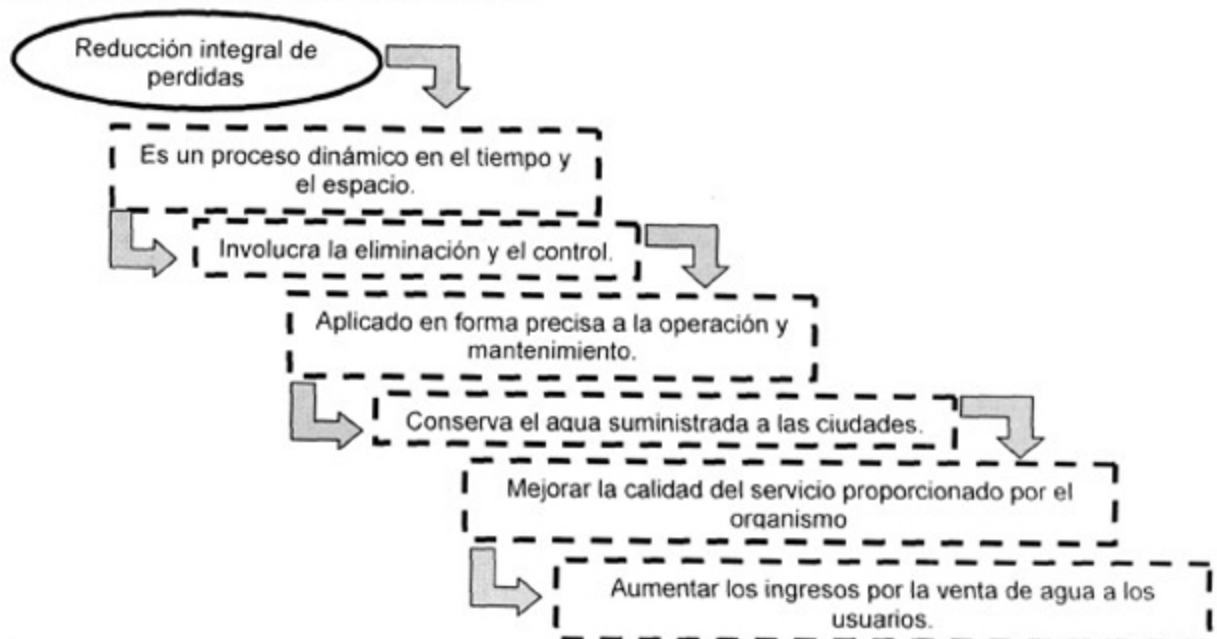
- Conocimiento de los materiales de las tuberías y su ubicación (en el caso de tuberías compuestas por materiales mixtos).
- Conocimiento del diámetro de las tuberías.

Para aplicar este tipo de técnicas es necesario que el ruido de fuga pueda ser registrado nítidamente por los sensores colocados.

### 1.7 Reducción integral de pérdidas de agua.

Estos procesos se realizan por parte del organismo operador, una vez que ya se obtuvieron los resultados del agua no contabilizada dentro de la red.

La reducción integral de pérdidas es:



Para lograr que estos procesos se puedan ejecutar de una manera práctica y sencilla se enmarcan las actividades en cuatro bloques principales.

El primero de los bloques trata del estudio de agua no contabilizada: en este se busca evaluar los volúmenes del agua que se pierden (fugas y tomas clandestinas), e identificar las causas que los producen. Todo esto se logra obteniendo datos de análisis estadísticos y muestreo de campo.

El segundo bloque que trata de la sectorización de la red para facilitar la identificación de pérdidas, busca evaluar y optimizar el funcionamiento hidráulico de la red de distribución, integrando distritos hidrométricos y sectores en su diseño y operación.

La eliminación de pérdidas, que busca facilitar la identificación de agua no contabilizada y subsanar el daño existente por medio de procedimientos, diseños, equipos y modelos de decisión



Por último tenemos el cuarto bloque que trata del control de pérdidas, en este se busca plantear las acciones, ya sean directas, indirectas o de apoyo, que permitan establecer una estructura adecuada dentro de una empresa de agua o organismo de control, para apoyar y dar su sustentabilidad a la reducción de pérdidas, de forma ordenada y con actividades objetivas.

Los resultados obtenidos de un programa de reducción de pérdidas deberán estar bajo una buena supervisión con el fin de asegurar que las acciones que se deriven de él, estén fundamentadas en datos reales y realizados dentro de un análisis preciso.

### **1.8 Programa de control de pérdidas.**

“Todo proyecto de reducción de agua perdida debe incluir una serie de elementos que permitan, al organismo operador de un sistema de agua potable, mantener el nivel de agua facturada alcanzado durante la eliminación de pérdidas de agua” (L. Ochoa, V. Bourguett IMTA 1998).

Para lograr aplicar un programa de control de pérdidas se aconseja implementar una serie de procedimientos a corto y largo plazo, estas acciones se encuentran enmarcadas dentro de un esquema denominado sub proyectos básicos.

El objetivo de estos procedimientos es la reducción de los niveles de pérdida del agua, para así, retornar a un estado de eficiencia óptima.

### **1.9 Beneficios de un proyecto integral de pérdidas.**

Según M. J. Hemery y .M.D. Weimer, en su publicación Fugas y Medidores, los efectos de una campaña de detención y reparación de fugas producen repercusiones a diferentes niveles.

La exitosa reducción de pérdidas dentro de la red, trae consigo la disminución del volumen de agua usado para alimentar al sistema. Este beneficio se obtiene de dos maneras principalmente, la primera se da por la reducción del volumen de producción, lo cual tiene un impacto directo sobre la economía del precio por metro cúbico ( $m^3$ ). Se crea así una reserva financiera importante y disponible para otras inversiones.

El segundo beneficio es a través del control por mantenimiento del volumen de producción para abastecer a todas las áreas durante las 24 hrs. del día. Por ejemplo, para aquellas redes que anteriormente presentaban problemas regulares de sub presión. En general esta actitud genera un mayor número de usuarios abastecidos y satisfechos.

Otros de los beneficios importantes dentro de los proyectos de reducción de pérdidas son:

- La reducción de malas decisiones al comprar equipos o herramientas de detección, localización y reparación de fugas.
- El mejoramiento financiero, al programar inversiones y medir los beneficios obtenidos.
- Incremento en el conocimiento físico e hidráulico de la red por parte de los operadores del sistema.
- Promoción de la participación ciudadana, pues el manejo eficiente de un sistema siempre es un estímulo para que el público participe en su conservación.
- Uso eficiente de los recursos existentes, al poder designar actividades congruentes con un proyecto integral de reducción de pérdidas.
- Cuantificación de las pérdidas de agua en tomas domiciliarias, tuberías principales, errores de medición, conexiones no autorizadas, fallas en la facturación y determinación del origen de dichas pérdidas.
- El cuidado de las redes, que son un patrimonio de la sociedad. Una red que se encuentra en buen estado tienen una vida útil más larga.
- Las redes en México constituyen una buena parte de la riqueza de nuestras ciudades. Sería extremadamente difícil renovarlas antes de su amortización.

## Capítulo 2



ESQUEMA GENERAL DE UN CONTROL DEL AGUA NO  
CONTABILIZADA.

El presente capítulo define en forma clara y concisa diversos conceptos los cuales serán analizados y desarrollados en capítulos subsecuentes.

## **2.0 Control de agua no contabilizada.**

Un control de agua no contabilizada, es de gran importancia dentro de la optimización de una red de distribución, debido a que mediante procesos de campo y de escritorio, se puede visualizar el funcionamiento de la red y así poder proponer soluciones.

Para lograr la correcta implementación de un control de agua lo dividiremos en diferentes bloques, los cuales son:

1. Proyectos Básicos
2. Diagnóstico
3. Técnicas de Localización y reparación
4. Implantación

Para el estudio del agua no contabilizada se puede prescindir del último elemento, pues éste se basa principalmente en programas de costos, acciones y estrategias a largo y corto plazo, cuyo análisis se ha dejado fuera del estudio.

### **2.1 Proyectos Básicos.**

“Los Proyectos básicos son el conjunto de acciones, directas, indirectas o de apoyo, que permiten establecer una estructura adecuada dentro de un organismo operador, para apoyar el control del agua, de forma ordenada y con actividades objetivas” (control de fugas en sistemas de distribución, manual de diseño de agua potable y alcantarillado y saneamiento, CNA 1994).

Por lo anterior entendemos que los proyectos básicos, son un conjunto de actividades que influyen directamente en el organismo operador, modificando y optimizando sus sistemas de organización (toma de datos), de recursos humanos y técnicos, para así establecer las bases que afectan el desempeño para la correcta administración del agua.

#### **2.1.1 Esquema general de los Proyectos básicos dentro de un estudio de agua no contabilizado.**

Para lograr aplicar un proyecto básico de agua no contabilizada dentro de un organismo operador, se deberá considerar el siguiente esquema:

- a) Proyectos de Operación del servicio.
  - Catastro de la Red de distribución.

- Catastro de Instalaciones.
- Macromedición.
- Micromedición.
- Control y Operación del Sistema.
- Mantenimiento de Unidades Operacionales.
- Normas de Diseño, Proyecto y Construcción.

b) Proyectos de Control de Usuarios.

- Padrón de Usuarios.
- Determinación de Consumos.

c) Proyectos de Apoyo Logístico<sup>1</sup>.

- Desarrollo de Recursos Humanos.
- Contabilidad y Administración.
- Control de Suministros.
- Comunicación y Transportes.
- Comunicación Social.

Para estos proyectos es necesario que se consideren sus alcances, los procedimientos empleados para su realización, los equipos convenientes, así como los procedimientos para la actualización y mantenimiento de sus elementos y la aplicación de sistemas modernos.

A continuación se describe con detalle los incisos que conforman los proyectos básicos, haciendo hincapié en aquellos que tienen mayor relación con el estudio.

### 2.1.2 Proyectos de Operación del Servicio.

- Catastro de la Red de Distribución.

El catastro de una red tiene como objetivo conocer de una forma ordenada, los elementos que constituyen una red de distribución de agua. Algunos de los elementos mencionados son: las cajas de válvula, tipos de tubería, localización de micro y macromedidores, elementos hidráulicos especiales, distribución de lotes en planos, etc.

- Catastro de Instalaciones

Por medio de este punto, el investigador podrá conocer en su totalidad el estado que guardan todas y cada una de las fuentes que tengan que ver con el suministro de agua hacia la red, desde el punto de extracción hasta su regulación y conducción.

---

<sup>1</sup> Los Proyectos de Apoyo Logístico para el estudio de agua no contabilizada del Fraccionamiento Potosino de Golf, serán omitidos, ya que estos procesos son efectuados propiamente por el organismo operador, después de obtener resultados.

- Macromedición:  
Es el conjunto de equipos y actividades que le permiten comprender al investigador y al organismo operador, como se comporta la extracción total de agua, desde el punto o puntos de suministro y distribución.
- Micromedición:  
Es el conjunto de equipos que me permite entender el comportamiento del consumo de agua en volúmen a nivel usuario en un lapso de tiempo determinado.
- Control de Operación del Sistema:  
Es la unión de varios elementos de tipo hidráulico que permite que el funcionamiento de la red sea óptimo dentro del rango de consumos. Comprende aspectos de rutina y planeación de la operación de la red, con las que se determina el funcionamiento de los componentes del sistema.

Los datos de mayor interés para desarrollar un buen control del sistema de agua potable son los siguientes:

1. Elevaciones del terreno.
2. Capacidad y niveles de agua en cisternas y tanques de almacenamiento.
3. Consumos promedio mensual y anual.

Para la realización de este apartado se fusionan varios criterios del proyecto de operación y de servicio tales como catastro, micromedición, macromedición, padrón de usuarios, etc.

- Mantenimiento de unidades operacionales:  
Es el conjunto de actividades que son encaminadas a la prevención de fallas o a la rehabilitación de unidades operacionales, con el fin de generar un funcionamiento adecuado y minimizar las pérdidas.
- Normas de diseño, proyecto y construcción:  
Una vez terminado el estudio de agua no contabilizada y habiendo identificado un porcentaje de pérdidas de agua en el sistema, se deberán establecer criterios y normas para mejorar la calidad de los diseños, proyectos y la ejecución de obras, que tenga una relación directa con la red de agua potable. La correcta implementación de los criterios y normas en el diseño posterior al estudio de agua no contabilizada, condiciona totalmente el funcionamiento futuro de la red, teniendo como efecto inmediato, una operación satisfactoria por parte del organismo operador.



### 2.1.3 Proyectos de Control de Usuarios.

- Padrón de Usuarios:  
Este apartado es fundamental para un control eficiente de los consumos, así como para el estudio de micromedición a realizar dentro de un proyecto de operación del servicio. El padrón de usuarios es un registro sistemático de todos y cada uno de los consumidores asentados en una red de distribución. Este padrón deberá ser organizado y descriptivo ya que en él nos basaremos para lograr una buena canalización de los servicios de agua potable.
- Determinación de los consumos:  
Es el conjunto de acciones a desarrollar para poder implementar un sistema de medición confiable con el cual, se puedan obtener datos de consumos dentro de los intervalos de tiempo seleccionados por el organismo operador y el investigador.

## 2.2 Diagnóstico.

“Un diagnóstico es una evaluación de los volúmenes de agua que se pierden, tomando en cuenta sus principales patrones de ocurrencia e identificando las causas que producen dichas pérdidas a través del análisis de los proyectos básicos. Las técnicas para la determinación de agua no contabilizada, son elementales para obtener el diagnóstico” (Control de fugas en sistemas de distribución, manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, CNA 1994).

Los diagnósticos implican la descripción clara y concisa de la red de distribución en un ambiente con pérdidas es decir, que son la parte fundamental en un estudio a futuro para la identificación de fugas visibles y no visibles.

### 2.2.1 Esquema general de un diagnóstico dentro de un estudio de agua no contabilizada.

Para lograr generar un diagnóstico que describa los efectos positivos y negativos observados con relación con el control de fugas en el sistema de distribución, es necesario considerar los diversos factores que lo engloban, lo cuales son:

- a) Técnicas para la determinación de agua no contabilizada.
  - Presión diferencial.
  - Distritos hidrométricos.
  - Trazadores.
  - Balance de agua.

- b) Evaluación de la medición en la red.
  - Evaluación de micromedidores.
  - Evaluación de macromedidores.
- c) Análisis de Proyectos Básicos

Para la realización del diagnóstico en la red de distribución de agua potable en el Fraccionamiento Potosino de Golf se optó por la selección del método de balance de agua conjuntamente con el de distritos hidrométricos. Estos métodos a diferencia de los demás, fueron los que mejor se adecuaron a las circunstancias que privan en el fraccionamiento, ya que presentan resultados de forma inmediata si se aplican en redes de tamaño mediano a pequeño. Por esta razón, los otros métodos solo se explicarán con la finalidad de proporcionar una visión general de los procedimientos que se pueden aplicar en otras redes con características y tamaños variables.

A continuación, se definen todos los puntos que integran a un diagnóstico de la red de distribución.

### 2.2.1.1 Técnicas para la determinación de agua no contabilizada.

- Presión Diferencial (identificación de fugas no visibles):  
 Este método determina la existencia y posición de una fuga mediante la toma de presiones a lo largo de una sección de tubería a inspeccionar. Con los valores obtenidos, se establece una gráfica de gradiente. La existencia de una fuga se verifica cuando el gradiente de presión muestra una discontinuidad o cambio hacia ambos lados de la fuga (lámina 2.1).

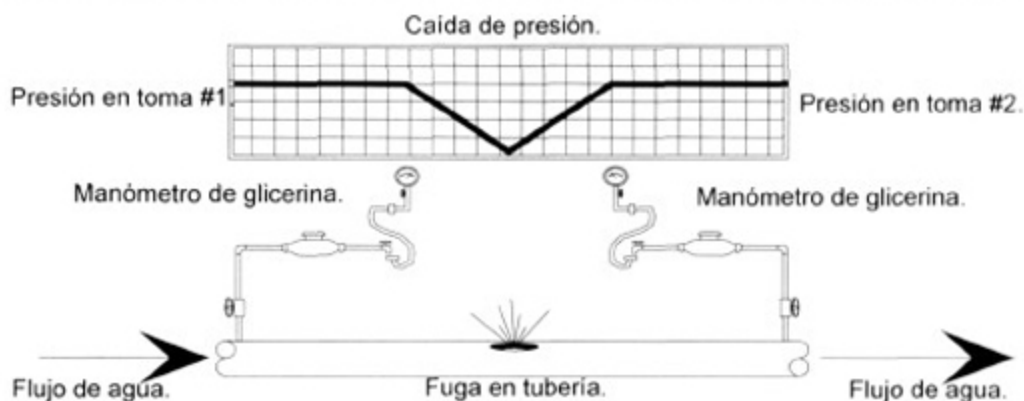


Lámina 2.1 Caída de presiones en la tubería principal, esquema de posible fuga.



Lámina 2.1 Caída de presiones en la tubería principal, esquema de posible fuga.

Para medir la presión en tuberías, generalmente se utilizan manómetros Bourdon o bien, pueden utilizarse manómetros diferenciales con un líquido manométrico adecuado.

Este método no se utilizó para el estudio, ya que se pretende identificar la cantidad de agua no contabilizada de manera general en el sistema sin entrar a la identificación física de las fugas tanto visibles como no visibles dentro de la red de agua potable.

- Distritos Hidrométricos:

“La técnica de distritos hidrométricos es un método que consiste en separar la red en sectores mediante el manejo de las válvulas dentro del sistema. En cada punto seleccionado, se toman mediciones, de volúmenes abastecidos y consumidos por los usuarios, todo esto durante un periodo de 24 horas como mínimo. Lo anterior, con el fin de calcular índices de consumo que determinen una mayor o menor incidencia de agua no contabilizada” (Control de fugas en sistemas de distribución, manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, CNA, libro 2, tema 4).

- Trazadores:

Este método consiste en introducir a un tramo de la tubería, una sustancia denominada trazador, la cual es inocua, in savora, incolora y de fácil detección en pequeñas cantidades. Por ejemplo, óxido nitroso. Se usa un aparato de sondeo que determina en que punto de la tubería se escapa agua con oxido nitroso, identificando así el lugar con pérdidas. Este método no se utilizó para el estudio por las mismas razones que el de presión diferencial.

- Balance de agua:

Este método, consiste en calcular el volumen de agua total de extracción desde el punto o puntos de suministro mediante la ayuda de aparatos macromedidores y el volumen total de agua utilizado por los usuarios de la red en un lapso de tiempo determinado mediante aparatos micromedidores calibrados. Al momento de obtener datos suficientes de los dos estratos, se reúnen en una ecuación y se obtienen resultados. Este método en sí,

conjuga elementos de distritos hidrométricos, por lo que la correcta y eficiente aplicación del Balance en un proyecto de agua no contabilizada genera resultados satisfactorios<sup>2</sup>.

### 2.2.1.2 Evaluación de la medición en la red.

- Evaluación de micromedidores:

Las mermas en el volúmen de agua se deben a mediciones imprecisas e incorrectas lo que constituye una de las principales causas de la mala administración del agua por parte de un organismo operador, que incide directamente en estudio de agua no contabilizada, ya que en el momento de realizar el balance de agua, el error de medición afecta el resultado de la ecuación, apareciendo como un valor de más o de menos en el resultado de la operación.

Para calcular estos errores, se requiere la realización de un estudio de exactitud de los micromedidores en laboratorio, considerando un muestreo al azar de todo el universo de aparatos dentro del fraccionamiento o distrito hidrométrico que se desea estudiar<sup>3</sup>.

- Evaluación de macromedidores.

Al igual que en el punto de micro medición, se realiza un estudio de los medidores colocados en los suministros para identificar el nivel de exactitud con el que se toman mediciones de los volúmenes tomados dentro del punto de extracción (pozo)<sup>4</sup>.

#### 2.2.1.2.1 Análisis de Proyectos Básicos.

"La evaluación de un proyecto se refiere al proceso mediante el cual, se determina en qué nivel de desarrollo se encuentra el estudio en relación con los objetivos y metas establecidas de acuerdo con las variables físicas que delimitan su función". (Control de fugas en sistemas de distribución, Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, CNA, libro 2, Tema 4)

Dado que un proyecto de agua no contabilizada consta de varias partes, y que cada una de estas partes contiene datos esenciales para la realización de otros puntos, el análisis y evaluación constante de sus avances constituye una forma de lograr un control eficiente para poder alcanzar los objetivos determinados. La metodología se resume en una encuesta general de cada proyecto, donde se da respuesta a las siguientes preguntas:

---

<sup>2</sup>Ver el capítulo 5.

<sup>3</sup>Ver el capítulo 4 Micromedición.

<sup>4</sup>Ver el capítulo 4 Macromedición.

- ¿Cómo se lleva a cabo el proyecto?
- ¿Qué avance se ha logrado?
- ¿Qué resultados o productos se han obtenido?
- ¿De dónde se obtuvieron los datos?

Las preguntas fijan el nivel de efectividad adquirida y establecen si los objetivos del proyecto o los resultados fueron alcanzados.

## **2.3 Técnicas de localización y reparación de fugas.**

### **2.3.1 Técnicas de localización.**

Aunque muchas fugas se localizan fácilmente mediante la simple inspección visual, también es posible encontrar fugas en lugares poco accesibles, sitios apartados. Para lograr localizar estos puntos se requiere de técnicas específicas de localización que permiten al investigador o al personal encargado de la restauración, ubicar con precisión el sitio donde se encuentra dañada la tubería, conexión o pieza especial, para así reducir el tiempo y costo de reparación.

Para hacer una descripción más detallada de las técnicas de localización de fugas mencionadas en el primer capítulo, se mencionarán los grupos en los que se dividen y se hará una breve reseña de los aparatos que se usan para la identificación.

Las técnicas de localización se dividen en:

- a) Localización por equipos mecánicos
- b) Localización por equipos electrónicos

Los equipos mecánicos son instrumentos que captan el sonido y la transmiten de la misma manera que un estetoscopio médico.

Por su parte, los equipos electrónicos son instrumentos que captan el sonido de una fuga mediante un micrófono colocado a ras de piso, con un hidrófono acoplado a una varilla de sondeo.

En ambos casos el personal encargado de realizar los sondeos deberá de tener en cuenta que muchos de estos aparatos necesitan corriente directa para poder funcionar, por lo que se tendrá que contemplar el uso de varias baterías para el recorrido.

Los aparatos electrónicos se clasifican en:

1. Equipos de detección directa
2. Equipos de detección indirecta

Los equipos de detección directa, son amplificadores de sonido y permiten mediante el uso de filtros electrónicos y de audifonos, localizar la existencia de fugas. Los equipos de detección indirecta, son instrumentos computarizados que captan el sonido de las fugas y correlaciona las frecuencias captadas, para mostrar una gráfica donde se observan las diferentes espectros de frecuencia y así, seleccionar el intervalo que corresponde a una fuga.

Para poder usar todos los aparatos, es importante tomar en cuenta que estos sondeos se deben realizar de noche, debido a que durante el día, los ruidos ambientales interfieren con las pruebas.

Clasificación de algunos equipos detectores de fuga:

Clasificación del equipo.	Mecánico.	Electrónico directo.	Electrónico indirecto.
Nombre del equipo.	Varilla de sondeo Acuáfono Geófono	Aqua-scope Aqua-phon Son-i-kit Metrotech 2000L Metrotech HL2000 Fisher XLT20	Microcorr estándar Nicrocorr supersystem FCS L-100 FCS C-2000 Metravib

Lámina 2.2 Clasificación de algunos equipos detectores de fugas  
(control de fugas en sistemas de distribución, manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, libro 2, tema 4, CNA.).

El uso de equipos mecánicos o electrónicos para localizar fugas en una red de agua potable en el Fraccionamiento Potosino de Golf, no es cuestión de análisis dentro de los objetivos marcados en el presente estudio.

### **Técnicas de reparación de fugas.**

La reparación de fugas en la red, será efectuada por el organismo operador, utilizando el método que mejores resultados genere. A continuación se menciona de forma breve, el procedimiento simplificado para la rehabilitación de elementos en la red:

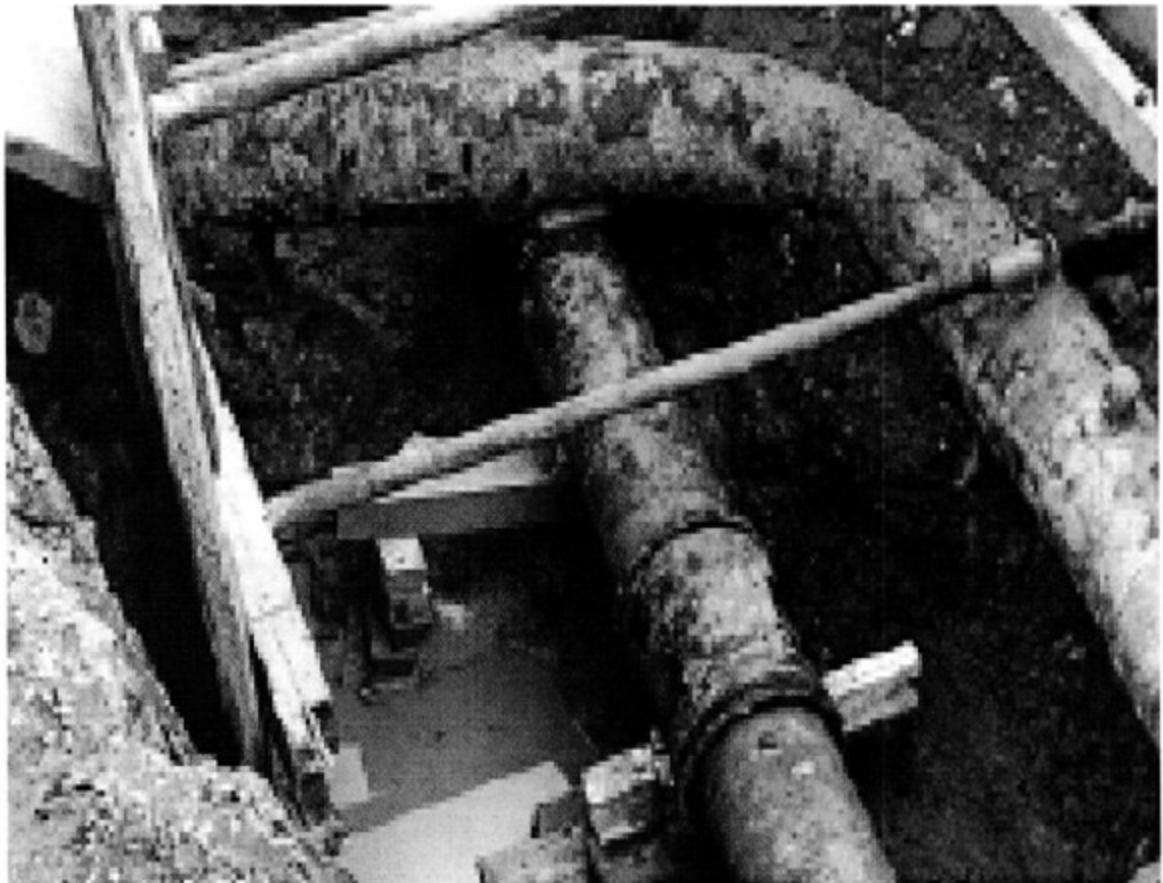
- 1) Rehabilitación de elementos dañados.
- 2) Y la sustitución del tramo dañado.

El primer punto se basa en la rehabilitación de una pequeña sección dañada, observando las especificaciones de la instalación, el tipo y calidad de material, el segundo punto consiste en realizar el cambio completo de todo el elemento dañado, colocando nuevos materiales de una calidad seleccionada por el organismo.

La decisión para reparar o reemplazar las tuberías o componentes del sistema, debe estar de basado en factores como: las presiones en la red, el tipo de terreno, tipo y calidad del material, operación de la red y programas de mantenimiento.



### Capítulo 3



CATASTRO DE LA RED DEL FRACCIONAMIENTO  
POTOSINO DE GOLF.

### **3.0 Evolución e historia de los catastros.**

Inicialmente el catastro de redes generaba un conjunto de formatos en papel y su representación gráfica se realizaba mediante dibujo manual, produciendo una utilidad muy limitada de la información. Para poder conocer los datos no gráficos de algún elemento en particular se tenía que consultar su formato en papel, además la actualización de la información gráfica resultaba costosa y poco práctica.

Posteriormente, con el surgimiento de las primeras hojas de cálculo electrónicas se tuvo la posibilidad de realizar listados de los elementos con la información más relevante; tiempo después se emplearon bases de datos electrónicas que agilizaron la captura y almacenamiento de la información facilitando su consulta, adicionalmente, el dibujo de planos se empezó a realizar con herramientas de dibujo asistido por computadora, tales como autocad y microstation, lo que obviamente facilitó el manejo y actualización de la información gráfica.

Desde su inicio en México aproximadamente durante la década de los ochentas y noventas los proyectos de catastro de las redes hidráulicas como tal y su incorporación a un sistema digital, han sufrido una importante evolución, pasando de simples planos y hojas de cálculo a sistemas gráficos con diversas opciones para la captura y representación de datos. Así en la actualidad dentro de los organismos operadores se opta por la utilización de paquetes que utilicen un ambiente gráfico general.

#### **3.1 Importancia de los catastros para un estudio de agua no contabilizada.**

El principal propósito de los organismos operadores a nivel estatal o a nivel privado consiste en otorgar un abastecimiento de agua potable eficiente a todos los usuarios de la red, es decir, proporcionar a la población el caudal necesario para cubrir los requerimientos de cada habitante.

Ante esta situación, desde hace ya varios años, una de las prioridades de los organismos operadores es contar con un inventario de la infraestructura hidráulica existente. Por lo que en muchas ciudades del país se ha llevado a cabo el levantamiento de las redes por medio de catastros, pero con diferentes alcances y metas de acuerdo al tipo de proyectos a realizar, herramientas técnicas y los paquetes de software con que se cuenta o puede adoptar el organismo operador.

Los proyectos de identificación de agua no contabilizada no son la excepción, ya que es de suma importancia contar con las herramientas mencionadas para poder efectuar estudios de esta índole, en virtud de que a través de estos, el investigador visualizará a gran escala todos y cada uno de los elementos que conforman al sistema, como su estado, función y distribución a lo largo del territorio en el cual se localizan. Es en éste aspecto donde la información adquiere su utilidad práctica, pues a medida que se explotan las herramientas tecnológicas disponibles para

este tipo de proyectos, se logra mayor aprovechamiento de la información para su aplicación a proyectos encaminados a lograr una mejor administración y optimización de los sistemas hidráulicos desde un punto de vista de pérdidas de agua.

## **3.2 Proyectos de operación y de servicio.**

### **3.2.1 Catastro de la red de distribución.**

Con anterioridad se definió el catastro como un proceso en el cual el personal encargado del proyecto recopila una serie de datos con el objeto de tener un conocimiento ordenado y oportuno del estado físico que guarda la red de distribución.

El catastro realizado en un estudio de agua no contabilizada, se conforma de una serie de planos y fichas técnicas (puede haber varias con distinto nivel de detalle), que sirven para ubicar de manera gráfica los elementos de la red, así como para referir sus características físicas tales como:

- Tipos de materiales.
- Diámetros de tubería de la red.
- Profundidades a la cual están instaladas las tuberías.
- Estado de piezas (deterioro).
- Piezas que contiene la red.
- Distribución de calles.
- Características de equipos de bombeo.
- Características de los dispositivos para controlar la presión.
- Localización de medidores.
- Localización y características de los puntos de almacenamiento y extracción de agua.
- Distribución de usuarios de la red.

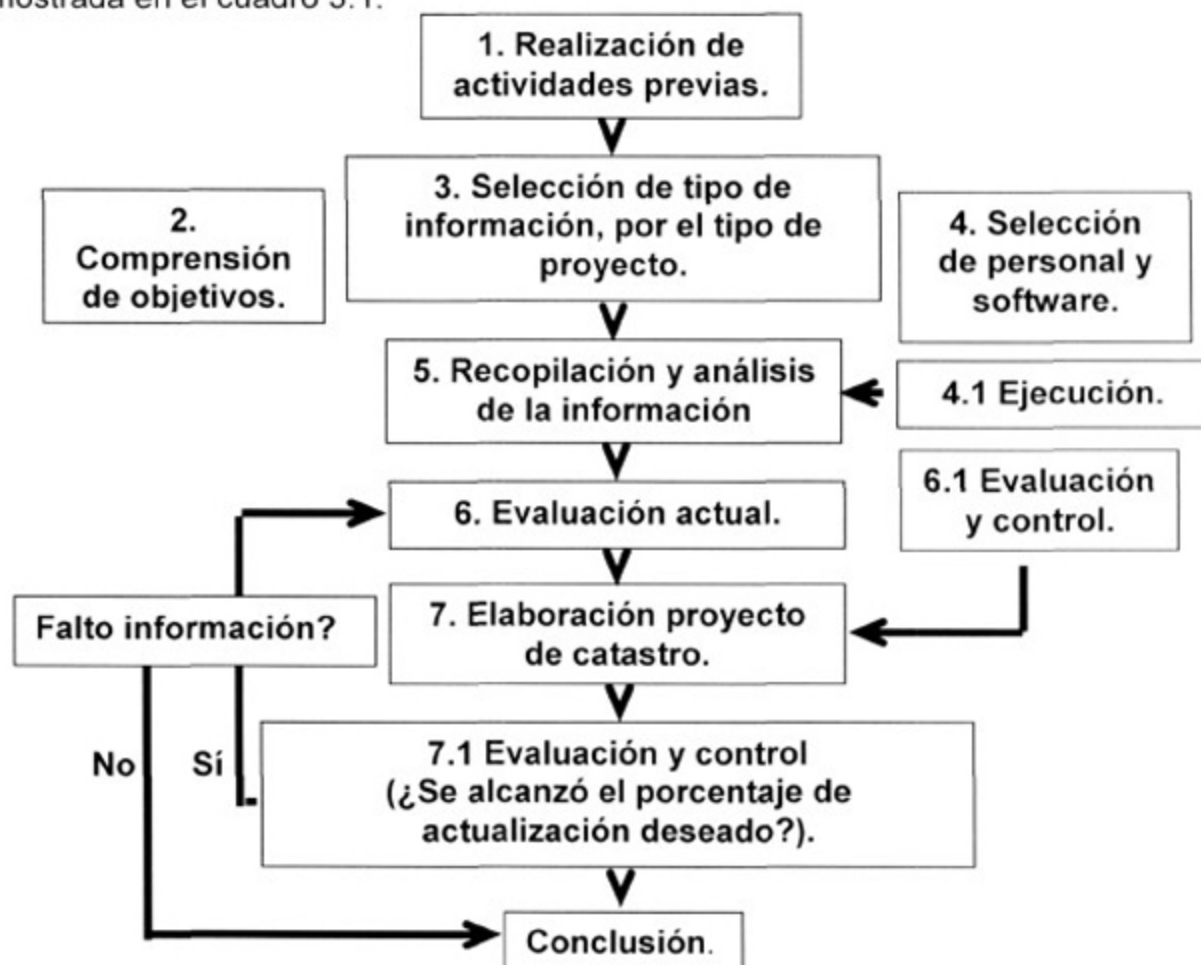
Para efectuar la recopilación de datos y así generar bases de información, el investigador se puede basar en los reportes de reparación realizados por el organismo operador (en dado caso de que existan), o hacer recorridos organizados de cuadrillas destapando cajas de válvulas para visualizar los tipos de tuberías por inspección visual.

### **3.2.2 Formulación del proyecto de catastro de redes.**

Para lograr efectuar la formulación de un proyecto de catastro de redes, la Comisión Nacional del Agua recomienda una serie de actividades que se deben seguir y se estructuran de la siguiente manera:

- I) **Actividades previas.-** Obtener un levantamiento planimétrico de la urbanización del sector a estudiar y contar con un conocimiento ordenado y oportuno del estado físico que guarda la red de distribución.
- II) **Recopilación y análisis de la información.-** Se necesita identificar los planos existentes que posee el organismo operador, sus escalas gráficas, su cobertura respecto al total de la red, el grado de actualización y el tipo de datos que contiene. En caso de no existir estos, el investigador o proyectista deberá de realizar una serie de recorridos con el fin de plasmar en un plano sencillo la distribución de lotes, nombre y distribución de calles, ubicación de locales comerciales, puntos de extracción de agua, plantas de tratamiento, áreas verdes, centros de recreación, estaciones eléctricas, casetas, con el fin de tener ubicados los puntos principales a catastrar en la elaboración del proyecto.
- III) **Evaluación actual.-** Si se cuenta con planos y registros por parte del organismo operador, la información ya catastrada se deberá de estudiar para establecer, cuales son las posibles áreas que faltan por dictaminar con el fin de obtener un nivel de confiabilidad y de actualización en los datos.
- IV) **Elaboración del proyecto.-** Primero, se seleccionan las normas de ejecución del catastro (clasificación, simbología, escalas de los planos, etc), los procedimientos de actualización y la información que contendrá el catastro (planos por sectores, fichas de cruceros, registros por tramos). Después, se enumeran los equipos localizadores (si, existen), el paquete para digitalización y el equipo de cómputo que se utilizará; en seguida, se selecciona o contrata, al personal que se responsabilizará y que se recomienda sea asignado al área de operación. Finalmente, se definen los espacios y se equipan las cuadrillas para realizar las tareas asignadas a cada perfil. En dado caso de que la red a catastrar sea relativamente pequeña, entre 500 o menos habitantes, el proyectista puede no depender de grandes cantidades de personal.
- V) **Ejecución.-** Hay que capacitar al personal en el uso del paquete de cómputo para digitalización y adquirir los equipos localizadores de tuberías y válvulas. Los aparatos de identificación solo serán adquiridos por parte del organismo operador en caso de que la infraestructura que circunda a la red no permita el fácil acceso a las instalaciones.
- VI) **Evaluación y control.-** Se calculan los indicadores siguientes durante la recopilación de datos y al final de la realización del plano definitivo del catastro:
- Porcentaje de cobertura del catastro  $\left( \frac{\text{SUPERFICIE EN PLANOS}}{\text{SUPERFICIE TOTAL URBANA}} \right)$
  - Porcentaje de actualización  $\left( \frac{\text{NUMERO DE PLANOS CORREGIDOS}}{\text{NUMERO DE PLANOS TOTALES}} \right)$

Además la ejecución del catastro de la red se realiza atendiendo a la secuencia mostrada en el cuadro 3.1.



Cuadro 3.1 Elaboración y ejecución del catastro  
(Reducción integral de pérdidas de agua potable L. Ochoa. V. Bourauett IMTA 1998.)

### 3.2.3 Catastro de instalaciones.

Un catastro de instalaciones hace referencia a todas las actividades destinadas a proporcionar un conocimiento ordenado y oportuno del estado que guardan las fuentes de abastecimiento, líneas de conducción, sus accesorios, equipos de bombeo, instalaciones electromecánicas y tanques de regularización.

Este apartado es una parte fundamental dentro de un catastro de la red, ya que con este punto el investigador comprende de manera más particular el estado de los elementos que constituyen el sistema de agua potable.

Los principales elementos por catastrar son los siguientes:

- a) Fuentes de abastecimiento y captaciones: Tipo de fuente de abastecimiento de la cual la red obtiene el agua (lago, presa, pozo, río, galería etc.), caudales máximo, mínimo y medio y extracción anual en promedio.



- b) Conducciones: Tipos de materiales de las tuberías (acero, concreto, asbesto-cemento, PVC, etc.), diámetro de las tuberías, longitudes, edad y dispositivos de protección (torre de oscilación, tanque unidireccional, entre otros).
- c) Plantas de bombeo: Potencia, carga manométrica, caudal, edad, eficiencia, tipo, forma de colocación y marca.
- d) Subestaciones eléctricas: Cantidad, capacidad y tensión.
- e) Plantas de tratamiento: Tipo de tratamiento, capacidad, caudal y eficiencia de tratamiento.
- f) Tanque de regularización: Tipo de tanque (elevado, superficial, subterráneo), material (mampostería, concreto, acero), capacidad, elevación manométrica y edad.

La CNA recomienda que la elaboración del proyecto de catastro de instalaciones sea de manera ordenada y exacta, ya que dependeremos de él para la elaboración de proyectos y estudios a futuro. Otra de las recomendaciones consiste en que toda la información se plasme en un ambiente digital y gráfico para que su uso y actualización sea rápido y sin problemas.

### **3.2.4 Actividades básicas para el levantamiento del catastro de redes hidráulicas en el Fraccionamiento Potosino de Golf.**

Las actividades básicas para obtener la información del Fraccionamiento Potosino de Golf se desarrollaron de la siguiente manera:

**Análisis de información recopilada.** Mediante este análisis se identificó si la información con la que se cuenta es confiable, descartando la que sea inútil. Además, se ubicaron los lugares que podrían presentar mayor confusión o dificultad, en los cuales se debió intensificar la investigación y los controles de calidad. Con los trabajos de campo se verificaron o actualizaron la ubicación, nivelación o características internas de los elementos que conforman la red.

Se realizó el análisis de los planos que se entregaron por parte del organismo operador para ver que porcentaje de actualización tiene, para así, visualizar cuales son los elementos que se necesitan catastrar.

- Porcentaje de cobertura del catastro

El plano que nos fué entregado por el organismo operador contaba con un levantamiento en superficie del 100%. Dentro del plano se contaba con la distribución de lotes (sin la descripción actual de su uso), numeración de los lotes, nombres de calles, localización de áreas verde, localización del pozo de extracción (sin describir los elementos que lo conforman), distribución de los hoyos del campo



de golf, localización del club, localización de las casetas, por lo que la realización de los recorridos para el catastro fueron de suma importancia para generar 4 tipos de planos.

$$\left( \frac{\text{SUPERFICIE EN PLANOS}}{\text{SUPERFICIE TOTAL URBANA}} \right) = \frac{934,566.34 \text{ m}^2}{934,566.34 \text{ m}^2} = 100\%$$

- Porcentaje de actualización:

Para el estudio se requerían 4 planos con diferentes características que son:

1. Plano general (con todo el levantamiento catastral)
2. Plano con distribución de cajas de válvula, características de las tuberías y características del pozo (características, ubicación, estado de las cajas de válvula, tipos de tuberías y diámetros, localización del pozo y elementos que lo conforman).
3. Plano con el levantamiento topográfico (niveles).
4. Distribución de lotes y calles en el fraccionamiento potosino (habitados, deshabitados, construcciones, jardines).

- Al inicio del catastro:  $\left( \frac{\text{NUMERO DE PLANOS CORREGIDOS}}{\text{NUMERO DE PLANOS TOTALES}} \right) = \frac{1}{4} = 25\%$

- Al final del catastro:  $\left( \frac{\text{NUMERO DE PLANOS CORREGIDOS}}{\text{NUMERO DE PLANOS TOTALES}} \right) = \frac{4}{4} = 100\%$

**Recorrido de verificación preliminar.** Paralelamente a la actividad anterior y con el fin de verificar la exactitud de los datos recopilados, se realizaron recorridos de campo, durante los cuales se llevó un plano, preferentemente a escala 1:2,000 que resumía toda la información existente, en el cual se anotaron, todos los elementos faltantes.

Estos recorridos permitieron programar las rutas de nivelación y demás trabajos de campo. Además de lo anterior, el recorrido sirvió para contar con un panorama de los servicios (pavimentación y urbanización, entre otros) así como de la topografía de la zona, y de posibles problemas (como el tránsito vehicular).

**Ubicación de pozos de visita, cajas de válvulas.** Todos los pozos de visita y cajas de válvulas se referenciaron en campo respecto al trazo de calles y avenidas y entre sí mismas; para esto se optó por el método de señalización, el cual consiste en colocar símbolos que correspondan a los elementos catastrados sobre un plano dimensionado a escala, tomando en cuenta que el trazo corresponde fielmente a las dimensiones en campo.

**Nivelación de estructuras.** La actividad de nivelación topográfica de estructuras partió de puntos de liga previamente revisados y autorizados.

Para la realización del levantamiento topográfico se utilizó el método de nivelación por medio de puntos de liga y bancos de nivel. Para llevar a cabo esto, se usó equipo topográfico suministrado por el laboratorio de topografía de la Facultad de Ingeniería.

Los elementos usados para la nivelación topográfica fueron:

- 1 Estadal de 3 metros de altura
- 1 Un nivel topográfico
- 1 Tripie para colocar nivel topográfico
- 1 Cinta de medir de 30 m.

Para plasmar la información obtenida en la nivelación topográfica se optó por dibujar los niveles en formato gráfico<sup>1</sup> (planos de autocad), lo que facilitó su consulta para actividades posteriores.

**Inspección de pozos o cajas.** Esta actividad permitió conocer las características internas de cada pozo de visita y caja de válvulas, tales como condiciones de operación, conectividad con otras estructuras, diámetro y materiales de las tuberías que convergen; ésta información se incorpora al formato correspondiente<sup>2</sup>.

**Ubicación de estructuras especiales.** Para entender el funcionamiento de los sistemas hidráulicos se revisó la ubicación en campo de las estructuras especiales tales como pozos profundos de extracción de agua potable, tanques de regulación, plantas de bombeo, cisternas de almacenamiento y macromedidores.

**Deducción en gabinete de estructuras ocultas.** Una vez que se contó con todos los planos y elementos visibles, se analizó la red para verificar la posible existencia y posición de estructuras no perceptibles. Para ello, se revisó las separaciones que guardan entre sí los pozos o cajas de válvulas en los planos con el objetivo de visualizar posibles puntos donde se podrían encontrar cajas de válvula o pozo no visibles.

Debido a que no se contaba con un aparato especial para la identificación de cajas de válvula, se realizó una encuesta al personal encargado del mantenimiento de la red que por lo menos contara con una antigüedad laboral de 8 a 10 años en el fraccionamiento, con el fin de tener una visión de los posibles lugares en los que se puede situar un elemento oculto. Para ello, dentro del fraccionamiento no se tuvo ningún elemento oculto identificado, por lo que el catastro del pozo y de las cajas de válvula se completó en su totalidad.

---

<sup>1</sup> Ver plano con niveles, anexo C (reporte de niveles topográficos).

<sup>2</sup> Ver anexo B (reporte de cajas de válvula).

**Desazolve o achique de pozos y cajas.** Al abrir un pozo de visita o una caja de válvulas, estos se encuentran saturados de azolve, agua o basura, se realiza el retiro de dichos materiales hasta un nivel que permita la obtención de la información.

Para lograr obtener las características de cada caja de válvula dentro del fraccionamiento, se realizó en conjunto con el organismo operador el destape y acondicionamiento de las estructuras, para ello el personal se dividió en cuadrillas para limpiar el azolve y basura que se encontraba dentro de las mismas.

**Análisis y congruencia del catastro de la red de agua potable.** Una vez incorporada a los planos toda la información levantada en campo se procedió al análisis detallado de la misma, denotando para cada punto sus características físicas. Las actividades antes descritas generan una gran cantidad de información, la cual requiere ser plasmada en documentos los cuales permitan su procesamiento y consulta. Esta es la fuente de alimentación para generar un banco final digital de información, cuya utilidad y aprovechamiento dependen en gran medida de la veracidad y calidad de los trabajos de campo y gabinete antes descritos.

### **3.3 Catastro general del Fraccionamiento Potosino de Golf**

El Fraccionamiento Potosino de Golf está ubicado en la ciudad de San Luis Potosí, precisamente al Noreste de la ciudad. Se encuentra a un extremo del Boulevard y río Santiago, rodeado de las siguientes colonias<sup>3</sup>:

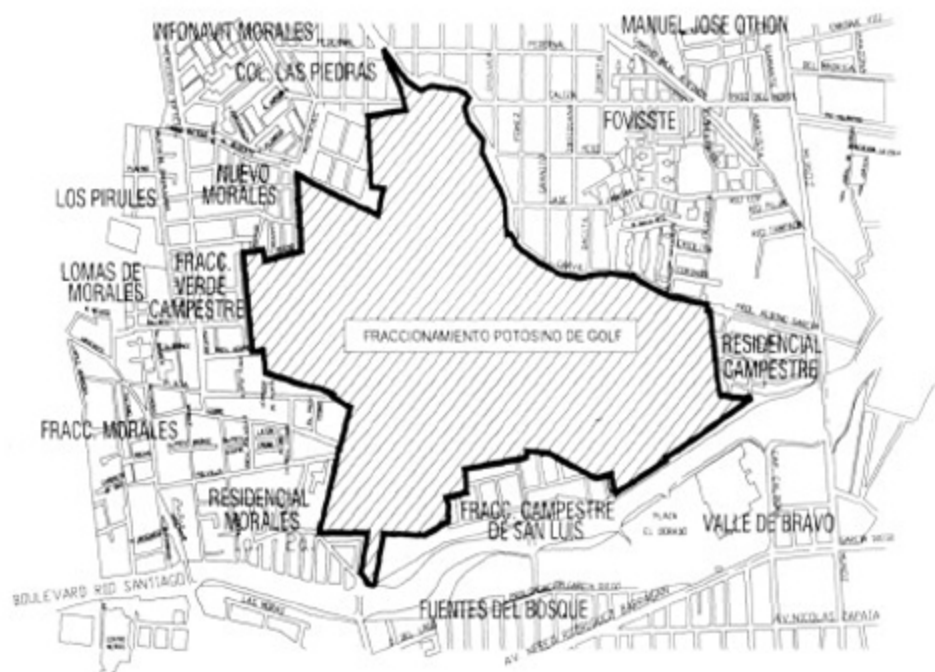
- Infonavit Morales.
- Las Piedras.
- Nuevo Morales.
- Fraccionamiento Verde Campestre.
- Residencial Morales.
- Fraccionamiento Campestre de San Luis.
- Residencial Campestre.
- Foviste.

Actualmente el fraccionamiento se encuentra administrado por la Asociación de Colonos. Este organismo tiene como función la regulación, mantenimiento, modificación y evaluación de todos y cada uno de los aspectos que tengan que ver con los elementos que se encuentren sobre la superficie del terreno (lotificación, pavimentos, áreas verdes, tarifas de usuarios, pozo, etc) y debajo del mismo (red de agua potable, alcantarillado, etc).

---

<sup>3</sup> Véase anexo E - mapa de localización fraccionamiento Potosino de Golf.

El área que comprende el Fraccionamiento Potosino Golf es de aproximadamente **934,566.34 M2**, como se muestra en la lámina 3.1, de la cual un cierto porcentaje, corresponde al campo de golf, administrado por una dependencia totalmente ajena a la asociación de colonos.



**ÁREA TOTAL DEL TERRENO: 934,566.34 M2**

Lámina 3.1 Ubicación del Fraccionamiento Potosino de Golf.

Dentro del fraccionamiento según el censo general de población y vivienda del año 2003<sup>4</sup>, el número de habitantes que conforman esta comunidad es de **998** personas las cuales habitan en la actualidad un número total de **403** lotes distribuidos de la siguiente forma:

- 156 lotes sobre la calle de Paseo Campestre. (49 lotes por zona de rebombado y 108 zona por gravedad)
- 20 lotes sobre la 2da privada Paseo Campestre.
- 78 lotes sobre la calle de Paseo del Lago.
- 22 lotes sobre la calle de Paseo Alto.
- 45 lotes sobre la calle de Paseo de las Flores.
- 33 lotes sobre la calle de Paseo del Río.
- 3 lotes sobre la 1era privada Paseo Campestre.
- 46 lotes sobre la calle de Paseo las Arboledas.

<sup>4</sup> Para mayor información referente a población ver Anexo A. Censo general de población y vivienda 2003, INEGI.

Los **256** lotes restantes que constituyen el fraccionamiento se distribuyen de la siguiente manera<sup>5</sup> :

- 182 lotes baldíos.
- 48 lotes usados como jardín.
- 26 lotes en construcción.

Actualmente dentro de la red se estimó la existencia de un total de 370 tomas domiciliarias activas, 182 tomas que no tienen uso, ni medidor y 20 tomas sin medidor distribuidas dentro de los lotes y jardines del lugar. Su distribución se indica a continuación:

- 95 tomas en uso sobre el sector de gravedad.
- 275 tomas en uso sobre el sector de gravedad, 6 de las cuales están ubicadas en jardines y casetas.
- 53 tomas que no tienen uso ni medidor por el sector de gravedad.
- 129 tomas que no tienen uso ni medidor por el sector de rebombeo.
- 8 tomas sin medidor en el sector por gravedad.
- 12 tomas sin medidor en el sector de rebombeo.

El fraccionamiento cuenta con un pozo, del cual se extrae el agua para el consumo de los usuarios y se encuentra localizado a espaldas de los lotes número 325 y 326 situados sobre la calle de Paseo del Río con Paseo del Lago<sup>6</sup>. Una de las características principales del pozo es que cuenta con dos elementos, un tanque elevado<sup>7</sup> que ayuda a regular la carga de agua y una cisterna de almacenamiento para contener el agua que se extrae del pozo.

Para lograr una mejor administración del agua dentro del fraccionamiento por parte del organismo operador, la red se dividió en dos sectores o distritos que se describen a continuación:

1. Sector por gravedad: Este sector consta de 108 lotes habitados y su red de tuberías corre por detrás de los lotes 326 al 341 localizados sobre Paseo del Río, detrás de los lotes 595(A) hasta el 600 situados en la calle de la 1era privada de Paseo Campestre, a un lado del muro divisorio que separa el Fraccionamiento Potosino de Golf del Fraccionamiento las Piedras y por la calle de Paseo Campestre del lote 620 al 2, pasando por las cajas de válvula: CV3, CV2, CV1, CV4, CV5, CV6, CV7, CV8.
2. Sector por rebombeo: Este sector es el mas extenso, con 295 lotes que constituyen el 73.44% de lotes habitados. Su red de tuberías corre por las calles de Paseo del Río, Paseo del Lago, Paseo de las Flores, Paseo Alto,

<sup>5</sup> Para mayor información referente a la distribución de los lotes dentro del Fraccionamiento Potosino de Golf ver plano general Anexo E.

<sup>6</sup> Para mayor información véase Anexo D características de la bomba y el pozo.

Paseo de las Arboledas, 2da. privada del Paseo Campestre y Paseo Campestre desde el lote 47 hasta el lote 1(CH), pasando por las cajas de válvula: CV9, CV10, CV11, CV12, CV13, CV14, CV15, CV16, CV17, CV18, CV19, CV20, CV21, CV22.

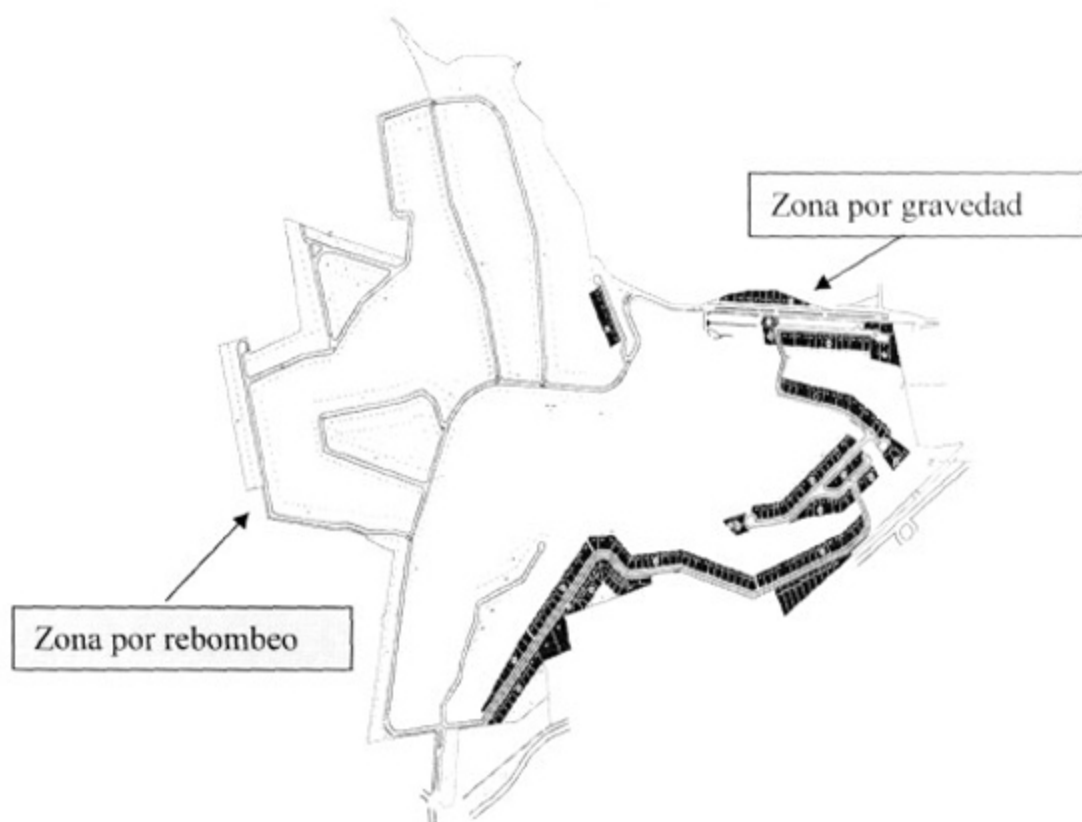


Lámina 3.2 Sectores en los que se dividió la red.

### 3.3.1 Catastro de fuentes de abastecimiento principales de la red

#### Fuentes de abastecimiento.

Tipo	Número de unidades	Año	Caudales (m <sup>3</sup> )			Extracción promedio (m <sup>3</sup> ).
			min	med	max	
PZ	1 Unidad	2004	1171	21944	30038	23753
PZ	1 Unidad	2005	22485	29209	37535	30000

Tipos : PZ = Pozos, L = lagos, P = presas, R = ríos, G = galería filtrante, M = manantial, O = otros.

Nota: para el año del 2005 sólo se tomaron 10 meses ya que no se habían capturado Noviembre y Diciembre.

Cuadro 3.2 Fuentes de abastecimiento.

#### Tanque de almacenamiento.

Tipo	Número de unidades	Material	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Edad (años)
EL	1 Unidad	A	20	aprox. 10



Tipos : EL = elevado, SUB = subterráneo, M = mampostería, C = concreto, A = acero, O = otros

Cuadro 3.3 Tanque de almacenamiento.

### Red de distribución.

Diámetro	Materiales.						Edad (años)	Estado actual			Longitud total (m)
	FoFo	FoGo	AC	PVC	Pb.	otro		B	R	M	
3"			x				15		x		2975.969
3"				x			15		x		115.9
4"			x				15	x			2484.12
6"			x				15	x			2562.133
6"						TF	2	x			686.004

Materiales: FoFo = hierro fundido, FoGo = hierro galvanizado, AC = Acero, Pb. = plomo, PVC = poliducto, TF = termo fusionado.

Estado actual: B = bueno, M = malo, R = regular.

Cuadro 3.4 Red de distribución.

### Válvulas y dispositivos de protección en la red.

Clave	Función	Cantidad	Estado actual			Enterradas	Azolvada (%)	Maniobra	observaciones
			B	R	M				
CV1	SEC	1	x			si	100	cerrada	
CV2	SEC	1			x	si	100	cerrada	sin volante
CV3	SEC	1			x	si	90	abierta 30 %	sin volante
CV4	SEC	1	x			si	100	abierta 100 %	
CV5	AL	1	x			si	95	-----	
CV6	SEC	1	x			si	70	abierta 100 %	
CV7	SEC	1	x			si	100	abierta 100 %	
CV8	SEC	1	x			si	100	abierta 100 %	
CV9	SEC	1			x	si	40	abierta 100 %	sin volante
CV10	SEC	1			x	si	40	abierta 100 %	sin volante
CV11	SEC	1	x			si	40	abierta 30 %	
CV12	AL	1	x			si	90	-----	
CV13	SEC	1	x			si	100	abierta 100 %	
CV14	SEC	1	x			si	100	abierta 100 %	
CV15	SEC	1	x			si	50	abierta 100 %	
CV16	SEC	1	x			si	35	cerrada	
CV17	SEC	1			x	si	40	abierta 50%	sin volante
CV18	SEC	1	x			si	100	abierta 100 %	
CV19	AL	1	x			si	100	-----	
CV20	AL	1	x			si	50	-----	
CV21	SEC	1		x		si	35	abierta 100 %	inundada
CV22	AL	1	x			si	100	-----	
CV23	SEC	1			x	si	100	abierta 20 %	sin volante

Función: SEC = seccionamiento, RET = retención, PU = purga, AL = alivio, ADES = admisión y expulsión de aire, O = otras.

Cuadro 3.5 Válvulas y dispositivos en la red .

### 3.3.2 Catastro de macromedidores instalados.

El Fraccionamiento Potosino de Golf cuenta con la medición de caudales en tres puntos principales dentro del pozo, que son:

- Primero: En éste punto se tiene un medidor de propela bridado de 4 " de diámetro, colocado inmediatamente después de la bomba sumergida y es propiedad de la Comisión Nacional del Agua.
- Segundo: En el sector por gravedad, se colocó un medidor de propela bridado de 4" de diámetro, propiedad de la asociación de colonos. Este medidor se encuentra oculto en una cisterna de concreto y ladrillo de 1.0 x 1.0 m y se localiza a un lado de la cisterna de almacenamiento, frente al tanque elevado del fraccionamiento.
- Tercero: En el sector por rebombeo, se colocó un medidor de propela bridado de 6" de diámetro el cual es propiedad de la asociación de colonos. Este medidor se encuentra al descubierto y se localiza a un lado del tanque elevado cerca de la válvula que controla el caudal hacia el sector de rebombeo.

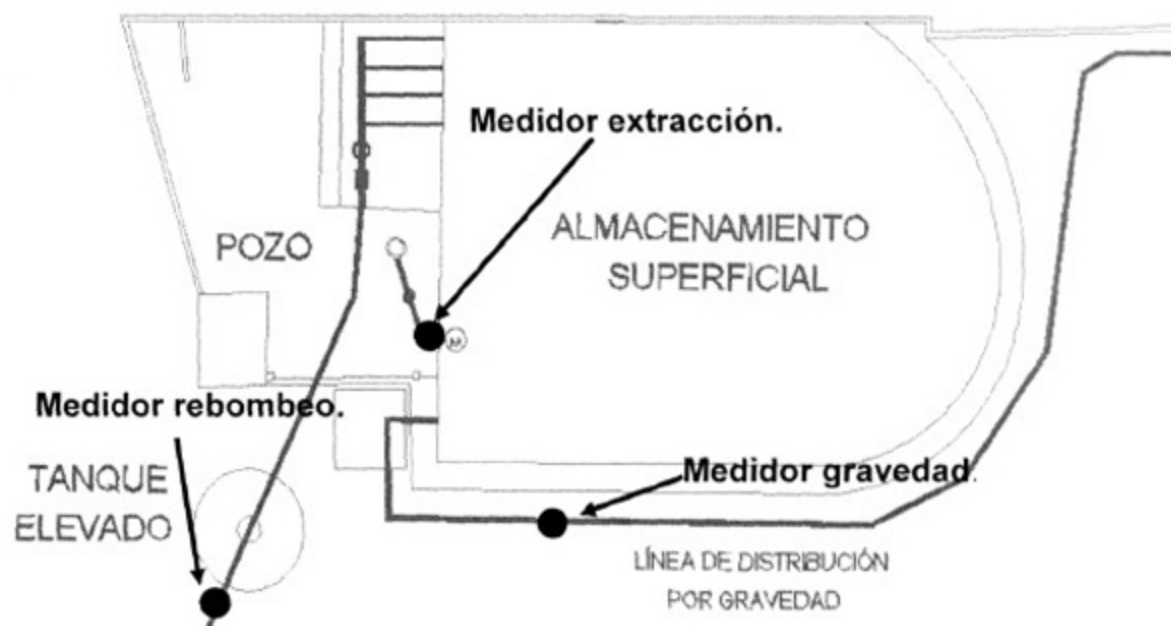


Lámina 3.3 Ubicación del macromedidores en el pozo.

Para mayor información respecto a los macromedidores véase Anexo D (características de la bomba sumergida y de los elementos que conforman el pozo.).

## Capítulo 4



MACROMEDICIÓN Y MICROMEDICIÓN

#### **4.0 La medición y el uso eficiente del agua**

La necesidad de medir es evidente en la mayoría de las actividades técnicas o científicas. Sin embargo, no interesa sólo contar con medidas sino también saber si dichas medidas son válidas.

Para ello debemos recordar la definición de medición como el "proceso por el cual se asignan números o símbolos a atributos de entidades del mundo real de tal forma que los describa por medio de instrumentos calibrados, de acuerdo con reglas claramente definidas " [Fenton y Pfleeger, 1997].

Por lo tanto, la medición es un medio por el cual los seres humanos representamos las propiedades de magnitud de cualquier tipo de esencia, sustancia y objeto que pueda ser demostrada por medio de la aplicación de números o atributos. El agua no es la excepción.

El uso eficiente del agua plantea varios desafíos, entre ellos, una implicación directa hacia la medición continua y la evolución del desempeño de los sistemas en el tiempo. "Medir es la clave en cualquier acción de uso eficiente del agua". (Sánchez y Sánchez, 2004).

Dentro de un estudio de agua no contabilizada la medición es uno de los componentes esenciales para lograr un programa óptimo en la disminución de perdidas de agua por parte del organismo operador. En las palabras de Lord Kelvin "Si no lo mides, no lo puedes manejar".

Hay que denotar, que para lograr la ejecución de estudios que tengan que ver con la administración del agua, se debe de contar con datos de medición en diversos puntos estratégicos obtenidos por medio de aparatos especializados. Estos instrumentos son costosos, desde la etapa de instalación hasta la de mantenimiento, por lo que conviene planear con mucho cuidado la administración de la medición así como la selección de los aparatos a utilizar para ejecutar los proyectos de evaluación.

En el momento en que el investigador cuente con estos datos se podrá visualizar el funcionamiento del sistema de manera global.

#### **4.1 Sistema de medición.**

Un sistema de medición de agua es aquel conjunto de elementos que nos permite conocer la cantidad de agua que está pasando por el sistema en un determinado período de tiempo, por lo que un medidor de agua, sea macro o micro, es considerado como un sistema de medición.

## 4.2 Objetivo de un sistema de medición.

El objetivo de un sistema de medición es dar a conocer al observador (persona, organismo, operador, etc) un valor numérico que corresponde a la cantidad de agua que está fluyendo; es decir, presentar una cantidad que represente el volumen de agua que pase por el sistema.

## 4.3 Elementos que integran un aparato de medición.

Como es de esperarse, un aparato de medición esta compuesto de varios elementos. Es posible identificar cinco tipos de estos elementos (lámina 4.1) aunque en algunos aparatos puede faltar alguno, o bien ocurrir más de una vez.

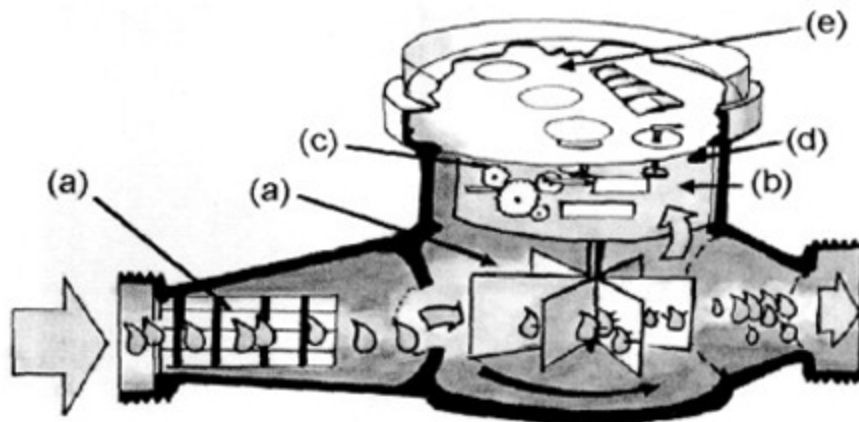


Lámina 4.1 Esquema del sistema de medición.

- a) Sensor.
- b) Convertidor o acondicionador de señales.
- c) El manipulador o procesador de señales.
- d) El trasmisor.
- e) El presentador de datos.

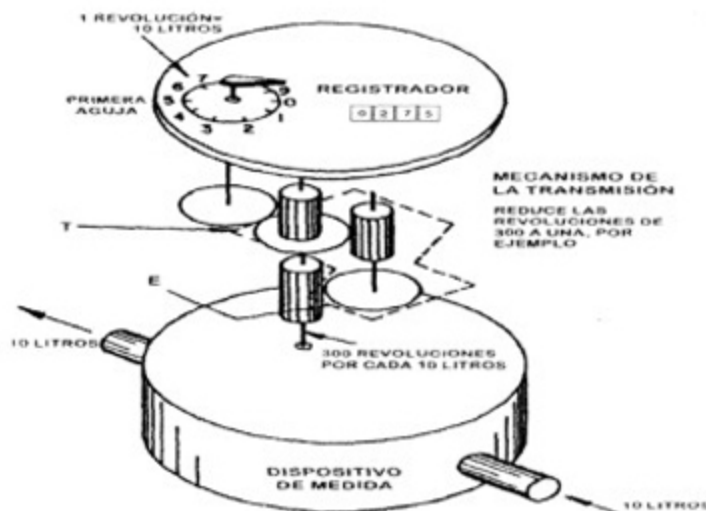


Lámina 4.2 Esquema de acción de un medidor.

De forma breve, se puede decir que el sensor tiene la característica de producir una señal relacionada con la cantidad medida, es decir, es aquel que tiene contacto directo con el agua

El objeto de la trasmisión consiste en hacer que el número de revoluciones producidas en el sensor (órgano móvil) del dispositivo de medida, por el paso de agua, llegue adecuadamente al registrador para que éste lo acumule a los datos anteriores (lámina 4.2).

Se puede considerar que el mecanismo de trasmisión inicia donde se enlaza con el dispositivo de medida (punto E, lámina 4.1) y termina en el engranaje "T" (lámina 4.2) que inicia directamente el registro, por medio de una aguja y un cuadrante o un rueda enumerada.

Las transmisiones realizan ese trabajo mediante un tren de engranajes cuya disposición relativa, dentro del aparato medidor, así como el tipo de elementos que la construyen y caracterizan, son la base para definir y designar el tipo de medidor.

El registrador de un medidor es la parte del aparato que tiene como objeto registrar y acumular el consumo aforado por el dispositivo de medida. Esta función se realiza por medio de un juego de engranajes, o por medio de una pantalla digital numérica (lámina 4.3).

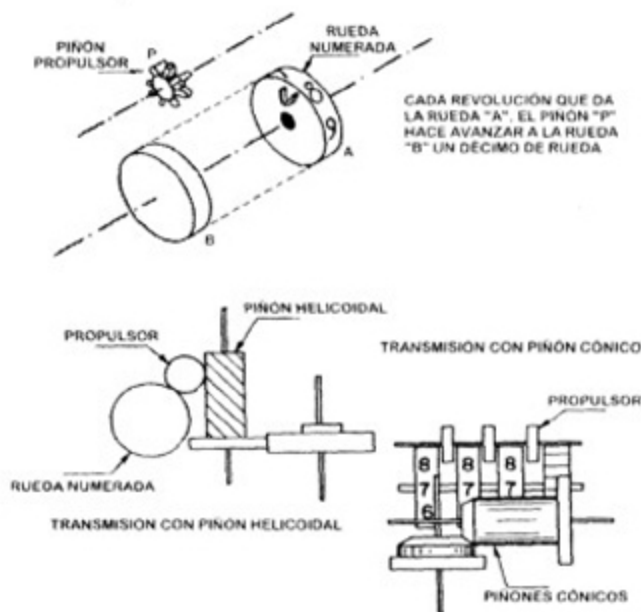


Lámina 4.3 Esquema de acción de los engranajes del registrador.

#### 4.4 Como ocurren los errores en la medición de agua.

Los errores en la medición pueden ocurrir de distintas formas. La medición en los aparatos puede deberse básicamente a tres tipos generales de error, aquel que es causado por variaciones en las piezas mecánicas internas, por mala colocación y por la errónea selección del medidor.



## Visitas guiadas Evaluación

La información que recibiste fue:  
Suficiente y clara SI  
Insuficiente NO  
Demasiada NO

El guía fué:  
Cortés y amable SI  
Apático / Indiferente NO  
Contestó las preguntas SI

Las instalaciones fueron:  
Muy apropiadas SI  
Adecuadas SI  
Deficientes NO

Comentarios / Sugerencias

Fue muy interesante

Américan Water Works Association) generan los errores en la medición, se producen anomalías en los medidores colocados en los puntos de extracción,

tes calidades de agua.

cabado del mismo.

e tales como el excesivo calor o frío. cuadro o tubería.

edidor para el tipo de trabajo.

ión.

ional no especializado.

medidor es eléctrico.

Para estudios de la red, a identificar el porcentaje de agua no contabilizada, es de suma importancia que los errores de los medidores a nivel domiciliario y de los puntos de extracción, cuenten con un mínimo de problemás, ya que el excesivo desvío en la exactitud de los datos obtenidos en campo generarán resultados incorrectos al instante de realizar el balance de agua.

### 4.5 Corrección de los errores de medición y facturación.

Un requisito para que la medición de las variables hidráulicas (gasto, presión y nivel) y las financieras (cobro), se realicen correctamente por parte del organismo operador, es verificar y corregir los errores de facturación (almacenamiento de datos y procesamiento). Esto es de suma importancia para la reducción integral de agua no contabilizada. Ya que un correcto manejo de la información nos dará resultados fiables.

#### 4.5.1 Calidad de los datos de medición.

La medición no tiene su fin u objetivo en lograr tener una gran cantidad y diferentes tipos de medidores instalados, sino en monitorear frecuentemente las condiciones y generar datos, que luego de su acopio, validación y manejo de manera inteligente, puedan transformarse en información útil que a su vez sirva para orientar las acciones a seguir en la operación o planeación de los servicios de agua.

Para que la información pueda considerarse de calidad deberá de cumplir con varias características, entre las que están:

- **Pertinencia:** Para ayudar en la toma de decisiones.
- **Confiabilidad:** Estar razonablemente libre de errores.
- **Compatibilidad:** Para ver semejanzas y diferencias, para así poder responder a lo que se quiere conocer.
- **Consistencia:** Concordancia durante los períodos de estudio.
- **Oportunidad:** Tener la información a tiempo para que esta sea útil en la toma de decisiones. (Leonel O. y Víctor B. IMTA 2001)

En forma similar hay que monitorear valores y controlar la calidad de la información, es decir, evaluar el desempeño del sistema de información (medición y facturación) para decidir si es apropiado, abarcando los siguientes puntos:

- I El nivel y frecuencia con que se leen los equipos o se hacen aforos (anual, mensual, semanal, diario).
- II El número de equipos y su precisión.
- III La capacidad técnica y habilidad del personal.
- IV Así como la conveniencia de cierta organización, jerarquías y canales de trasmisión de información (uso, restricciones y disponibilidad de la información).

En resumen se debe contar con un sistema de facturación y medición que garantice un mínimo error en los datos obtenidos, con la finalidad de que el organismo tenga elementos de decisión en su gestión empresarial.

#### **4.6 Principales puntos de medición para la recopilación de datos dentro de una red de distribución.**

A continuación se denotan los puntos más comunes de medición utilizados a nivel mundial por dependencias que regulan redes de distribución:

- La medición de agua en los puntos de extracción (macromedición).
- Medición de agua por usuario (micromedición).
- Puntos intermedios de medición en la red (DMás "meters on district metered areas").

La medición en los puntos de extracción (macromedición) mide la cantidad de agua inyectada a la red desde el pozo, lago o río al cual se conecta para su abastecimiento. Esta medición es el principio para una buena administración de los recursos hidráulicos, ya que permite al organismo modificar los tiempos de abastecimiento, encendido o apagado de bombas, niveles de pozo y balances para la realización de estudios de agua no contabilizada.

La medición del consumo por usuario (micromedición) es un aspecto de suma importancia al igual que la macromedición, ya que gracias a esta, el organismo evalúa el funcionamiento de la red a un nivel de usuario. La correcta

administración de estos consumos desprende uno de los beneficios más importantes dentro de la red, ya que es aquí donde se retribuye económicamente el servicio proporcionado por el organismo. De aquí la importancia de optimizar los procesos de medición al grado de disminuir las pérdidas por errores tanto humanos, técnicos y administrativos.

La medición de puntos intermedios en la red (DMás) es una de las técnicas más usadas a nivel mundial en sistemas a gran escala y consiste en la sectorización de la red por medio del cierre de los elementos que controlan el flujo del agua por las tuberías (válvulas) dejando que el agua fluya por líneas controladas, suministrando a todos los puntos de consumo.

En estos puntos se colocan aparatos denominados "loggers" que tienen como función obtener datos del flujo que alimenta a la red durante períodos de 24 hrs. para así obtener el comportamiento de los consumos, esto con el fin de identificar zonas críticas en las cuales se presentan fugas de agua a gran escala.

Para la realización del estudio de agua no contabilizada dentro del Fraccionamiento Potosino de Golf se utilizarán datos de micromedición y macromedición, ya que el método seleccionado para estudio se basa en el balance de agua conjugado con el de distritos hidrométricos.

## **4.7 La micromedición.**

### **4.7.1 ¿Que es la micromedición?**

Como ya habíamos comentado en capítulos anteriores la micromedición tiene como objeto permitir entender el comportamiento del consumo a nivel usuario, en un lapso de tiempo determinado.

Otra definición práctica y más acertada nos dice que "la micromedición consiste en medir los consumos de agua de los usuarios con la finalidad de que puedan servir como base para realizar la facturación del abastecimiento, para la realización de estudios enfocados a la optimización de los sistemas hidráulicos y para establecer una gestión empresarial racional". (Leonel O. y Víctor B. IMTA 2001).

Una segunda definición dice que "la micromedición tiene como objeto cuantificar periódicamente el consumo de agua de cada usuario con fines de facturación para asegurar que los consumos sean racionales y para mantener un equilibrio adecuado entre la producción y la demanda de agua". (M Hemery y MD Weimer OPS, OMS)

La micromedición es una de las principales herramientas en la que un estudio de agua no contabilizada se apoya, ya que mediante el conocimiento de los datos arrojados por este medio, el investigador puede logra entender como se distribuyen los consumos dentro de una red para efectuar acciones que influyan

en la reducción del consumo, la reducción de pérdidas en los domicilios o poder identificar tomas clandestinas.

Hay que mencionar que la micromedición por si sola es una herramienta esencial pero muy variable, ya que depende en gran parte del estado y eficiencia del medidor que recolecta la información, por lo que una de las tareas principales al realizar un estudio de agua dentro de una red de distribución, es la corrección de los errores. Por esta razón dentro del Fraccionamiento Potosino de Golf se implementó un estudio para determinar el error de medición de los diversos aparatos existentes dentro de la red de agua potable.

#### **4.7.2 La micromedición como instrumento indispensable para la administración de la red.**

Unos de los beneficios inmediatos al utilizar la micromedición como una herramienta de administración dentro de una red de distribución, se ve reflejado en lo siguiente :

- a) Se logra el conocimiento de los consumos reales por parte de los usuarios de la red.
- b) Se visualiza el estado que guardan los medidores y se ejecutan programas de reemplazo.
- c) Se localizan los usuarios que posiblemente tengan conexiones no autorizadas dentro de su domicilio.
- d) Se obtiene una idea general de los diferentes usos que se le otorga al agua dentro de la red, esto con el fin de saber a que tipo de usuario corresponde cada toma.
- e) Se obtiene el conocimiento del porcentaje de implementación de medición de toda la red.
- f) Se tiene un catastro general de todos los cuadros de conexión, sus piezas y su localización.
- g) Se tiene el registro de todos los tipos de marcas y edades de los micromedidores usados en la red.
- h) Se tienen registros de modificaciones de las tomas para futuros estudios.

Hay que recordar que por medio de la implementación de la micromedición se obtienen ventajas que generan beneficios a los organismos operadores y son:

- Racionalización de los recursos hidráulicos.
- Optimización de los recursos disponibles en el sistema actual (postergar inversiones o incrementar la cobertura de agua potable).
- Posibilidad de ofrecer un servicio continuo.
- Reducción de costos de operación.
- Apoyo en las acciones de control de pérdidas.

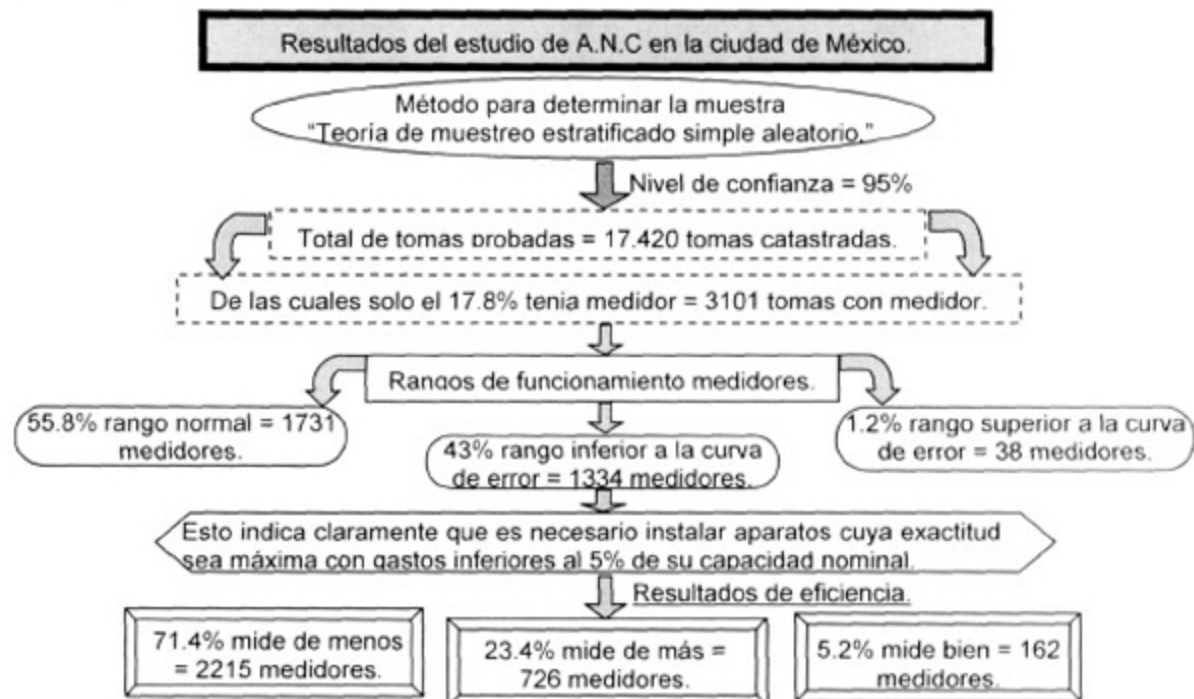
#### 4.7.3 La micromedición, herramienta por excelencia en la determinación del agua no contabilizada.

La ausencia de medidores y de programas de evaluación en una red, priva a la entidad que la maneja de elementos esenciales para la ejecución de proyectos.

La detección de agua no contabilizada se torna difícil a causa de la ausencia de datos y cifras de fácil acceso. Las consecuencias económicas de una red sin medidores también son importantes.

La medición, como base de la facturación, permite dar un valor al agua (disponible en cantidades ilimitadas). También permite conocer el costo de la distribución gratuita para ciertos usuarios (hospitales, escuelas) y obtener los recursos financieros necesarios. Finalmente, la medición del agua es una forma de atribuir responsabilidad al consumidor. "Según el IMTA la micromedición puede influir en la reducción del consumo de agua domiciliar hasta un 25% en áreas que no contaban con medición y aumentar la eficiencia de la red en un 20%" (Leonel O. y Víctor B. IMTA 2001).

Para entender más la importancia de la micromedición como herramienta en la determinación del agua no contabilizada, analizaremos un ejemplo documentado de un proyecto realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (Ochoa 2001) encaminado a el estudio de A.N.C en una ciudad de México.



Cuadro 4.1 Proyecto realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

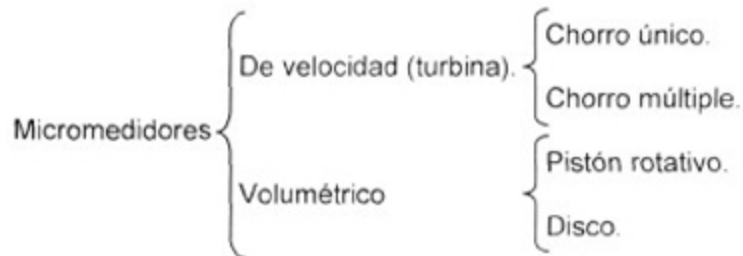
Con la información adquirida se pudo extrapolar los valores a los demás medidores y realizar un balance de agua para calcular el porcentaje de agua no



contabilizada real. De aquí la importancia de utilizar la micromedición como una herramienta para la administración de la red del Fraccionamiento Potosino de Golf.

#### 4.7.4 Clasificación de los diversos tipos de micromedidores según su uso.

La clasificación más común para describir los diferentes tipos de micromedidores por parte de los fabricantes es de la siguiente manera:



##### 4.7.4.1 Medidor de velocidad (turbina).

El medidor de velocidad tipo turbina es una variante de los medidores de hélice o propela, ya que funciona con el mismo principio el cual combina un elemento giratorio que se coloca en el centro del flujo .

El medidor de turbina de entre todos los tipos de aparatos de medición, es el que menos sensibilidad posee (lámina 4.4) pero tiene la ventaja de poder efectuar una medición confiable en aguas de alto contenido de material en suspensión (arenas, limos, partículas, etc), sin que se afecte el proceso de medición y calidad de sus piezas. El medidor de velocidad es el aparato más silencioso que existe y no se necesitan precauciones especiales para efectuar su instalación.

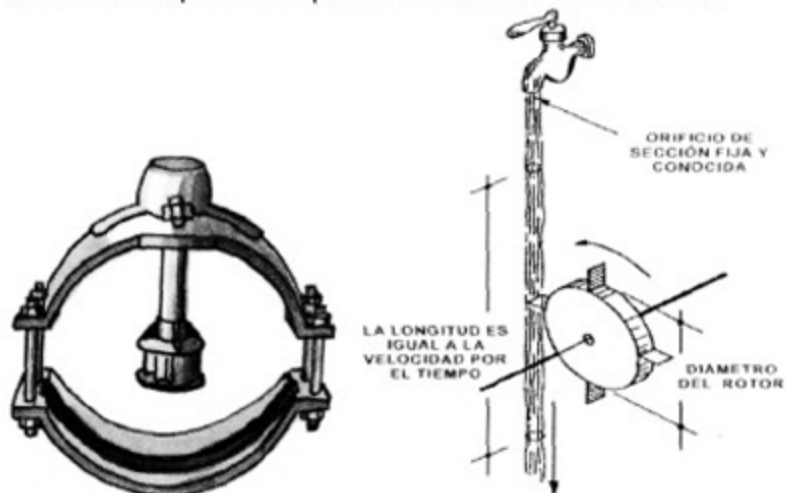


Lámina 4.4 Medidores de turbina.





Lámina 4.5 Medidores de turbina.

La manera en que este aparato mide el agua se logra por el uso de una turbina que contabiliza la velocidad al momento que pasa el agua por su sistema de giro y éste se regula mediante paletas o válvulas que permiten corregir la exactitud del medidor. La turbina está en contacto con el agua (lámina 4.5), puesto que es la que recibe el impulso que transmite el movimiento al mecanismo de transmisión.

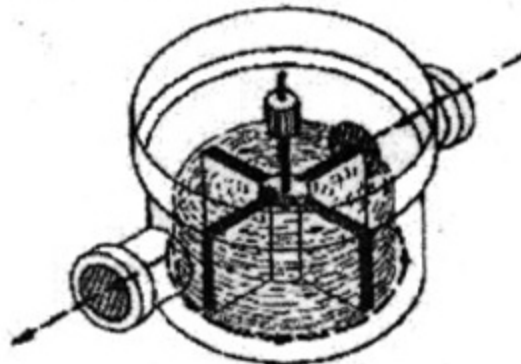


Lámina 4.6 Esquema del contacto del agua con la turbina.

Este tipo de medidores están dotados de un colador interno que se localiza en la boquilla de entrada al circuito de paletas, mismo que está calibrado para detener partículas de cierto tamaño y que podrían perjudicar el mecanismo de relojería del aparato produciendo el paro del medidor o lecturas erróneas en el presentador de datos.

Otro aparato domiciliario usado en la medición por velocidad es el llamado medidor por chorro único (lámina 4.7), este tipo de aparatos son los ideales para manejar consumos domésticos que no excedan de los  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ .

El medidor de chorro múltiple es más preciso, dado a que tiene mayor sensibilidad y exactitud. Está diseñado para trabajar con gastos pequeños, otra de sus ventajas es el peso del aparato, ya que éste cuenta con órganos motores que no están en contacto con el agua generando que sea ligero a causa de la ausencia de piezas de gran volumen (hélices, propelas). Otro beneficio inmediato es el que su costo y mantenimiento son también bajos convirtiéndolo en una clara opción de selección para la medición de los consumos domiciliarios en las redes. En los

medidores de chorro único su gasto de arranque es más bajo que en los de chorro múltiple.

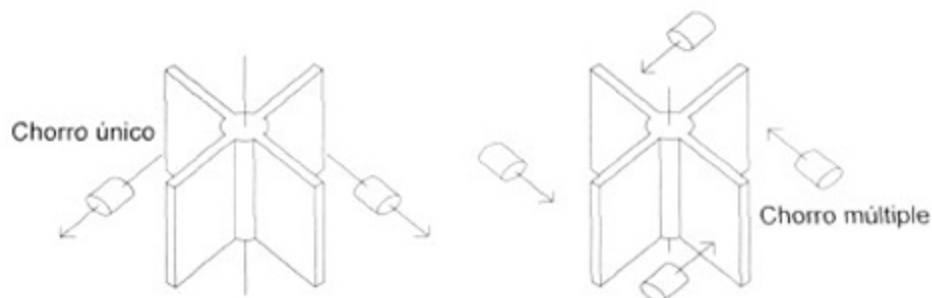


Lámina 4.7 Tipos de medidores de velocidad por chorro (medidores tangenciales).

El medidor de chorro múltiple (lámina 4.8), se utiliza en rangos de gasto que no exceda los  $90 \text{ m}^3/\text{h}$  ya que a partir de este consumo la presión que se ejerce sobre la turbina podrá llegar a producir desgastes en los asientos de la misma, provocando la desnivelación del vástago.

Se diferencia del chorro único, en que la turbina ésta dentro de una cámara con varios orificios de entrada y de salida opuestos a manera de espejo, de forma que los pares de fuerzas que crean los chorros de agua se distribuyen dentro de una resultante nula.

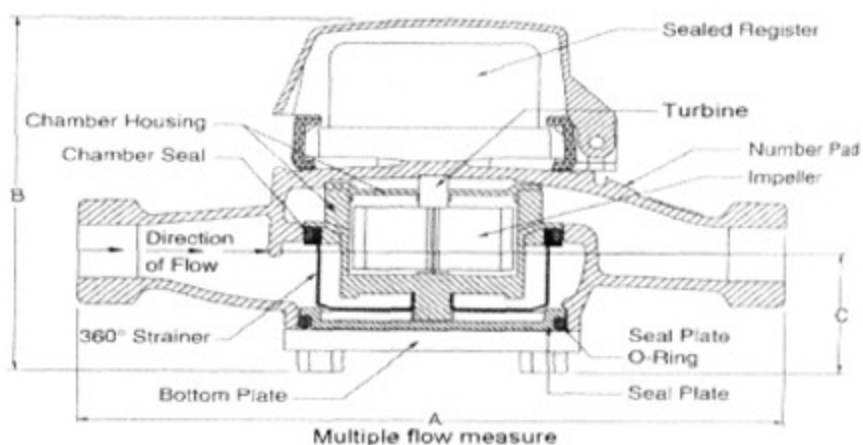


Lámina 4.8 Medidor de chorro múltiple.

#### 4.7.4.2 Medidor volumétrico.

Dentro de este tipo de medidores existen dos clases que se mencionan a continuación:

- Medidores de tipo embolo rotativo (pistón).
- Medidores de disco.

El medidor de tipo embolo rotativo (pistón), también conocido con el nombre de medidor de desplazamiento volumétrico, es uno de los medidores más exactos que existen en el mercado, ya que éste mide el volumen de agua que pasa a

través del medidor con una gran sensibilidad. Una de las características principales por la que este medidor es muy usado en las redes, es la de poder trabajar con gastos muy pequeños y por ende la compra de este aparato es muy reductible a los organismos operadores que desean tener una administración de los consumos de los usuarios más rígida.

La gran desventaja de este tipo de medidor es que las impurezas que a veces lleva el agua dañan de manera considerable la estructura interna del medidor, por lo que únicamente se recomienda para sistemas de agua con un alto grado de filtración, pues cualquier cantidad de materiales en suspensión en el agua como: arenas, partículas vegetales, sales de calcio, etc., detienen el medidor, obturando el paso del agua y dejando al usuario sin servicio, además si no está bien instalado produce vibraciones en la línea de salida con las consecuentes molestias para el consumidor.

Los medidores de disco miden el agua parcialmente por desplazamiento volumétrico y velocidad. Este tipo de medidores son menos sensibles que el de embolo rotativo y no sufre de los mismos defectos de su contraparte, es decir, su funcionamiento con agua no filtrada es eficiente. En lo que respecta al sistema de lectura hay dos principios fundamentales:

1. Esfera húmeda.
2. Esfera seca.

En los medidores de esfera húmeda, el agua que pasa por el medidor siempre entra a la carátula, por lo que esta siempre se encuentra inundada o húmeda. El único inconveniente de este medidor es que al cabo de poco tiempo se forman depósitos de sedimentos a causa de una muy mala calidad de agua y esto provoca que se opaque el cristal que sirve de protección para las manecillas.

Otro inconveniente es el hecho de que si el vidrio se rompe o sufre cualquier rotura por insignificante que sea, se escapa el agua, ocasionando graves trastornos al sistema de distribución y molestias al consumidor.

Los medidores de esfera seca, no siguen el mismo principio que los de esfera húmeda ya que en estos el agua no está en contacto con la carátula y no importa la calidad del agua siempre y cuando se pueda tomar con facilidad la lectura del medidor, otro punto a favor es que la rotura del vidrio protector de la carátula no impacta tanto como en el medidor de esfera húmeda.

Existen dos tipos de lectura:

- Circular con agujas.
- Directa con rodillos o de cifras saltantes.

El registro circular (lámina 4.9) consta de un mecanismo en forma de esfera que hace girar diferentes discos de diferentes tamaños que a su vez mueven

manecillas con diferentes magnitudes. La manecilla central roja colocada sobre el disco más grande mide generalmente litros y los discos intermedios miden hectolitros (aguja roja pequeña). Por último tenemos las agujas más pequeñas de color negro que miden múltiplos de  $m^3$ , colocadas sobre los discos con la magnitud de diámetro más pequeña.

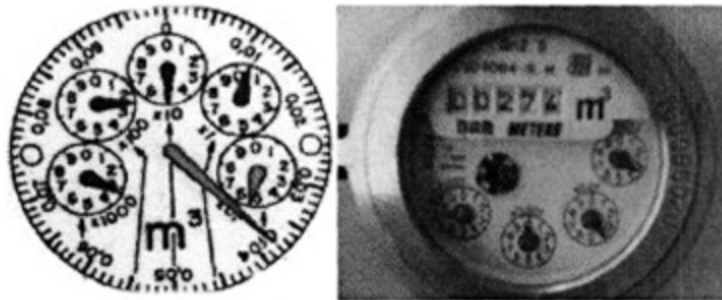


Lámina 4.9 Medidor de registro circular.

En el registro directo de rodillos (lámina 4.10), se lee directamente con el mismo principio que utilizan los tacómetros de los automóviles. La carátula consta de una manecilla central roja que registra litros, el primero de los cuales, el de la derecha, con números rojos indica decalitros, hectolitros y los que siguen de derecha a izquierda unidades y múltiplos de  $m^3$ .

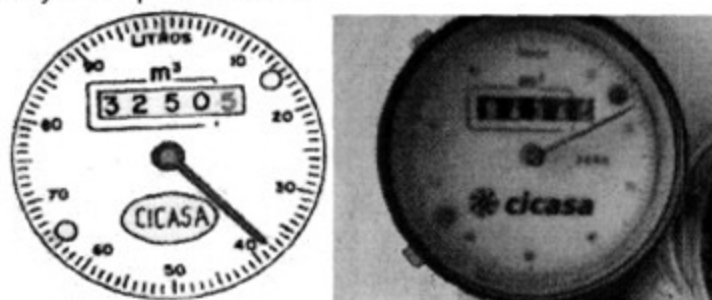


Lámina 4.10 Medidor de registro directo con rodillos.

Mediante este sistema de lectura se facilita la lectura tanto para las personas encargadas de tomarla, como para los usuarios.

#### 4.8 Evaluación de sub y sobre medición.

La sub y sobre medición se refiere a la cantidad de agua registrada por el micromedidor en más o menos el valor real del flujo. Estos valores se determinan verificando una muestra representativa de micromedidores seleccionados aleatoriamente del lugar donde fueron colocados (domicilios dentro de la red estudiada).

Se deberá hacer un censo de los medidores instalados que contengan datos mensuales de consumo y fallas de medición para así generar tablas de estado, que nos sirvan para conocer el comportamiento general de la micromedición en el sistema. Al momento de realizar las tablas de estado se clasifican los medidores por marca, edad de operación y rango de flujo. Esta clasificación se debe a que la

exactitud de un medidor varia notablemente con estos parámetros de la forma siguiente:

1. Marca: la fabricación y diseño del aparato ofrece diferentes comportamientos a causa de la calidad de los materiales de los que está hecho el medidor, buenos acabados (construcción) y la exactitud o calibración del medidor.
2. Rango de flujo: comportamiento del medidor definido por la curva de exactitud del fabricante.
  - Inferior: menos del 5% del gasto nominal.
  - Normal: entre 5% y el 100% del gasto nominal.
  - Superior: más del 100% del gasto nominal.

En dado caso de no contar con las curvas características de exactitud entregadas por el proveedor, el investigador o personal encargado de efectuar el estudio de exactitud de los medidores puede generar sus propias curvas de estado actual, tomando en cuenta que los valores obtenidos ya están siendo afectados por variables externas al medidor como: el tiempo, la corrosión, estado interno del mecanismo y variables hidráulicas (presión), por lo que el resultado no refleja el estado inicial del medidor antes de ser colocado en el domicilio, si no que muestra el estado actual del aparato ya en campo.

“La pérdida total (en valor absoluto) determinada por este procedimiento no es un indicador de la precisión de cada marca de aparatos, si no un medio para estimar volúmenes netos de pérdida por imprecisión de dichos aparatos, se acepta un error del orden del 5% por este concepto en sistemas de países desarrollados” (Leonel O. y Víctor B. IMTA 2001).

Para la obtención de error en el medidor se optó por la selección de dos métodos usados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), los cuales son aplicados a una muestra estratificada (véase punto 4.8.1) del total de medidores y sus resultados son extrapolados a la población general.

#### **4.8.1 Método de estudio estratificado para la selección de muestras aleatorias.**

El método de muestreo que se va a utilizar dentro del cálculo para la selección estratificada en los sistemas de distribución de agua del Fraccionamiento Potosino de Golf<sup>1</sup>, constituye un proceso novedoso y confiable para obtener un valor exacto para la selección de toma domiciliaria. En sí el método tiene como principal función obtener un número representativo aleatorio de un universo de medidores a probar, los cuales serán testados en laboratorio o en campo. El procedimiento

---

<sup>1</sup> Para mayor información acerca del cálculo del estudio estratificado para la selección de muestras aleatorias del Fraccionamiento Potosino de Golf, véase anexo E.



en sí, asegura que los resultados que se obtengan por medio del estudio sean representativos y altamente eficientes.

El método se logra por medio de la aplicación de los siguientes pasos:

- **Primer paso:** sobre un plano de la red de distribución, se trazan estratos (distritos hidrométricos) homogéneos. El número de estratos en que se dividirá el lugar de estudio, está en función del tamaño de la población, de las características físicas de la red y de su clase socioeconómica.

De la experiencia obtenida de la aplicación del método en 15 ciudades de la República Mexicana por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), los parámetros principales a considerar en un levantamiento de muestreos estratificados son:

1. La variación de la presión en la red, no debe de ser mayor de 0.5 kg/cm<sup>2</sup> en dos puntos cualesquiera de la red del estrato.
2. El número de estratos será definido por la población que integra el sector a estudiar como se muestra en el cuadro 4.2. Es importante aclarar, que si la red cuenta con un número inferior de usuarios a los descritos por la tabla, se deberá realizar un acomodo de estratos según las necesidades del operador.

Número de estratos.	Tamaño de la población (en miles).				
	10-50	50-150	150-300	300-700	700-1000
	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 14	16

Cuadro 4.2 Número de estratos según tamaño de la población.  
(Reducción integral de pérdidas de agua potable L. Ochoa, V. Bourquett IMTA 1998.)

3. Se determinará el número de tomas domiciliarias dentro de los diferentes estratos, utilizando registros de usuarios conectados a la red, el listado deberá ser obtenido de la versión más actualizada de la base de datos del organismo operador.
4. Se calcularán los tamaños de las muestras de tomas domiciliarias por medio de las fórmulas 4.1 y 4.2, seleccionando con anticipación los valores de nivel de confianza (Zc) y el error de estimación (d).

$$n_o = \left( \frac{Zc^2}{N * d^2} \right) * \left[ \sum N_i * P_i (100 - P_i) \right] \quad (\text{fórmula 4.1})$$

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} \quad (\text{fórmula 4.2})$$

Donde:

- no = Tamaño estratificado de la muestra para el estudio (valor a encontrar).



- $Z_c$  = Abscisa de distribución normal, para un nivel de confianza dado. (95% por default).

<b>Confianza (%).</b>	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>99.9</b>
<b><math>Z_c</math></b>	<b>1.29</b>	<b>1.96</b>	<b>3.09</b>

Cuadro 4.3 Nivel de confianza

(Reducción integral de pérdidas de agua potable L. Ochoa, V. Bourguett IMTA 1998.)

- $N$  = Número total de tomas domiciliarias en el sistema de distribución.
- $d$  = Error de estimación, en porcentaje (%).
- $N_i$  = Número total de tomas domiciliarias en cada estrato "i".
- $P_i$  = Porcentaje de ocurrencia de fugas en el estrato "i".

Para efectuar la muestra, habrá que mencionar que el estrato (i) deberá de corresponder a zonas de presión homogéneas, y que el error de estimación ( $d$ ), representa la máxima diferencia, entre el porcentaje de pérdidas obtenido en la muestra y el porcentaje esperado. En caso de no contar con estos datos, el valor que se recomienda por parte del IMTA es de un **5%**. Otro valor que tal vez no se tenga a la mano es el porcentaje de fugas ( $P_i$ ); éste se puede obtener de estadísticas de fugas mensuales dentro del sistema ó considerar un **25%** o un **50%** como valor conservador, éstos valores serán ajustados durante el avance del estudio de campo. En dado caso de que la población dentro del estrato sea muy pequeña (30 o menos) se deberá corregir mediante la fórmula 4.2.

Para efectos prácticos en el cuadro 4.4 se dan un conjunto de combinaciones de diferentes tamaños de muestras calculados, para un nivel de confianza de 95% y un error de estimación del 5%.

$(N_i/N)*100.$	Porcentaje de fugas ( $P_f$ ) por estrato.								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0.5-5.0	30	30	30	30	30	30	30	30	30
5.1-10.0	30	30	30	30	32	35	37	48	39
10.1-15.0	30	30	37	43	48	53	56	72	58
15.1-20.0	30	40	49	58	65	70	74	96	77
20.1-25.0	35	50	62	72	81	88	93	120	96
25.1-30.0	41	60	74	86	97	105	111	144	116
30.1-35.0	48	69	86	101	113	123	130	168	135
35.1-40.0	55	78	98	115	129	140	148	192	154
40.1-45.0	62	88	111	130	145	158	167	216	173
45.1-50.0	69	98	123	144	162	175	185	240	193
50.1-55.0	76	108	135	158	178	193	204	264	212
55.1-60.0	83	118	148	173	194	210	222	288	231
60.1-65.0	90	127	160	187	210	228	241	312	250
65.1-70.0	97	137	172	202	226	245	259	336	270
70.1-75.0	104	147	185	216	242	263	278	360	289
75.1-80.0	110	157	197	230	258	280	296	384	308

Cuadro 4.4 Posibles combinaciones de estratos

(Reducción integral de pérdidas de agua potable L. Ochoa, V. Bourguett IMTA 1998.)

- **Segundo paso:** después de obtener el número exacto de tomas domiciliarias que se va a estudiar dentro de los diferentes sectores en los que se dividió la red (distritos hidrométricos), se efectúa la selección de los domicilios de manera aleatoria, seleccionando lotes a mano alzada sobre

un plano del fraccionamiento tomando en cuenta que la selección es al azar. Este procedimiento también puede ser efectuado por cálculos aleatorios de selección en una hoja electrónica programada.

Otro método alternativo, por el cual se pueden seleccionar la toma domiciliaria a estudiar, es mediante los consumos mensuales, tomando en cuenta que en la red existen:

- a) Consumidores principales (consumo alto).
- b) Consumidores intermedios (consumos estándares).
- c) Consumidores mínimos (consumos bajos).

Para que el método sea efectivo, se elegirán un número equitativo de muestras de los tres tipos de consumos existentes, tratando que los domicilios no queden demasiado alejados unos de otros.

Al término de la selección por cualquiera de los dos métodos, se procederá a efectuar un recorrido en campo de todos los domicilios escogidos, observando y anotando las características y el estado de las tomas domiciliarias.

#### 4.8.2 Prueba de exactitud a micromedidores.

Para efectuar las pruebas en los equipos de medición domiciliaria dentro del Fraccionamiento Potosino Golf es necesario realizar pruebas de exactitud en los equipos. Estas pueden elaborarse retirando micromedidores seleccionados de una muestra, para probarlos en un laboratorio que tenga las instalaciones adecuadas, o se pueden efectuar pruebas en campo siempre y cuando se cuente con el equipo apropiado, mano de obra previamente capacitada y que algunas variables hidráulicas sean controladas (consumos dentro de la casa, fugas, presiones, etc).

Las pruebas de precisión de los aparatos se desarrollan como se indica en la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SFCI-94<sup>2</sup>. La exactitud del medidor se realizará comparando el número en la carátula del volumen de agua que pasa por el medidor contra el volumen de la misma cantidad de agua recolectada en un depósito previamente calibrado. La prueba se hará con un número suficiente de gastos que defina completamente el error del aparato. La prueba se repetirá mínimo tres veces para aumentar la confianza en la prueba. El error de exactitud del medidor, expresado en porcentaje (%), se calcula con la fórmula 4.3:

$$E = \left( \frac{V_m - V_p}{V_p} \right) \times 100 \quad (\text{fórmula 4.3})$$

Donde:

---

<sup>2</sup> Véase anexo F. Norma Oficial Mexicana (Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos - Medidores para agua potable fría).

- E = Error de exactitud (+/-), en porcentaje.
- Vm = Volúmen registrado por el medidor (lt).
- Vp = Volúmen del deposito calibrado (lt).

También se puede calcular el error del medidor adecuando la fórmula 4.3 de tal manera que ésta incluya el factor tiempo dentro de las pruebas. Para incluir el tiempo solamente se necesita usar un cronómetro en el instante que se deja pasar el flujo de agua por los micromedidores colocados en la mesa de muestreo. La fórmula 4.3 se modifica para llegar a la fórmula 4.4

$$1. E = \left( \frac{Vm - Vp}{Vp} \right) \times 100$$

$$2. Q = (V \times A) = \left( \frac{Vol}{T} \right)$$

Donde :

Vol = Volúmen (m<sup>3</sup>)

T = Tiempo de inicio prueba (s)

Por lo tanto :

$$3. E = \left( \frac{\frac{Vm}{T} - \frac{Vp}{T}}{\frac{Vp}{T}} \right) \times 100$$

$$4. E = \left( \frac{Qm - Qp}{Qp} \right) \times 100$$

La fórmula con el factor tiempo incluido queda:

$$E = \left( \frac{Qm - Qp}{Qp} \right) \times 100 \quad (\text{fórmula 4.4})$$

Donde:

- E = Error de exactitud (+/-) (%).
- Qm = Gasto registrado por el medidor en el tiempo (t), en m<sup>3</sup>/s.
- Qp = Gasto registrado del depósito calibrado en el tiempo (t), en m<sup>3</sup>/s.

Para efectuar este tipo de pruebas en laboratorio se requiere de una mesa de trabajo que tenga la instalación necesaria para llevar a cabo las pruebas de exactitud a los micromedidores<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Véase anexo G. Características y uso de la mesa de muestreo para la identificación del error de medición en micromedidores.

#### 4.8.2.1 Pruebas de micromedidores en campo.

Los micromedidores instalados en los domicilios con el tiempo sufren de desgaste y deterioro de sus elementos por el funcionamiento y por la acción química del agua (corrosión e incrustación), produciendo deficiencias en la lectura del medidor originando pérdidas de agua por errores de sub o sobre medición.

“La prueba de micromedidores en campo es esencialmente la misma que para los aparatos nuevos, excepto que en lugar de usar un banco de pruebas calibrado, se utiliza una serie de dispositivos manuales portátiles previamente calibrados”. (Leonel O. y Víctor B. IMTA 2001).

Dado a que el tiempo de las pruebas debe de ser un período corto dentro de la investigación y que las cantidades de agua a usar dentro de las pruebas van a ser pequeñas, las pruebas de campo para los medidores se realizan verificando la precisión para uno o dos caudales pequeños de al menos el 5% del gasto nominal, por ejemplo, para un medidor de ½" pulgada de 3 m<sup>3</sup>/h, se prueba con gastos menores de 2.5 lt/min).

Hay que aclarar que este proceso se lleva a cabo así ya que se pretende tener un régimen de seguridad, puesto que para este porcentaje de caudal el error alcanza su valor máximo en la curva de error, como se muestra a continuación :

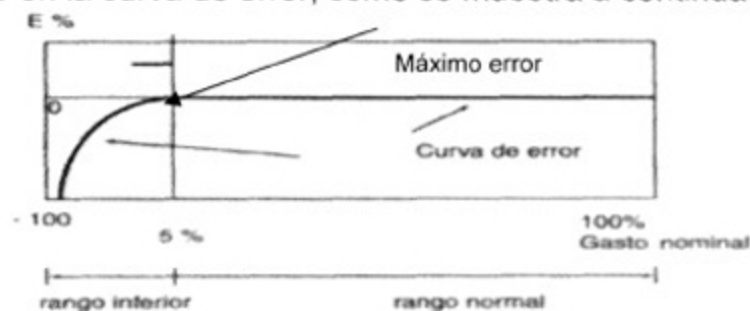


Lámina 4.11 Grafica de curva de error.

Las pruebas de campo de precisión deben ejecutarse con el micromedidor trabajando a presión constante positiva y la válvula de regulación de caudal debe de ubicarse siempre de lado de la descarga del micromedidor.

Otro de los puntos importantes a tomar en cuenta dentro de la realización de estas pruebas consiste en la observación del estado del cuadro donde esta colocado el micromedidor mismo que deberá de estar en buenas condiciones y no presentar fugas, ya que de ser así la prueba no podrá ser significativa.

Otro aspecto crítico aparte de los ya mencionados, para la ejecución de pruebas en campo según los autores del método; es el consumo de agua dentro del

domicilio, ya que antes de efectuar las pruebas es importante revisar que la válvula que controla la entrada de agua al domicilio funcione correctamente y que en el momento de cerrarla no fluya agua dentro del mismo causando variaciones en las pruebas de exactitud, ya que se generarían valores de consumos desfasados, provocando resultados no satisfactorios.

#### 4.8.2.2 Implementación de las pruebas de campo.

La prueba de campo para encontrar la precisión de los micromedidores instalados en domicilios se efectuará atendiendo a las tres partes siguientes:

1. *Calibración de los elementos que conforman el equipo utilizado en las pruebas de campo.*

Todos los dispositivos y equipos utilizados en las pruebas deberán de estar bien calibrados, por lo que antes de iniciar se revisaran los aparatos y sus componentes para cerciorarnos que se encuentren en buen estado. El equipo mínimo requerido para llevar a cabo las pruebas se menciona a continuación:

- Reloj digital: Con precisión de centésima de segundo.
- Recipiente: Será de lámina galvanizada o de plástico rígido, con una capacidad de 20 litros. Este recipiente estará graduado a cada litro o a una unidad previamente seleccionada por el investigador a la que deseé trabajar.
- Probeta graduada: Este elemento constará con aproximaciones de 50 mililitros y deberá de ser de plástico transparente rígido. La capacidad total de la probeta será de 2 litros, de manera que esto permita realizar pruebas de calibración a 1 lt/min y 2 lt/min.
- Dispositivo para calibrar el gasto a 1 lt/min: Este aditamento consta de las siguientes partes (lámina 4.12) :
  - A. 1 Tramo de manguera de 60 a 80 cm.
  - B. 1 Pieza roscada (para acoplar con llave nariz) con empaque de caucho.
  - C. 2 Abrazaderas de manguera.
  - D. 1 Llave de purga.
  - E. 1 Válvula reguladora de flujo de ½ "de cualquier tipo.
  - F. 1 Válvula de esfera de ½" .
  - G. 3 Codos de cobre de 90° de ½" de diámetro.
  - H. 1 Pedazo de tubería de cobre de 1 m de longitud y ½ de diámetro.
  - I. 1 TEE de ½" de cobre.
  - J. 1 Manómetro de glicerina de 2 kg/cm<sup>2</sup>.
  - K. 6 Conectores roscados macho de cobre de ½".

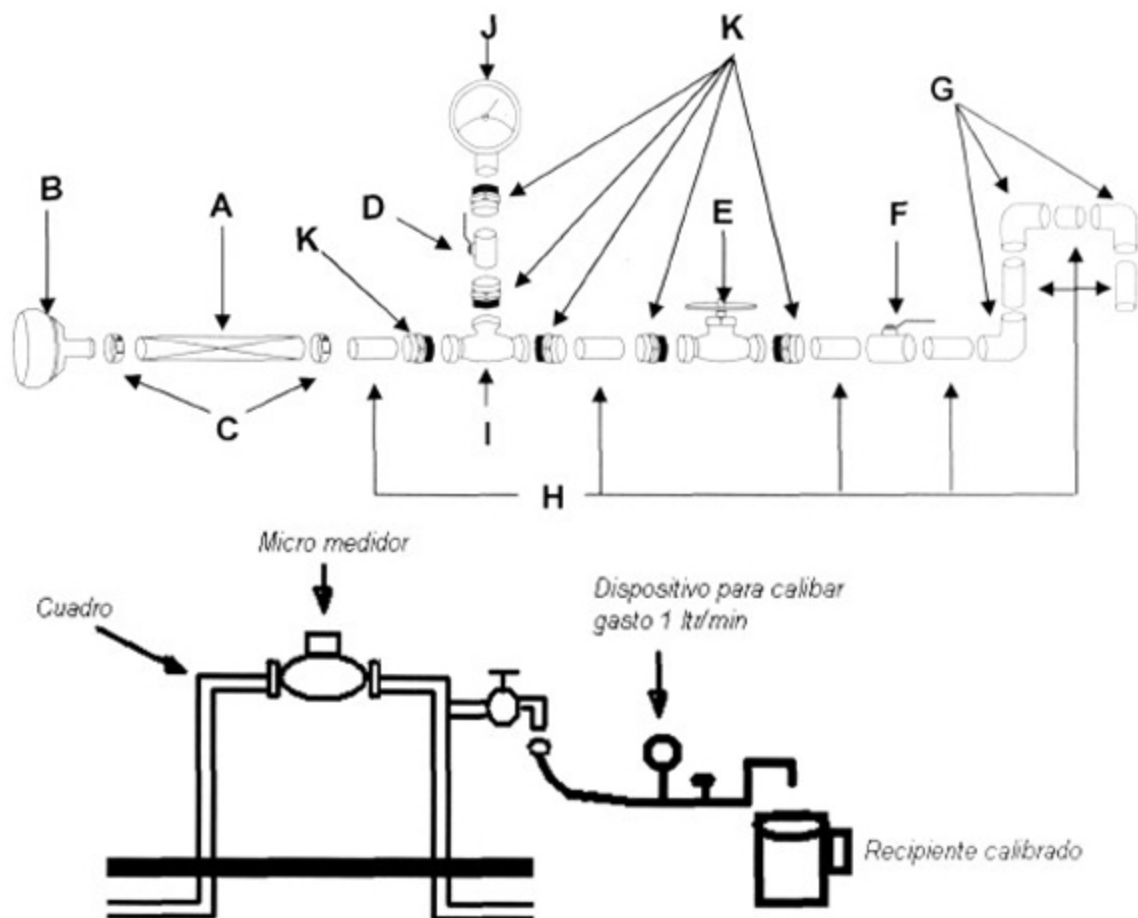


Lámina 4.12 esquema del aparato para medir 1 lt/min.

## 2. Medición de precisión del micromedidor.

La medición de la precisión del micromedidor se efectuará de acuerdo con los pasos siguientes y los resultados de la prueba se anotarán en el formato foliado<sup>4</sup>, para establecer un control en la calidad de las mismas:

1. Se revisa el cuadro para cerciorarse que no existe fuga en ninguno de sus elementos que lo integren.
2. Se cierra la llave nariz y la válvula de paso, instaladas en la toma domiciliaria. Esto con el fin de cortar el suministro de agua al interior del domicilio.
3. Observar si la manecilla del micromedidor esta totalmente detenida, en dado caso de no estarlo esto nos indica que las válvulas de cierre no funcionan correctamente y que está entrando agua al domicilio.
4. Se coloca el dispositivo para calibrar el gasto y abrimos las válvulas, tanto la de cierre como la de nariz.

<sup>4</sup> Véase anexo H .Formato para llenado de datos de pruebas en campo.



5. En el dispositivo de calibración, la válvula de compuerta deberá estar totalmente abierta, mientras que la válvula de globo deberá estar cerrada para no dejar pasar el flujo de agua.
6. Se toma la medición de presión en el manómetro y se apunta en la hoja de control.
7. Se procede a calibrar el gasto a (1 lt/min), abriendo totalmente la válvula de esfera. Se coloca la probeta graduada y se toma el tiempo con un cronómetro. Para lograr calibrar correctamente el dispositivo a el gasto requerido, se manipulara la válvula de compuerta hasta obtener un flujo uniforme que represente la cantidad deseada a aforar.
8. Es importante verificar durante la ejecución de la prueba la presión en el manómetro, ya que una variación entre pruebas de un +/- 5% del valor inicial, anulará la prueba y deberá repetirse.
9. Ya calibrado el dispositivo, se deja fluir el agua hasta que la aguja analógica de la carátula llegue a un valor entero. En este momento se corta el flujo con el cierre de la válvula de esfera.
10. Se realiza la lectura del micromedidor y se anota la hora. A continuación se coloca el recipiente de veinte litros y se comienza a aforar, anotando la hora de inicio.
11. En el momento que se alcancen los veinte litros, se cierra la válvula de esfera y se anota el valor que se muestra en la carátula del micromedidor, se apunta la hora de finalización así como la presión y se realiza de nueva cuenta el experimento.

### 3. *Llenado del formato de la prueba con resultados.*

Todas las operaciones que se lleven a cabo para realizar la prueba , se registraran en la parte del formato correspondiente a "Resultados de la prueba (con recipiente calibrado)" de la siguiente manera:

- a. Se anotará la lectura inicial del medidor (En el momento que comienza a caer agua en el recipiente).
- b. Se anota la lectura final del medidor (en el momento en que el agua llega a la marca de los 20 lt dentro del recipiente).
- c. Se calcula el volúmen registrado por el medidor, que es igual a la diferencia entre la lectura final menos la lectura inicial.
- d. Se anota el volúmen del recipiente.

#### **4.8.2.3 Implementación de las pruebas de campo en el Fraccionamiento Potosino Golf.**

Las pruebas de campo dentro del Fraccionamiento Potosino Golf no se llevaron a cabo en su totalidad, esto a causa de las condiciones que se presentaron en los puntos seleccionados dentro de un estudio estratificado de medidores domiciliarios. Los principales problemas que impidieron la ejecución de el estudio de campo se mencionan a continuación:

- Algunos cuadros que se habían seleccionado para el estudio, no contaban con una válvula de cierre en buenas condiciones.
- Algunos cuadros presentaban fugas antes de la válvula de cierre.
- Muchos de los cuadros eran de difícil acceso y estaban completamente empotrados en monas de concreto.
- En algunos cuadros no se contaba con la llave de nariz.
- Al momento de cerrar la válvula de paso en el cuadro, el agua seguía fluyendo dentro del domicilio.
- Los tiempos para realizar las pruebas eran de períodos prolongados y solamente se podían evaluar 5 micromedidores al día, por lo que el tiempo de muestreo de todos los medidores iba a exceder el tiempo límite para este apartado dentro del proyecto de agua no contabilizada (A.N.C).
- A causa de los tiempos y del estado de los cuadros dentro del fraccionamiento, se optó por la prueba de micromedidores mediante la construcción de una mesa de muestreo.

#### 4.8.2.3.1 Resultados de las pruebas en campo a medidores en los domicilios seleccionados.

A continuación se presentan algunos resultados de pruebas a micromedidores que reunieron las características necesarias requeridas para efectuar una correcta implementación del método de medición en campo dentro del Fraccionamiento Potosino Golf.

Hay que recordar que dada la dificultad y restricción para la realización de estas pruebas, los resultados aquí mostrados en este apartado, no se tomaron en cuenta para efectuar futuros cálculos dentro de la investigación, ya que se seleccionó otro método para obtener los resultados finales.

En la cuadro 4.5 se muestran los domicilios que se seleccionaron para la prueba de campo, así como las características y estado del medidor empotrado en su cuadro.

N° lote.	N° casa.	Nombre usuario.	Nombre calle.	Medidor.	Diámetro medidor. (in)	Edad medidor. (años)
415	664	Sra. Rosalina Arreola	Paseo Campestre	Badger Meter	3¼'	3
621	129	Sr. Ricardo Ponce	Paseo Campestre	Badger Meter	3¼'	3
626	109	Sra. Claudia Reynosa	Paseo Campestre	Cicasa	3¼'	10
370	124	Sr. Federico Garza	Paseo Campestre	Cicasa	3¼'	10
383	453 A	Sra. Martha Abud	Paseo Campestre	Cicasa	3¼'	10

Cuadro 4.5 Obtención de los datos generales del domicilio donde se realizaran pruebas al medidor.

Una vez obtenidos las características, se procede a calibrar el medidor tomando en cuenta el método mencionado en el punto 4.8.2.2 Un punto importante al momento de realizar las pruebas y que no debe faltar en nuestro registro, es el de

la hora de inicio y finalización de la prueba de aforo, tal y como se muestra en el cuadro 4.6.(m<sup>3</sup>)

N° lote	N° casa	prueba 1 (tiempo)	prueba 2 (tiempo)
415	664	8:47	9:20
621	129	08:24	09:14
626	109	09:00	09:35
370	124	11:06	11:25
383	453 A	13:24	13:45

Cuadro 4.6 Hora inicial y final tomada del medidor al realizar las pruebas.

Se deberá de tener especial cuidado al tomar los datos de la carátula del medidor una vez que se haya terminado con el llenado del recipiente, ya que una equivocación al momento de obtener datos puede generar que la prueba sea errónea y poco confiable. Los valores de volúmen deberán acomodarse como se muestra en la cuadro 4.7.

N° lote.	N° casa.	lectura inicial (Vi1). (m <sup>3</sup> )	lectura final (Vf1). (m <sup>3</sup> )	lectura inicial 2 (Vi2). (m <sup>3</sup> )	lectura final 2 (Vf2). (m <sup>3</sup> )
415	664	674.1042	674.116	-----	-----
621	129	250.1097	250.1181	250.1164	250.1265
626	109	2590.471	2590.479	2590.479	2590.484
370	124	1144.64	1144.66	1144.655	1144.668
383	453 A	1850.248	1850.265	1850.265	1850.283

Cuadro 4.7 Toma de lecturas del medidor ya calibrado.

Por último se obtienen los resultados de sub o sobre medición por medio de la fórmula de error de exactitud, mostrada en el punto 4.8.2. Los resultados deberán ser plasmados a modo de porcentajes (%) para lograr su correcta interpretación, como se muestra en la cuadro 4.8.

Tamaño tambo. (lt)	$((Vf1-Vi1)*1000).$ (lt)	$((Vf2-Vi2)*1000).$ (lt)	Prueba 1 $((Vm-Vp)/Vp)*100.$ (%)	Prueba 2 $((Vm-Vp)/Vp)*100.$ (%)
11	11.8	-----	7.27	-----
10	8.4	10.1	(-16) error accidental	1
8	8	5	-2.36E-09	-37.5
15	15	13	-8.48E-10	-13.33
19	17	18	-10.52	-5.26

Cuadro 4.8 Aplicación de la fórmula de exactitud del medidor.

Ya conocidos los resultados deberemos de interpretarlos acatando a los principios propuestos por los fabricantes de medidores, que mencionan que un medidor con una vida útil avanzada, trabajará de forma muy distinta a un medidor que tiene una vida útil menor. Para que un medidor se encuentre funcionando adecuadamente, el error provocado por el equipo y accidente humano en los procesos de prueba (error accidental) deben de ser en rigor inferior al 1% y para el error del medidor entre el -5% al 5% para pruebas con gastos de 1 lt/min, aquellos medidores que se encuentren afuera de estos rangos, no necesariamente serán una perdida, ya que existen medidores que pueden estar trabajando en rangos mayores al 5% (sobre medición), esto a causa de la edad (medidores nuevos) o mala selección del medidor para el punto de control.

### **4.8.3 Prueba de micromedidores en laboratorio.**

En virtud de las condiciones negativas presentadas al momento de realizar las pruebas de campo, se optó por la construcción de una mesa de muestreo en laboratorio con el fin de evaluar medidores obtenidos de una muestra estratificada aleatoria. Este procedimiento a diferencia de la prueba de campo, produjo resultados en menor tiempo y con un mayor nivel de exactitud.

#### **4.8.3.1 Requerimientos comunes para la realización de la prueba de error de medición en laboratorio.**

#### **4.8.3.2 Requisitos preliminares.**

Antes de comenzar con las pruebas de laboratorio, se planteó un programa, en el cual se describió de forma detallada la prueba de exactitud a micromedidores. El programa incluyó los niveles necesarios de aceptabilidad, los pasos para obtener datos y la manera en como serán interpretados los resultados de las pruebas.

#### **4.8.3.3 Mesa de pruebas.**

Para poder llevar a cabo las pruebas en laboratorio, es necesario contar con todos los instrumentos que faciliten la obtención de datos y con esto entender el funcionamiento actual de los micromedidores in situ. Para esto se construyó una mesa de pruebas. Los factores de regulación, la descripción de las partes de una mesa de pruebas y los esquemas de la misma se presentan de una forma detallada en el anexo G.

#### **4.8.3.4 Estudio estratificado aleatorio para la selección de medidores.**

A fin de obtener una muestra representativa y correcta de un universo de medidores que serán probados en laboratorio, se realizó un estudio estratificado aleatorio. Mediante este método se retiraron micromedidores de distintos tipos, clases y edades dentro del fraccionamiento. La descripción total de este punto se detalla en el anexo E.

#### **4.8.3.5 Metodología para la realización de la prueba de error de medición en laboratorio.**

Tal y como se mencionó en el punto 4.8.2 para estas pruebas se va a utilizar la fórmula de error de exactitud del medidor. La metodología para la obtención de datos, la operación y las ecuaciones usadas para la calibración de la mesa se presentan en su totalidad en el anexo G.

#### 4.8.3.6 Análisis de errores.

En este apartado se definen los tres errores más recurrentes que se pueden originar al momento de ejecutar pruebas de laboratorio a micromedidores en una mesa de pruebas, estos errores deberán de ser constantemente controlados, ya que su interacción con los datos obtenidos de las pruebas son de tal magnitud que pueden producir incrementos en los valores a razón de 0.5%, hasta 1% de error agregado a los resultados y son:

Error accidental.- Es el error producido por las acciones humanas.

“El error accidental se disminuye haciendo con mucho cuidado las pruebas y desechando las lecturas dudosas o mal tomadas, por lo que se recomienda que al tomar lecturas en los medidores se realicen con sumo cuidado y responsabilidad para garantizar su valides”. (L. Ochoa, V. Bourguett IMTA 1998).

Error sistemático.- Ocasionado por equipos mal calibrados.

“El error sistemático se reduce seleccionando y calibrando apropiadamente los equipos e instrumentos de medición”. (L. Ochoa, V. Bourguett IMTA 1998).

Tomando en cuenta lo anterior a efecto de disminuir el error en las muestras, se implementaron una serie de puntos a revisar cada vez que se iniciaban las pruebas.

- Chequeo de conexiones en tuberías para evitar fugas.
- Revisión de las uniones y paredes del tanque de acrílico, para evitar fugas.
- Revisión del cronómetro, para evitar malas aproximaciones en la lectura.
- Chequeo de válvulas, para evitar tiempos de maniobra innecesarios.
- Chequeo de manómetros.
- Chequeo de la temperatura en el agua, para evitar variaciones de medición en los micromedidores.

Error de exactitud.- por variaciones e inestabilidades del proceso físico

“El error de exactitud se disminuye repitiendo varias veces la misma prueba en condiciones iguales”. (L. Ochoa, V. Bourguett IMTA 1998).

Para las pruebas se usaron tres tipos de volúmenes con tres tipos de gastos los cuales se distribuyeron de la siguiente manera<sup>5</sup>:

---

<sup>5</sup> Véase anexo G. Características y uso de la mesa de muestreo para la identificación de el error de medición en micromedidores.



Gasto de las pruebas.	Llenado recipiente para obtener gasto (s).	Número de pruebas por medidor.	Volúmen tanque de aforo (lt).
<b>1er prueba</b>			
Qn = 41.67 lt/s	2.87 s	3	120 lt aprox (+/-)
<b>2da prueba</b>			
0.5 x Qn = 20 lt/s	6.06 s	3	60 lt aprox (+/-)
<b>3er prueba</b>			
0.3 x Qn = 12.5 lt/s	9.60 s	3	30 lt aprox (+/-)

Cuadro G.2 Valores de gasto, tiempo y volúmen que se usaron en las pruebas a micro medidores del Fraccionamiento Potosino Golf.

#### 4.8.4 Ejemplo practico de prueba de exactitud a micromedidores.

A modo de ejemplo y para entender mejor el procedimiento, a continuación se presenta el desarrollo que se siguió para obtener los porcentajes de error de los micromedidores probados en laboratorio; para esto se utilizó una muestra de 4 medidores seleccionados al azar dentro de las tablas de datos (cuadro 4.9).

1. En un formato en blanco se escriben las características del medidor anotando su clave, tipo, # de registro, clave con la que se identifica a la calle, nombre de la calle sobre la que esta el domicilio al que pertenece el medidor, # de la casa, # de lote, nombre del usuario dueño del domicilio, # de foto del medidor, fecha de retiro, fecha de prueba y fecha de entrega.

#### Tanda N°19<sup>6</sup>

Sector.	# Medidor.			Domicilio.			
	Clave medidor	Tipo.	# Registro	Clave calle	Nombre calle.	# Casa	# Lote
Rebombeo	bm	Badger Meter	20880895	pc	Paseo Campestre	296	28
Rebombeo	bm	Badger Meter	20880959	Spc	2do Paseo Campestre	380	609
Rebombeo	bm	Badger Meter	40315746	pc	Paseo Campestre	213	630
Rebombeo	bm	Badger Meter	40315569	pc	Paseo Campestre	352	42

Domicilio.			Fecha retiro.	Fecha prueba.	Fecha entrega.
# Casa	# Lote	Nombre usuario.			
296	28	Sr. José Galán Palau	3 y 7/03/2006	08/03/2006	09/03/2006
380	609	Sra. Ma. Roció Nieto de Mendizábal	3 y 7/03/2006	08/03/2006	09/03/2006
213	630	Dr. Manuel Arturo Hernández López	3 y 7/03/2006	08/03/2006	09/03/2006
352	42	Sr. José Alfonso Herrera Guerra	3 y 7/03/2006	08/03/2006	09/03/2006

Cuadro 4.9 Datos de medidores probados en laboratorio, tanda 19.

2. Se llena el tabla de datos con los resultados de las pruebas en la mesa de muestreo, tomando en cuenta los cuatro principales rubros: valores de volúmen obtenidos en los medidores, volúmenes de tanque de aforo, presiones y tiempo de prueba (cuadro 4.10). El formato para la tabla se presenta en el anexo G.



**Tanda N°19 (prueba con Qn = 41.67 (lt/s)).**

# Registro Medidor.	Medición(i)	Medición(f)	V(i).	V(f).	P(i).	P(f).	Rot.	Tiempo.			
	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(l/min)	min	seg	milli seg	tiempo final
20880895	1037.1882	1037.2801	0	95	1.8	1.8	no	2	15	3	135
20880959	1353.2031	1353.2974	0	95	1.2	1.2	no	Prueba #1 Qn = 41.67 (lt/s).			
40315746	651.1804	651.2731	0	95	0.9	0.9	no				
40315569	1233.9217	1234.0155	0	95	0.65	0.65	no				
					0.4	0.4					
20880895	1037.2801	1037.3751	0	98	1.8	1.8	no	2	20	3	140
20880959	1353.2974	1353.3952	0	98	1.2	1.2	no	Prueba #1 Qn = 41.67 (lt/s).			
40315746	651.2731	651.3692	0	98	0.9	0.9	no				
40315569	1234.0155	1234.1125	0	98	0.65	0.65	no				
					0.4	0.4					
20880895	1037.3751	1037.4668	0	94.6	1.8	1.8	no	2	15	3	135
20880959	1353.3952	1353.4894	0	94.6	1.2	1.2	no	Prueba #1 Qn = 41.67 (lt/s).			
40315746	651.3692	651.4619	0	94.6	0.9	0.9	no				
40315569	1234.1125	1234.2061	0	94.6	0.65	0.65	no				
					0.4	0.4					

Cuadro 4.10 Formato de la tabla para los datos de la tanda 19.

Donde:

- Medición (i) = El valor numérico que aparece en la carátula del medidor antes de iniciar con el aforo de la prueba.
- Medición (f) = El valor numérico que aparece en la carátula del medidor después de terminar con el aforo de la prueba.
- V (i) = Volúmen inicial del tanque de aforo, deberá de estar vacío al iniciar con la prueba (m<sup>3</sup>).
- V (f) = Volúmen final del tanque de aforo al terminar la prueba (m<sup>3</sup>).
- P (i) = Presión inicial a la que trabajan los manómetros después de calibrar el gasto y antes de empezar la prueba (kg/cm<sup>2</sup>).
- P (f) = Presión final a la que trabajan los manómetros después de terminar la prueba (kg/cm<sup>2</sup>).
- Rot = Valor de gasto al cual se calibró el sistema (lt/min). En la prueba de Qn = 41.67 lt/s no se muestra un valor, ya que para este gasto el rota metro no alcanza en su escala.
- Tiempo = Es el valor del tiempo que dura la prueba, este dato se obtuvo con un cronómetro con aproximación de milésima de segundo, por lo que se realizó una conversión para dejar el tiempo en un valor entero.

Hay que recordar que para encontrar el valor del volúmen del tanque V(f) se utilizó una ecuación en función de niveles (alturas) del agua, los valores de alturas también deben de ser anotados dentro de la tabla de datos como se muestra a continuación.

<b>Alturas (nivel agua tanque).</b>	
<b>Gasto ISO (<math>Q_n = 41.67</math> (lt/s)).</b>	Prueba 1 = 57.5 cm
	Prueba 2 = 59.0 cm
	Prueba 3 = 57.3 cm

Cuadro 4.11 Valores de altura tanque de aforo de la tanda 19.

Este procedimiento se realizó para las tres pruebas a las que fueron sometidos los micromedidores, como se muestra en la cuadro 4.12

<b>Pruebas con gasto ISO</b>		
<b>1er prueba</b> $Q_n = 41.67$ lt/s.	<b>2 da prueba</b> $0.5 \times Q_n = 20$ lt/s.	<b>3er prueba</b> $0.3 \times Q_n = 12.5$ lt/s.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtención de las características de los micromedidores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtención de las características de los micromedidores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtención de las características de los micromedidores.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Calibración de la mesa con los medidores instalados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calibración de la mesa con los medidores instalados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calibración de la mesa con los medidores instalados</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtención de los resultados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtención de los resultados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtención de los resultados.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cada prueba se repite 3 veces, después se recalibra la mesa para pasar al siguiente gasto.</li> </ul>		

Cuadro 4.12 Pruebas ISO a las que serán sometido los medidores.

- Una vez que se tienen los datos de las pruebas se pasan a una hoja de cálculo electrónico para obtener los resultados del porcentaje de error de medición (fórmula 4.4). Lo primero que se calcula es el volumen registrado por el medidor en litros ( $V_m$ ), este se obtiene al restar el valor numérico que aparece en la carátula del medidor al inicio de la prueba, menos el valor numérico que aparece en la carátula del medidor después de terminar con la prueba  $V_m = M(f) - M(i)$ . Como el valor obtenido se encuentra en  $m^3$  se realiza una conversión para transformarlo en litros  $V_m = (M(f) - M(i)) \times 1000$  esto se hace para poder aplicar la fórmula 4.4 ya que esta en función de gastos ( $Gasto = Volúmen / tiempo$  (lt/seg)).

Para calcular el gasto registrado en el depósito se usa el valor del volumen del tanque ( $V_f$ ) y se divide entre el tiempo que duró la prueba ( $t$ ), con ambos valores tanto el gasto del medidor ( $Q_m$ ) y el gasto del depósito ( $Q_p$ ) podemos calcular el porcentaje de error de medición (cuadro 4.13).

### Tanda N°19 (prueba con Qn = 41.67 lt/s)

Prueba	#	Medidor.	$V_m = M(f) - M(o).$	$V_m = M(f) - M(i).$	Gasto medidor.	Gasto tanque.	Error de medición.
		# registro	(m <sup>3</sup> )	(lt)	(lt/s)	(lt/s)	(%)
#1	1	20880895	0.091	91.9	0.680	0.703	-3.26
	2	20880959	0.094	94.3	0.698	0.703	-0.73
	3	40315746	0.092	92.7	0.686	0.703	-2.42
	4	40315569	0.093	93.8	0.694	0.703	-1.26
#2	1	20880895	0.095	95	0.678	0.700	-3.06
	2	20880959	0.097	97.8	0.698	0.700	-0.20
	3	40315746	0.096	96.1	0.686	0.700	-1.93
	4	40315569	0.097	97	0.692	0.700	-1.02
#3	1	20880895	0.091	91.7	0.679	0.700	-3.06
	2	20880959	0.094	94.2	0.697	0.700	-0.42
	3	40315746	0.092	92.7	0.686	0.700	-2.00
	4	40315569	0.093	93.6	0.693	0.700	-1.05

Cuadro 4.13 Resultados de prueba.

- Los resultados del porcentaje de error de medición se colocan en una tabla personalizada para cada medidor, esto con el fin de agilizar el uso posterior de los datos de forma individual como se muestra en la cuadro 4.10.

### Tanda N°19

<b>Marca medidor</b>	Badger Meter
<b>Sector</b>	rebombio
<b># Registro</b>	20880895
<b># Casa</b>	296
<b># Lote</b>	28
<b>Nombre usuario</b>	Sr. José Galán Palau

Tipo de prueba ISO.	# Prueba.	Tiempo.	Gasto medidor.	Gasto aforado.	Error de medición.
		(s)	(lt/s)	(lt/s)	(%)
Qn = 41.67 (lt/s).	1.1	135	0.680740741	0.703703704	-3.26
	1.2	140	0.678571429	0.7	-3.06
	1.3	135	0.679259259	0.700740741	-3.06
Qn = 20 (lt/s).	2.1	204	0.307352941	0.319607843	-3.83
	2.2	204	0.306862745	0.318627451	-3.69
	2.3	204	0.304901961	0.316666667	-3.71
Qn = 12.5 (lt/s).	3.1	167	0.213772455	0.226347305	-5.55
	3.2	167	0.213173653	0.225149701	-5.31
	3.3	167	0.211976048	0.225149701	-5.85

Cuadro 4.14 Datos individuales por medidor.

- Para aplicar los errores de medición de todos los aparatos analizados en laboratorio, se implementó un método que relacionó las características de los medidores probados con los medidores en el fraccionamiento, esto se logró mediante la clasificación de todos los medidores de acuerdo a su marca y edad de uso. Para poder acomodar los medidores por edades se requirió utilizar los valores de consumo mensual por domicilio durante el año del 2004.

A continuación se muestra un ejemplo del cálculo de edad con un medidor probado en laboratorio. Para poder continuar con el seguimiento se prefirió usar el medidor Badger Meter analizado anteriormente.

Se calcula el consumo anual total (cat) obtenido de la suma de los consumos mensuales (cuadro 4.15).

Facturación por rebombeo 2004 (# registro medidor 20880895) (m <sup>3</sup> )													
Lote	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma consumo anual (cat).
27(A)	51	29	35	38	45	71	52	35	10	27	4	41	438

Cuadro 4.15 Datos de consumo para el medidor Badger Meter en (m<sup>3</sup>).

Se calcula un promedio de consumo (Pc) dividiendo el consumo anual total entre el número de meses; para que este valor sea más fácil de usar se redondea a la unidad superior (fórmula 4.5).

$$Pc = \left( \frac{cat}{12 \text{ meses}} \right) \text{ (fórmula 4.5)}$$

Para obtener los meses en uso (Mu), se usa el último valor anotado de la carátula del medidor en el mes de diciembre dividido entre el promedio redondeado de consumo (fórmula 4.6).

$$Mu = \left( \frac{\text{último valor en la carátula}}{Pcr} \right) \text{ (fórmula 4.6)}$$

Para obtener los años en uso (Au), el valor de meses en uso se divide entre 12 meses; para que este valor sea más fácil de usar se redondea a la unidad superior (fórmula 4.7).

Se recomienda que se le sume a este último valor 2 años, ya que muchos de los resultados podrían estar con valores decimales muy pequeños, lo cual dificultaría las operaciones.

$$Au = \left( \frac{Mu}{12} \right) + 2 \text{ (fórmula 4.7)}$$

Cálculo de la edad del medidor probado en laboratorio.							
LOTE	Promedio (Pc) (m <sup>3</sup> ).	Redondeado (Pcr) (m <sup>3</sup> ).	Último valor en carátula Dic 2004.	Meses en uso (Mu).	Años de uso (Au).	Redondeado (Aur) (años)	Tipo Micromedidor.
27(A)	36.5	37	387	10.45	2.87	3	Badger Meter

Cuadro 4.16 Cálculo de edad del medidor.

Este paso se realizó para todos los medidores que se encuentran dentro del sector en estudio.

6. Una vez que se obtuvieron las edades de todos los medidores, éstos se deben de organizar en tablas según su marca y edad (cuadro 4.17).

Medidores Organizados por Marca y Edad.						
Medidores Badger Meter.						
Edad.	Marca.	# Registro.	Clave calle.	Nombre calle.	# Casa.	Lote.
0	Badger Meter	40315562	pc	Paseo Campestre	244	12
0	Badger Meter	40315569	pc	Paseo Campestre	352	42
0	Badger Meter	20880956	pa	Paseo Alto	237	160
0	Badger Meter	40315687	pc	Paseo Campestre	424	480
2	Badger Meter	4031556858	pc	Paseo Campestre	212	4
2	Badger Meter	20880955	par	Paseo de las Arboledas	173	144
2	Badger Meter	40315744	pr	Paseo del Río	200	317
2	Badger Meter	20881046	pc	Paseo Campestre	592	438
2	Badger Meter	20881044	pc	Paseo Campestre	592	438(A)
2	Badger Meter	40315746	pc	Paseo Campestre	213	630
3	Badger Meter	10800543	pc	Paseo Campestre	268	21
3	Badger Meter	20880953	pl	Paseo del Lago	340	71
3	Badger Meter	10800544	pr	Paseo del Río	141	347
3	Badger Meter	20881062	pc	Paseo Campestre	132	368
3	Badger Meter	10802469	pc	Paseo Campestre	688	408
3	Badger Meter	20881042	pc	Paseo Campestre	668	413
3	Badger Meter	20880893	pc	Paseo Campestre	628	429
3	Badger Meter	108005442	pc	Paseo Campestre	488	464
3	Badger Meter	20881067	pc	Paseo Campestre	440	476
3	Badger Meter	20880954	pc	Paseo Campestre	351	492
3	Badger Meter	20880959	Spc	Segundo Paseo Campestre	380	609
3	Badger Meter	20880895	pc	Paseo Campestre	296	27(A)
4	Badger Meter	20880898	pr	Paseo del Río	189	335
4	Badger Meter	20880958	pc	Paseo Campestre	552	448
6	Badger Meter	20881063	pc	Paseo Campestre	650	1Q(A)
9	Badger Meter	20880891	pc	Paseo Campestre	406	3Z
12	Badger Meter	40315750	par	Paseo de las Arboledas	245	162

Cuadro 4.17 Medidores organizados por marca y edad.

7. Para trasladar el valor del error de los medidores analizados en laboratorio se requirió multiplicar el porcentaje de error de medición obtenido en laboratorio por los consumos mensuales de los medidores que no fueron probados.

$$(\text{Consumo mensual medidor}) + \left( \frac{(\pm)\% \text{ de error}}{100} \right) \times (\text{consumo mensual medidor})$$

Para esto se requirió multiplicar todos y cada uno de los porcentajes de error de medición de cada medidor con cierta edad y cierto tipo, por todos los medidores no probados con la misma edad y de la misma marca que la del medidor analizado.

Datos del medidor seleccionado.								
# Clave.	Edad.	Marca.	# Registro.	# Casa.	Lote.			
98	3	Badger Meter	20880895	296	27(A)			
Qn = 41.67 (lt/s).			0.5*Qn = 20 (lt/s).			0.3*Qn = 12.5 (lt/s).		
Prueba # 1	Prueba # 2	Prueba # 3	Prueba # 1	Prueba # 2	Prueba # 3	Prueba # 1	Prueba # 2	Prueba # 3
3.26	3.06	3.06	3.83	3.69	3.71	5.55	5.31	5.85

Cuadro 4.18 Datos del aparato analizado en laboratorio.



Tomamos el porcentaje de error de la *prueba #1* para el gasto ISO de  $Q_n = 41.67(l/s)$  con un valor de 3.26 y lo multiplicamos por todos los consumos mensuales de un medidor durante el año del 2003, con las mismas características de marca y edad que la del medidor probado en laboratorio (cuadro 4.19).

$$44 + ((0.03263157) \times (44)) = 45.43$$

Ejemplo:  $59 + ((0.03263157) \times (59)) = 60.92$

$$61 + ((0.03263157) \times (61)) = 62.99 \text{ etc}$$

Sector	# Medidor.		Domicilio.				
	Clave única medidor.	Tipo.	Usuario.	Clave Calle.	Nombre calle.	# Casa.	# Lote.
Rebombeo	124	Badger Meter	Sra. María de la Luz	pc	Paseo Campestre	133	620

Facturación por el sector de gravedad 2003 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	44	59	61	62	55	48	60	48	47	49	63	62

Cuadro 4.19 Medidor del fraccionamiento con las misma edad y marca que el medidor probado en laboratorio.

Una vez aplicado el porcentaje de error de medición a los consumos mensuales, podemos ver que existe un cambio con respecto a los valores originales de consumo (cuadro 4.20), que se denomina como traslado de condiciones de laboratorio a campo.

Consumo modificado con porcentaje de error, $Q = 3.26$ año 2003 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	45.435	60.925	62.990	64.023	56.794	49.566	61.957	49.566	48.533	50.598	65.055	64.023

Cuadro 4.20 Medidor del fraccionamiento con los consumos modificados con el %de error de medición.

- El procedimiento se repite hasta completar de multiplicar todas las pruebas de los distintos gastos ISO a todos los medidores donde se realiza el estudio.
- Una vez terminadas las multiplicaciones de los errores por los valores de consumo de todos los domicilios dentro del fraccionamiento, se procede a realizar un promedio de errores. Este promedio se realiza para disminuir la cantidad de datos a utilizar y para estandarizar a un valor medio los errores de consumo. Para entender el procedimiento tomaremos como ejemplo los valores de los medidores Badger Meter del lote # 620 que tiene una edad de 3 años, para así continuar con la misma línea de datos.



Qn = 41.67 (lts/s).			0.5*Qn = 20 (lts/s).			0.3*Qn = 12.5 (lts/s).		
Prueba # 1	Prueba # 2	Prueba # 3	Prueba # 1	Prueba # 2	Prueba # 3	Prueba # 1	Prueba # 2	Prueba # 3
2.73	2.67	2.80	2.74	2.29	3.97	5.52	5.18	5.69
-0.45	-0.45	-0.46	1.14	1.19	1.35	5.02	4.04	3.47
2.85	2.95	2.90	3.28	3.39	3.27	5.34	5.23	6.27
0.66	0.67	0.59	0.16	0.18	0.18	-1.92	-2.00	-2.01
1.77	1.55	1.55	1.28	1.3	1.28	-1.33	-1.32	-1.32
-0.88	-0.88	-0.89	-1.18	-1.17	-1.17	-1.33	-1.32	-1.32
0.22	0.2	0.24	15.00	14.5	14.80	-1.62	-1.59	-1.62
0.60	0.42	0.41	1.84	1.89	1.79	4.94	4.75	4.52
0.71	0.47	0.18	1.98	1.88	1.70	4.70	4.38	4.12
-1.08	-1.91	-1.08	1.54	1.13	1.45	4.07	3.77	3.40
0.73	0.20	0.42	1.84	2.00	1.54	3.17	3.45	3.98
<b>3.26</b>	<b>3.06</b>	<b>3.06</b>	<b>3.83</b>	<b>3.69</b>	<b>3.71</b>	<b>5.55</b>	<b>5.31</b>	<b>5.85</b>

Cuadro 4.21 Datos de porcentaje de error para medidores Badger Meter con edad de 3 años.

### Qn = 41.67 (lt/s).

Consumo modificados con porcentaje de error = 3.26 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	45.435	60.925	62.990	64.023	56.794	49.566	61.957	49.566	48.533	50.598	65.055	64.023

Consumo modificados con porcentaje de error = 3.06 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	45.346	60.806	62.867	63.897	56.683	49.469	61.836	49.469	48.438	50.5	64.928	63.897

Consumo modificados con porcentaje de error = 3.06 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	45.348	60.808	62.869	63.900	56.686	49.471	61.839	49.471	48.440	50.502	64.931	63.900

### 0.5\*Qn = 20 (lt/s).

Consumo modificados con porcentaje de error = 3.83 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	45.687	61.262	63.338	64.377	57.108	49.840	62.300	49.840	48.802	50.878	65.415	64.377

Consumo modificados con porcentaje de error = 3.69 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	45.624	61.178	63.252	64.289	57.030	49.772	62.215	49.772	48.735	50.809	65.326	64.289

Consumo modificados con porcentaje de error = 3.71 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	45.634	61.191	63.266	64.303	57.043	49.783	62.229	49.783	48.746	50.820	65.340	64.303

### 0.3\*Qn = 12.5 (lt/s).

Consumo modificados con porcentaje de error = 5.55 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	46.444	62.277	64.388	65.444	58.055	50.666	63.333	50.666	49.611	51.722	66.555	65.444

Consumo modificados con porcentaje de error = 5.31 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	46.340	62.138	64.244	65.297	57.925	50.553	63.191	50.553	49.500	51.606	66.351	65.297

Consumo modificados con porcentaje de error = 5.85 (m <sup>3</sup> ).												
# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
620	46.574	62.452	64.569	65.627	58.218	50.808	63.510	50.808	49.750	51.867	66.686	65.627

Cuadro 4.22 Datos de porcentaje de error aplicado a el consumo del lote #620 para medidores Badger Meter con edad de 3 años.

El paso a seguir es la obtención del promedio por cada una de las pruebas por cada mes del año.

Ejemplo:  
(solo para el mes de  
Febrero).

Promedio de pruebas con gasto  $Q_n = 41.67$  (lt/s).

$$\bullet \text{Feb} = \frac{(45.435 + 45.346 + 45.348)}{3} = 45.38$$

Promedio de pruebas con gasto  $0.5 * Q_n = 20$  (lt/s).

$$\bullet \text{Feb} = \frac{(45.687 + 45.624 + 45.634)}{3} = 45.65$$

Promedio de pruebas con gasto  $0.3 * Q_n = 12.5$  (lt/s).

$$\bullet \text{Feb} = \frac{(46.444 + 46.340 + 46.574)}{3} = 46.45$$

Esto mismo se ejecuta para todos los consumos de cada mes, hasta obtener las tablas promedio de errores aplicados a consumos domiciliarios por cada tipo de prueba como se muestra a continuación:

**Medidores Badger Meter con edad de 3 años, tipo de prueba  $Q_n = 41.67$  (lt/s).**

Sector	Edad	# Lote	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene2004
Grav	3	620	45.38	60.85	62.91	63.94	56.72	49.50	61.88	49.50	48.47	50.53	64.97	63.94
Grav	3	368	111.38	66.00	125.82	105.19	107.26	120.66	84.57	108.29	83.54	81.47	80.44	179.45
Grav	3	366	148.51	150.57	170.16	160.88	169.13	154.69	182.54	195.95	159.85	167.07	154.69	135.10
Grav	3	404	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.31	100.04	80.44
Grav	3	408	63.94	48.47	42.28	46.41	60.85	40.22	41.25	41.25	29.91	38.16	46.41	43.31
Grav	3	414	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Grav	3	429	40.22	73.22	101.07	140.26	147.48	78.38	82.50	72.19	56.72	60.85	42.28	67.03
Grav	3	476	119.63	96.94	128.91	137.16	214.51	122.72	62.91	56.72	81.47	97.97	94.88	55.69
Grav	3	492	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Grav	3	599	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rebo	3	609	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rebo	3	612	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rebo	3	613	80.44	95.91	115.51	96.94	102.10	108.29	72.19	109.32	100.04	73.22	102.10	193.88
Rebo	3	71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rebo	3	86(A)	0.00	0.00	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.00	0.00
Rebo	3	543	10.31	9.28	13.41	25.78	34.03	9.28	7.22	47.44	20.63	3.09	13.41	12.38
Rebo	3	648	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.13	74.25
Rebo	3	702	79.41	62.91	11.34	36.10	51.56	0.00	0.00	60.85	56.72	56.72	91.79	82.50
Rebo	3	254	97.97	96.94	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	99.00	76.32	75.28	97.97	101.07
Rebo	3	245	72.19	110.35	177.38	256.79	257.82	262.98	174.29	212.45	108.29	76.32	79.41	86.63
Rebo	3	230	150.57	156.76	173.26	154.69	9.28	6.19	9.28	73.22	59.82	51.56	79.41	59.82
Rebo	3	230(A)	0.00	0.00	0.00	0.00	139.23	173.26	111.38	60.85	0.00	0.00	55.69	22.69
Rebo	3	226	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rebo	3	216	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rebo	3	256	74.25	67.03	66	45.38	71.16	52.6	53.63	44.35	150.6	21.66	56.72	46.41
Rebo	3	320	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rebo	3	347	46.41	47.44	85.6	72.19	82.5	79.41	52.6	64.97	46.41	54.66	38.16	74.25
Rebo	3	351	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rebo	3	361	36.1	33	40.22	84.57	85.6	77.35	55.69	58.78	15.47	67.03	89.72	104.16
Rebo	3	8	161.9	158.8	175.3	185.6	181.5	160.9	137.2	60.85	187.7	150.6	156.8	213.48
Rebo	3	21	22.69	30.94	51.56	50.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.47	49.5	110.35
Rebo	3	27(A)	0.00	0.00	0.00	0.00	41.25	35.06	5.16	41.25	63.94	69.1	150.6	52.6
Rebo	3	38(A)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.94
Rebo	3	177	41.25	38.16	45.38	61.88	63.94	61.88	53.63	41.25	27.85	71.16	13.41	138.19
Rebo	3	203	75.28	111.4	111.4	127.9	142.3	76.32	63.94	72.19	76.32	85.6	108.3	122.72

Cuadro 4.23 Promedios de consumos domiciliarios con errores aplicados ( $m^3$ ), a los medidores Badger Meter con edad de 3 años, para la prueba de  $Q_n = 41.67$  (lt/s).

## **4.9 La macromedición.**

### **4.9.1 Que es la macromedición.**

En capítulos anteriores se había definido de forma concreta a la macromedición como el conjunto de equipos y actividades que le permiten comprender al investigador y al organismo operador, como se comporta la extracción total de agua, desde el punto o puntos de abastecimiento y distribución de la misma.

La definición de macromedición por parte de la Comisión Nacional del Agua nos dice que "la macromedición es el conjunto de equipos, elementos y actividades destinadas a obtener, analizar y divulgar los datos de los sistemas de producción, conducción y distribución de agua potable relativos a caudal, presión y niveles de agua de los sistemas de abastecimiento y distribución". (Comisión nacional del agua, tema control de fugas en sistemas de distribución, libro #2, 2da sección, tema 4, manual de diseño de agua potable alcantarillado y saneamiento, México 1994).

Otra definición aportada por Gerardo Ahumada Theoduloz nos dice que "La macromedición, es una herramienta indispensable en la gestión integral de cualquier organismo que tenga que ver con el tema del agua, ya que por medio de esta se puede saber un valor exacto del recurso usado en todos los procesos en los que se ve involucrado el uso del agua". (Gerardo Ahumada Theoduloz, macro medición en sistemas de agua potable).

Por último tenemos una definición propuesta por el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) que dice que: "la macromedición en un sistema de abastecimiento de agua, se da por medio del uso de equipos medidores, cuyo objetivo es, cuantificar los caudales captados, distribuidos y conducidos, para lograr una adecuada administración del abastecimiento de agua". (Leonel O. y Víctor B. IMTA 2001).

Entonces la macromedición es un conjunto de elementos, por el cual el organismo operador de un sistema, puede administrar de una forma exacta los recursos de suministro y almacenamiento de agua que se utilizan dentro de sus actividades. De aquí la importancia de la macromedición para el proyecto de agua no contabilizada, ya que con estos datos se alimenta el balance de agua y se obtienen resultados

Para realizar lo anteriormente descrito, se deberá hacer un análisis exhaustivo para determinar la clase de medidores a instalar en los puntos de medición y los elementos necesarios para su correcta instalación, además se deberá capacitar al personal técnico encargado de la instrumentación de los equipos de medición, en el uso, calibración y mantenimiento del equipo.

#### **4.9.2 Beneficios de un programa de macromedición.**

Una de las razones principales por la cual la macromedición es un factor de suma importancia para la administración del agua por parte de un organismo operador es la relación inmediata que existe entre la facturación (cobro) y la magnitud real de utilización del recurso (eficiencia y pérdidas). A continuación se presentan los beneficios extras que se adquieren con una buena macromedición aplicada en los puntos de suministro de cualquier red de agua potable:

- La obtención de la dotación real de los sistemas y distintos sectores de abastecimiento de agua (uso de agua).
- Determinación de los volúmenes y caudales de agua entregados en los sectores de producción.
- Obtención de caudales y niveles en puntos significativos de los sistemas de agua potable (grandes consumidores).
- Generación de información que permita evaluar el equilibrio en el suministro de agua en las diferentes zonas de presión, así como la homogeneidad de presiones en la red de distribución.
- Visualización de las condiciones hidráulicas reales de funcionamiento del sistema.
- Generación de información para la planeación y ejecución de los programas de mantenimiento tanto preventivo como correctivo en las líneas de conducción, redes de distribución, instalaciones y equipos electromecánicos, plantas de potabilización y tanques de almacenamiento.
- Para la determinación de los volúmenes de agua no facturados.
- Identificación de los porcentajes de agua no contabilizada en el sistema de producción y distribución de agua.
- Facilita la generación de datos útiles para la evaluación del sistema de macromedición existente, incluyendo el grado de adecuación de los medidores domiciliarios al régimen de demanda de los usuarios, grado de precisión y sensibilidad de los equipos, eficiencia de mantenimiento, plan de sustitución, grado de eficiencia de lecturas y procesamiento de datos.
- Generación de información para la formulación, implantación, y control de las políticas tarifarias de los organismos operadores (control de la extracción de pozos "abatimientos").
- Obtención de datos estadísticos de las mediciones que permitan evaluar los programas de operación, mantenimiento y del uso eficiente del agua.

#### **4.9.3 Uso de la macromedición para la operación de una red.**

##### **4.9.3.1 Macromedición aplicada a la operación.**

La operación de cualquier tipo de sistema que tenga que ver con el agua dentro de sus procesos debe ser programada y ejecutada con base en datos hidráulicos reales, mismos que son obtenidos por los equipos de macromedición. Se debe



evitar la operación realizada a sentimiento (empíricamente), pues en la mayoría de casos es muy riesgosa, inexacta, costosa y deficiente.

Para lograr obtener información necesaria para efectuar programas hidráulicos dentro de las redes y lograr la operación total de la red, es necesario la creación de puntos de medición donde se colocan los medidores para obtener y almacenar los datos de operación de los suministros. El almacenamiento de datos puede ser en forma de tablas y gráficos, archivados en expedientes de fácil acceso.

Al momento de obtener los datos de los equipos y después de haberlos analizado se deberá de establecer las reglas de operación del sistema de abastecimiento, que están en función del análisis de los datos (como se comporta la extracción dentro de un balance) y del nivel de confianza de los resultados.

"El personal de operación debe de adquirir, a través del tiempo, un alto nivel de confianza en los datos obtenidos por los aparatos del sistema de macromedición". (Leonel O. y Víctor B. IMTA 2001). Esa confianza será una realidad que estará en función de la exactitud de los aparatos que integran el sistema de macromedición y la experiencia de los operadores que recolectan los datos.

#### **4.9.3.2 Cantidad de macromedidores.**

Los aparatos de un sistema de macromedición deben proporcionar los parámetros suficientes (eficiencia, durabilidad, exactitud, cantidad) para la evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento. Todos los puntos importantes del sistema de abastecimiento (distribución) desde el punto de vista de operación deben ser provistos de medidores adecuados. Cada medidor deberá ser seleccionado de acuerdo a las características que priven en el lugar de medición.

- Diámetros de tubería
- Espacio para colocar macromedidor (la longitud entre codos o cambios de dirección con respecto al medidor, deberá de ser de por lo menos 10 veces el diámetro de la tubería).
- Toma de corriente cercana.
- Tipo de datos que se desea obtener (tipo de macromedidor).

##### **4.9.3.2.1 Precisión de los equipos.**

Uno de los requisitos más importantes respecto a la selección del medidor es el rango de medición que se necesita. La precisión de los aparatos macromedidores a instalar en los puntos de extracción deben de ser previamente estudiados, ya que muchas veces conseguimos aparatos con un índice de precisión menor o mayor al requerido para la medición. Según la importancia de un punto de

medición determinado, deben aplicarse diferentes niveles de precisión de la medición. Para ello se debe considerar:

- La ubicación del punto de medición (conexiones, presiones, protección, etc).
- La importancia relativa de la magnitud de la medición en el sistema global (volumen a medir vs. capacidad medidor).

De acuerdo con los fabricantes de macromedidores, los equipos de medición se pueden subdividir en cuatro grupos, tomando en cuenta su precisión de medición:

1. Medidores de alta precisión, calibrados en fábrica con certificado de una autoridad competente.
2. Medidores de alta precisión ( $\leq 1\%$  de error, según fabricante).
3. Medidores de mediana precisión (entre 2 y 5% de error, según fabricante).
4. Medidores de baja precisión ( $> 5\%$  de error, según fabricante).

Hay que considerar, que para elegir la precisión del aparato se debe de tomar en cuenta el objetivo del estudio, la selección de un medidor con demasiada precisión para un estudio de calidad media es demasiado costoso, así como la selección de un medidor de precisión muy baja para un estudio de calidad alta es contraproducente. En el cuadro 4.20 se entrega una recomendación de acuerdo con el objetivo de la medición:

OBJETIVO DE LA MEDICIÓN	PRECISION
Facturación entre Empresas	Alta, con certificación de autoridad competente.
Distribución en tiempo real de caudales de agua potable.	Alta
Distribución en tiempo real de caudales de agua cruda.	Media
Balances de volúmenes de agua potable en plantas de tratamiento.	Alta.
Elevación de agua potable.	Alta, si el costo de la energía es importante. Media, si el costo de la energía es bajo.
Determinación de coeficientes de consumo.	Media
Estimación de pérdidas a partir del consumo nocturno.	Media

Cuadro 4.24 Recomendación de acuerdo al tipo de medición. (Gerardo Ahumada Theoduloz, Macro medición en sistemas de agua potable).

#### 4.9.3.3 Formulación de un proyecto de macromedición.

La formulación de un proyecto de macromedición será ejecutado solo cuando ya se haya seleccionado el nivel de calidad del medidor a colocar en el punto de extracción. Los pasos que se deben de seguir para la formulación del proyecto de macromedición son los siguientes:



1. Actividades previas: Se requiere que se haya establecido los proyectos de catastro de red y control de la operación del sistema (cajas de válvula, tomas domiciliarias, usuarios, tipos tuberías, etc.).
2. Recopilación y análisis de la información: Hay que realizar un levantamiento de los medidores ya instalados en campo de la siguiente manera:
  - Indagar el tipo y el número de macromedidores ya instalados en los puntos de extracción (tipo, características, marca, estado).
  - Realizar croquis y planos de localización de los macromedidores existentes.
  - Realizar planos de detalle de conexión de los macromedidores a los puntos de extracción.
  - Buscar dentro de los registros del organismo operador bases de datos con información de la medición de los macromedidores
  - Recopilación de documentos con información de estudios anteriores enfocados a la macromedición, dentro del lugar donde se realiza la formulación del proyecto.
3. Evaluación actual: Se dictamina la localización de macromedidores que hacen falta, los datos indispensables para el estudio y personal para llevar a cabo estas acciones.
4. Elaboración del proyecto: Se diseña primero un sistema de información considerando los datos de caudales y niveles, atendiendo particularmente al área de control de agua no contabilizada. En segundo lugar, se seleccionan los aparatos de medición, de acuerdo con su utilidad, costo y facilidad de mantenimiento. Finalmente, habrá que definir periodos de tiempo para la realización del estudio de macromedición.
5. Ejecución: Se instalan los equipos, verificando el tiempo de entrega y colocación, por último se revisa el funcionamiento de los equipos para su programación.
6. Evaluación y control: Se definen los siguientes indicadores de desempeño, que serán calculados periódicamente para ir haciendo ajustes al sistema de macromedición:

$$\text{Cobertura de macromedición} = \left( \frac{\text{número de medidores instalados}}{\text{número de medidores requeridos}} \right) \quad (\text{fórmula 4.8})$$

#### 4.9.4 Definición de los puntos de medición.

##### 4.9.4.1 Ubicación de los puntos de macromedición sobre la red de distribución.

La ubicación de los puntos de medición incide fuertemente en el presupuesto de un plan de macromedición, ya que implica necesariamente una optimización de la cantidad de puntos para permitir un adecuado control.

La minimización de la cantidad de puntos de medición se ve restringida por:

- Forma de operación de los puntos de extracción (pozos).
- Conexiones hidráulicas del sistema (bridas, válvulas, abrazaderas tanques, etc.).
- Condiciones físicas específicas de cada punto de medición (diámetro, profundidad de la tubería, ubicación, etc.).
- Modificaciones hidráulicas factibles (ampliaciones, restauración pozo, etc.).

A continuación se mencionan los principales puntos donde se debe hacer la instalación de macromedidores en una red:

- Pozos.
- Plantas de tratamiento.
- Tanques elevados.
- Puntos de retorno.
- Estanques.
- Plantas reguladoras de presión.
- Puntos de captación y rebombeo.
- Manantiales.

En la lámina 4.13 se muestra una definición típica de puntos de medición para un sistema de agua potable.

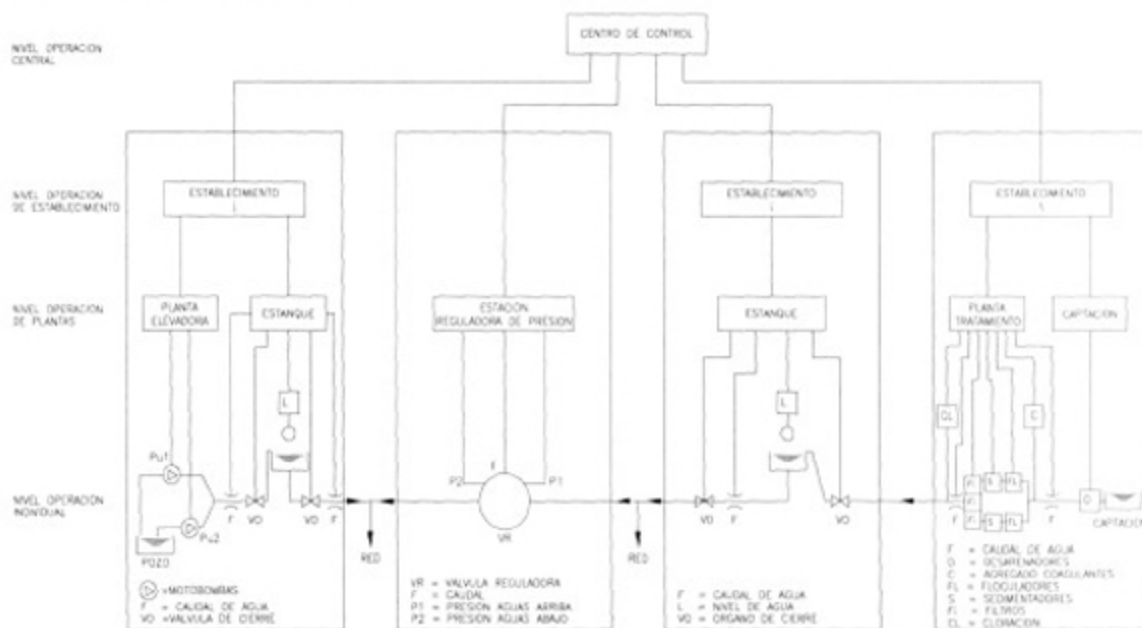


Lámina 4.13 Esquema para colocación macromedidores en puntos de extracción.

En la lámina 4.14 se presentan los puntos dentro de una red, que se deben medir mediante aparatos de macromedición.

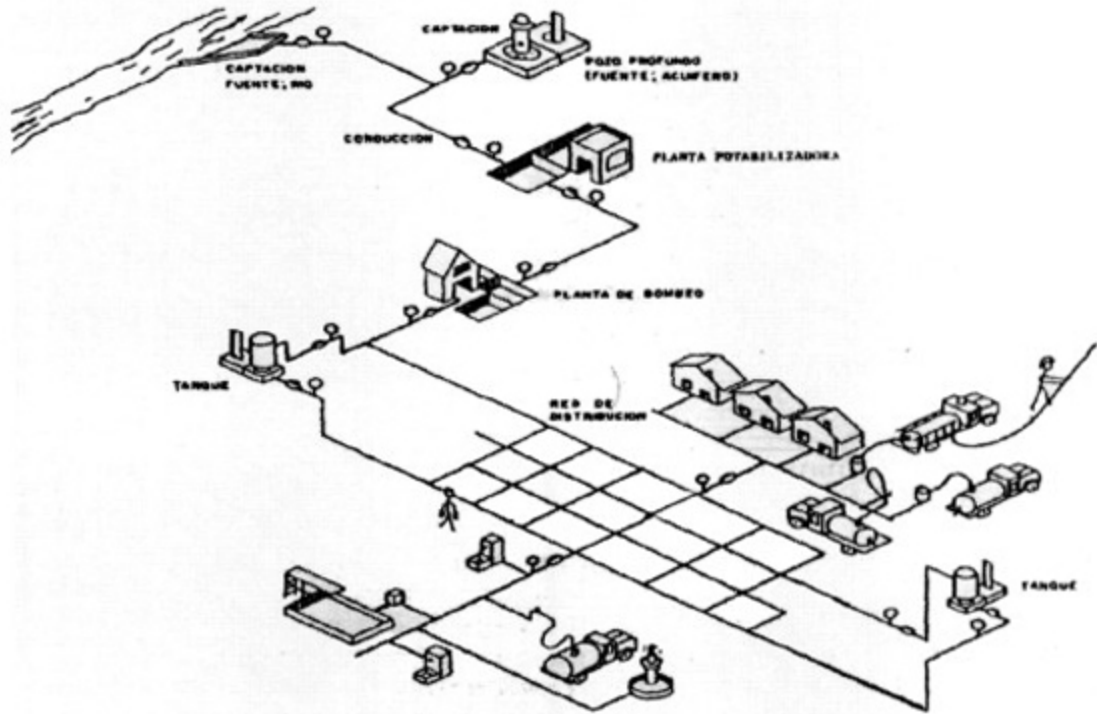


Lámina 4.14 Puntos de medición en una red de agua potable.

#### 4.9.5 Selección de macromedidores.

Actualmente existe una gran variedad de aparatos de medición de caudal. Para seleccionar el tipo de medidor más apropiado que se va a instalar en un punto de extracción es esencial definir y comprender la aplicación que éste tendrá después de ser colocado, siendo necesario reunir la información básica de los tipos de macromedidores disponibles.

Comúnmente los medidores de caudal están constituidos por un sensor, que transforma alguna característica del escurrimiento en una señal que es entregada a uno o más dispositivos secundarios, que la transmiten y la registran en forma digital.

A pesar de la variedad de aparatos de medición en el mercado, todos ellos tienen en común lo siguiente:

- Los factores que los medidores necesitan para la modelación matemática son los mismos en todos los aparatos:
  - a) La sección de la tubería (definida normalmente por el diámetro y tipo).
  - b) La velocidad media del agua.

- Necesitan tramos rectos de tubería, exentos de singularidades tanto aguas arriba como abajo del medidor.

Las exigencias generales para los equipos de medición son:

- Suficiente precisión.
- Requisitos de instalación.
- Reducido mantenimiento.

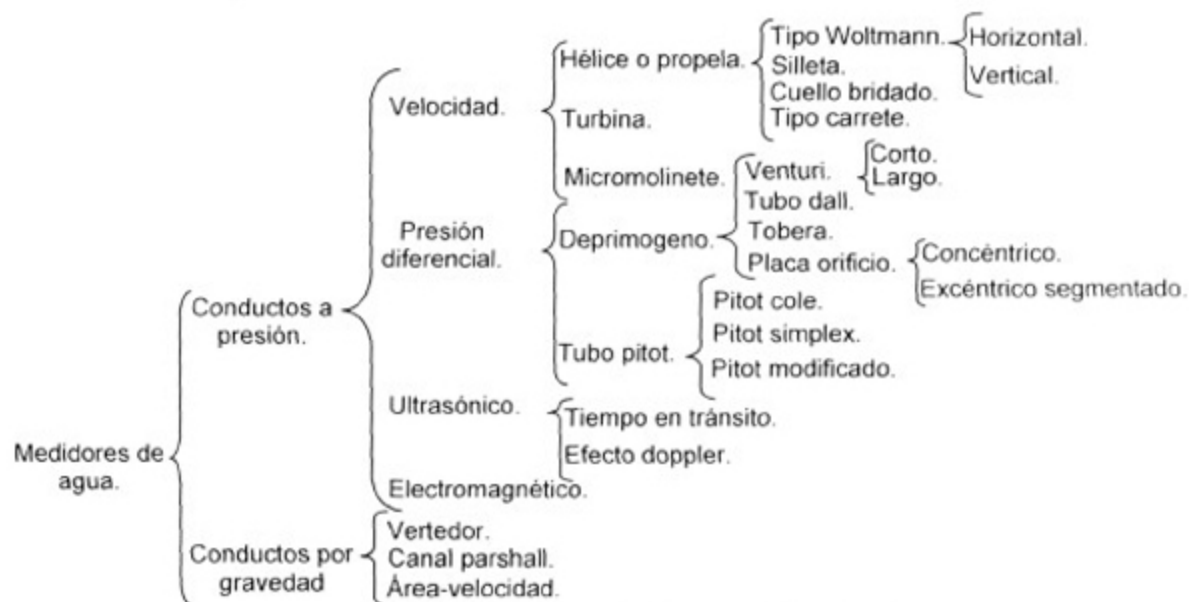
Se pueden distinguir los siguientes tipos más usuales de macromedidores para la medición del agua:

- Medidores de velocidad.
- Medidores Presión diferencial.
- Medidores electromagnéticos.
- Medidores de ultrasonido.

Cada tipo de medidor tiene ventajas e inconvenientes y ninguno de ellos presenta claras ventajas sobre el resto.

#### 4.9.5.1 Clasificación macromedidores.

En el mercado existen diferentes tipos de macromedidores y sus diseños están basados de acuerdo a las presiones de operación, flujos y calidad de agua que se pretende cuantificar. En el cuadro 4.21 se presenta una clasificación general de los diferentes tipos de medidores mas comúnmente usados<sup>1</sup>.



Cuadro 4.25 Clasificación macromedidores.  
(Comisión Nacional del Agua, Manual de selección equipos de macro medición 1994.)

<sup>1</sup> Véase Anexo H. Leyes y características de los medidores de caudal (macromedidores).

#### 4.10 Formulación de un proyecto de macromedición para el Fraccionamiento Potosino de Golf.

Para la ejecución del proyecto de macromedición en los puntos de extracción del pozo del Fraccionamiento Potosino de Golf, se optó por la selección de tres macromedidores electromagnéticos de la marca Badger Meter que fueron facilitados por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Estos medidores se colocaron en las tuberías que transportan el agua desde los tres diferentes puntos de conexión, hacia las zonas de distribución (Distritos hidrométricos) los cuales se describen a continuación<sup>2</sup>:

- Punto de extracción del pozo.
- Zona por gravedad.
- Zona por rebombeo.

En la imagen D.4 del anexo D podremos visualizar los puntos donde se localizan los macromedidores ya existentes seleccionados por la asociación de colonos en la zona donde se localiza el pozo de extracción del fraccionamiento. Cabe mencionar que la instalación de los medidores electromagnéticos usados para la investigación, así como la prueba de los mismos sigue al pie de la letra lo estipulado por el fabricante.

##### 4.10.1 Recopilación y análisis de información de los macromedidores instalados para el proyecto de agua no contabilizada del Fraccionamiento Potosino de Golf.

Para realizar el estudio de macromedición enfocado a un proyecto de agua no contabilizada, se pidió a la Asociación de colonos una serie de datos en formato digital, que contiene información de los volúmenes extraídos del pozo. Los valores contenidos en esta base de datos fueron obtenidos de sus aparatos de medición, durante un lapso de tiempo de 2 años (2003-2004). A continuación se describe de manera general las características y detalles de los medidores de caudal existentes dentro del fraccionamiento:

- Dentro del lugar de extracción se encuentran tres macromedidores colocados en las tres zonas de distribución, las características generales de estos medidores son la siguientes:

##### Tipo y características de medidores instalados por el organismo operador.

Sectores	Macromedidor	Diámetro	Tipo	Edad años	Estado	Conexión
Pozo	Si	4"	Hélice	10	Regular (con error al medir). Medidor de la CNA.	Bridada
Gravedad	Si	4"	Hélice	10	Malo (el trasmisor de datos ya no mide bien, se quito).	Bridada
Rebombeo	Si	6"	Hélice	4	Bueno (nuevo)	Bridada

Cuadro 4.26 Tipo y características de medidores instalados.

<sup>2</sup> Véase capítulo # 3, Catastro de la red del Fraccionamiento Potosino de Golf.

En la lámina 4.15 se pueden visualizar con mayor detalle los macromedidores del fraccionamiento, controlados por la Asociación de Colonos.

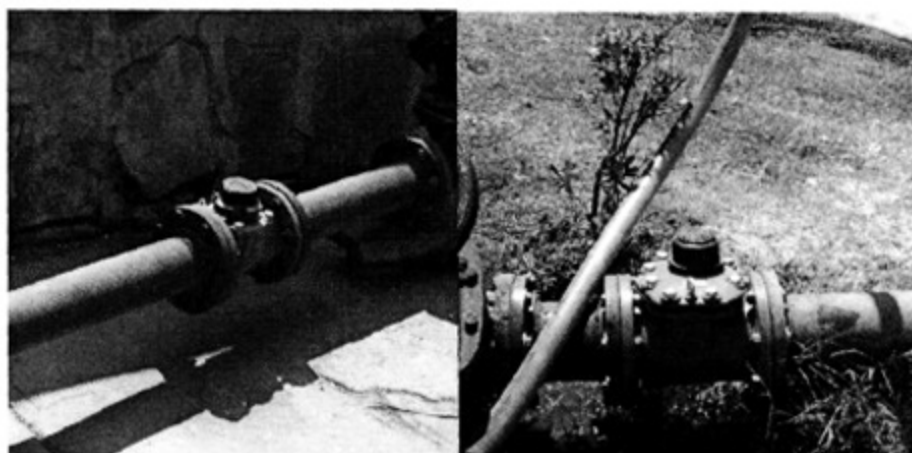


Lámina 4.15 Medidor de hélice CNA en pozo, medidor de hélice en zona de rebombeo.

- Los croquis de colocación y planos de detalle de conexión de los macromedidores se encuentran detallados en el anexo D.

Por último, se indagó con el personal encargado de regular los aspectos que tienen que ver con la macromedición sobre la existencia de proyectos, estudios o documentos archivados, que tuvieran que ver con la medición de caudales a nivel pozo y línea de distribución del Fraccionamiento Potosino de Golf. No se tiene registro de ningún tipo de proyecto que tenga que ver con estudios de macro medición de cualquier índole.

#### **4.10.2 Elaboración del proyecto de evaluación para la instalación de macromedidores.**

Para poder realizar un balance que nos indique la cantidad de agua no contabilizada dentro del Fraccionamiento Potosino de Golf es necesario contar con dos herramientas fundamentales que son: la micro y la macromedición, estas nos ayudarán a calcular el porcentaje total de agua no contabilizada.

Para que los datos provenientes de la macromedición sean de utilidad al momento de realizar el balance, se requiere que los mismos hayan sido tomados con un medidor que se encuentre en buen estado y que tenga una eficiencia alta. Lamentablemente los aparatos que se encuentran registrando los valores de caudal hacia los distritos hidrométricos, carecen de la eficiencia necesaria a causa de una larga vida útil y por un extenso desgaste de piezas internas o por la falta de mantenimiento, ello la necesidad de proponer la instalación de nuevos macromedidores que cuenten con un grado de exactitud alto, a efecto de calibrar los datos del caudal, obtenidos por los aparatos originales en los puntos de medición.



Los aparatos seleccionados deberán de cumplir los siguientes puntos para poder ser instalados.

<b>1. Índice:</b>	El índice de fallas (se define como índice de fallas al porcentaje de tiempo en que los aparatos no funcionen en relación con el tiempo total de funcionamiento de los mismos) de los aparatos debe ser pequeño para asegurar la información continua de la operación.
<b>2. Control:</b>	Todos los puntos importantes del sistema de abastecimiento de agua (distribución) desde el punto de vista de operación deben ser provistos de medidores adecuados. Cada medidor deberá ser seleccionado de acuerdo a las características que priven en el lugar que requiere de medición.
<b>3. Soporte:</b>	Los aparatos seleccionados deberán de contar con soporte técnico por parte de la empresa de manufactura y debido a que son instrumentos delicados y con un nivel de calibración determinado, en el momento de perder exactitud el usuario puede mandar los medidores al fabricante para que este los vuelva a recalibrar.
<b>4. Marca:</b>	De preferencia los medidores seleccionados deben ser del mismo tipo y marca, para evitar dificultades al momento de programar sus variables y contar con soporte técnico inmediato, no solo para un medidor, si no para todos.

#### **4.10.2.1 Macromedidores electromagnéticos a instalar en los puntos de medición.**

Los medidores seleccionados que se van a instalar para realizar una calibración de los datos obtenidos por los medidores propiedad del organismo operador, se denominan por el fabricante como "Magnetoflow mag meter" o "macromedidores electromagnéticos"<sup>3</sup>, estos medidores fueron seleccionados debido a sus características de fácil instalación, durabilidad, inmediata obtención de datos y gran exactitud.

##### **4.10.2.1.1 Macromedidores Badger Meter.**

Basados en las leyes de inducción de Faraday, los medidores electromagnéticos tienen la cualidad de medir casi cualquier tipo de líquido que pase dentro de ellos, inclusive, pueden medir ciertos tipos de pastas y sustancias en estado gelatinoso.

Una de las ventajas de estos medidores es que son diseñados, desarrollados y manufacturados bajo estrictos estándares de calidad, generando uno de los productos más exactos en el mercado. Otra de las razones por las que se seleccionó este medidor, se debe a su sofisticado procesador de datos "primo amplifier", el cual, cuenta con la capacidad de mostrar los resultados de medición por medio de una pantalla de cristal líquido, las características de programación del medidor y almacenar un sin número de datos en formato electrónico para

<sup>3</sup> Véase Anexo H. Leyes y características de los medidores de caudal (macromedidores).

descargar mediante un proceso patentado por la compañía denominado "plug in touch".

#### **4.10.2.1.2 Características de los medidores electromecánicos Badger Meter (magneto flow).**

A continuación se indican las características de los medidores electromagnéticos de la marca Badger Meter.

- Los medidores están diseñados para ser aplicados en las mayoría de las industrias, ya sea para la medición de agua, agua residual, industria, procesos alimenticios, farmacéutica y química.
- Estos medidores no son afectados por los sólidos que se encuentren dentro del fluido.
- Sus materiales son de alta resistencia y de baja corrosión. Material de acero inoxidable AISI 316, permite el paso del campo electromagnético, proporciona resistencia a la presión hidráulica. Revestimiento interno de caucho natural (goma) con una resistencia de temperatura de hasta 80°C.
- Sus tamaños van desde el de ¼" de diámetro hasta 54".
- Su error de medición oscila entre  $\pm 0.25$  %.
- Altos límites de presión 150 psi (10 bar).
- Resistencia a altas y bajas temperaturas.  $-4$  °F a 140°F (-20°C a 60°C)
- De fácil instalación en tuberías de cualquier tipo y diámetro.
- Bajo consumo eléctrico para los procesos de medición  $\geq 5$  micromhos/cm.
- Trabaja con velocidades de flujo bajas y altas 0.03 a 10 m/s.
- Mínimos requerimientos de tubería recta.
- Su exactitud no se ve afectada por malos perfiles de flujo.
- No produce pérdidas de carga considerables ya que no obstruye el paso del flujo.
- No requiere mantenimiento continuo.

Características del "Primo amplifier":

- Abastecimiento de energía baja 45- 65 hz.
- Consumo de energía 20W.
- Puede medir tanto al flujo unidireccional (en un solo sentido) como al bidireccional (en los dos sentidos) en totalizadores separados.
- Tiene diferentes opciones de programación dependiendo del lapso de tiempo en el que se requieran los datos del caudal.
- Pantalla de cristal líquido de 4 líneas x 16 caracteres para desplegar opciones del medidor.
- Materiales de alta resistencia y baja corrosión.
- Resistencia a altas y bajas temperaturas.  $-4$  °F a 140°F (-20°C a 60°C).
- Entradas para colocar bocinas de alarma, dispositivos "plug in touch".

- Salidas eléctricas incluidas para telemetría: pulsos, analógicos.
- El display puede estar en tres idiomas: Español, Ingles, Alemán.

Partes del macromedidor electromagnético a instalar:

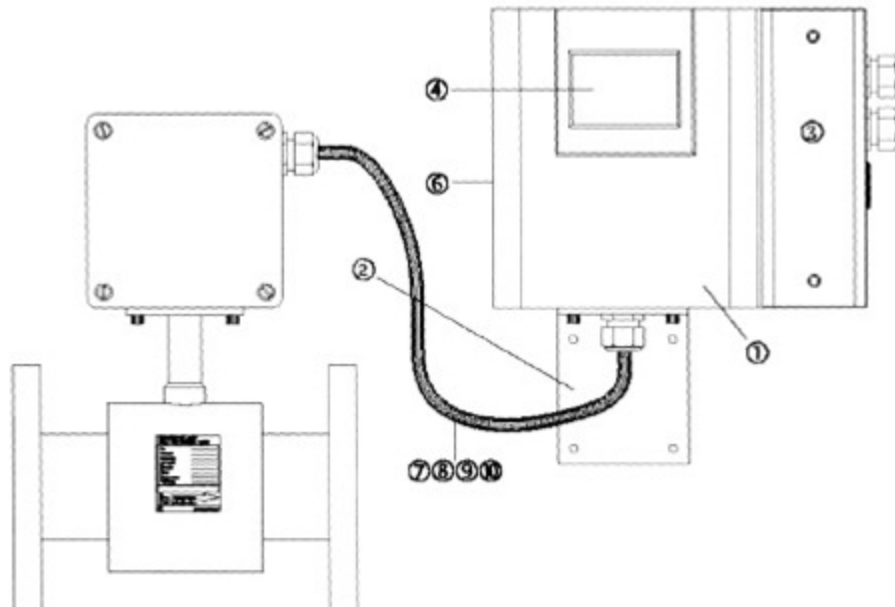


Lámina 4.16 Partes medidor electromagnético (magneto flow) Badger Meter.

Item N°	Descripción
1	"Primo Amplifier" display de datos y totalizador.
2	Placa de conexión para montaje en pared
3	Controles para programar el medidor.
4	Pantalla de cristal liquido.
5	Tarjeta madre del "Primo Amplifier" (no se muestra)
6	Protección para la tarjeta madre y los controles del "Primo Amplifier"
7	Cable de 15 pies.
8	Cable de 30 pies.
9	Cable de 50 pies.
10	Cable de 100 pies.

#### 4.10.2.1.3 Manual para la instalación de los macromedidores electromagnéticos Badger Meter (magneto flow).

Para efectuar la colocación de los macromedidores electromagnéticos en los puntos de medición dentro del pozo en el Fraccionamiento Potosino de Golf, se requirió seguir una serie de condiciones estipuladas por el fabricante. Todos los pasos que se siguieron para lograr la instalación se mencionan ordenadamente como se muestra a continuación:

A. Posicionamiento del sensor: El fabricante recomienda cuatro tipos diferentes de acomodos en los que el aparato funciona correctamente sin sufrir modificaciones en la exactitud de los sensores.

- En tubería horizontal, los electrodos deben de estar en un plano horizontal, para prevenir que se pierda contacto entre los electrodos por sedimentos, o por burbujas de aires.

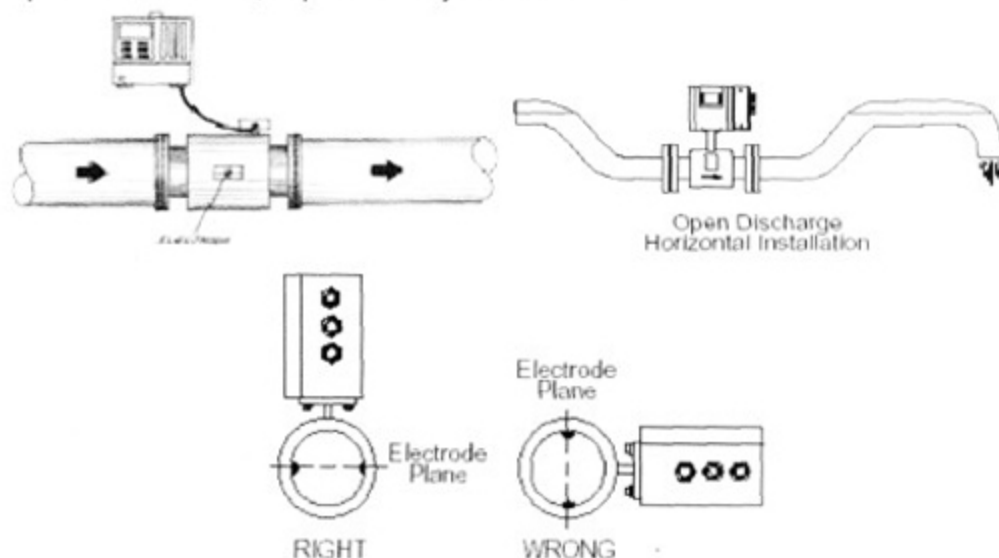


Lámina 4.17 Acomodos horizontal medidor electromagnético (magneto flow) Badger meter.

- En tubería vertical, el flujo debe de ser ascendente. Para aplicaciones donde habrá que medir fluidos muy espesos o mezclas de líquidos y sólidos (ejem. aguas residuales), la posición vertical asegura una optima distribución de los sólidos en las condiciones de escurrimiento.

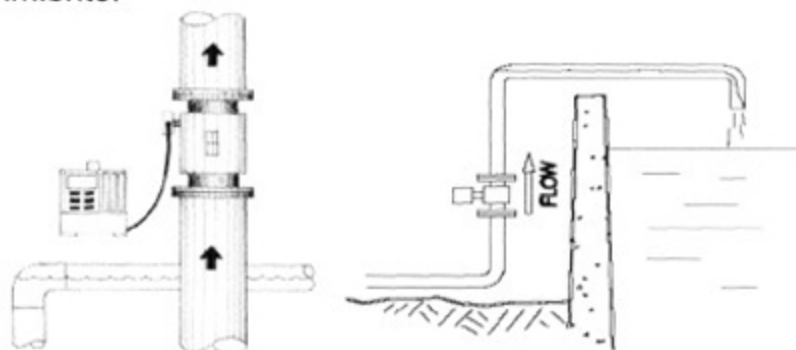


Lámina 4.18 Acomodos vertical medidor electromagnético (magneto flow) Badger meter.

- En tubería inclinada, es recomendable colocar el medidor a 45° en dado caso de que no se pueda colocar horizontal o verticalmente. Para colocar el medidor en una posición angulada se recomienda que al final del tubo se haga un arreglo de cuello de ganso, para que el tubo trabaje lleno.

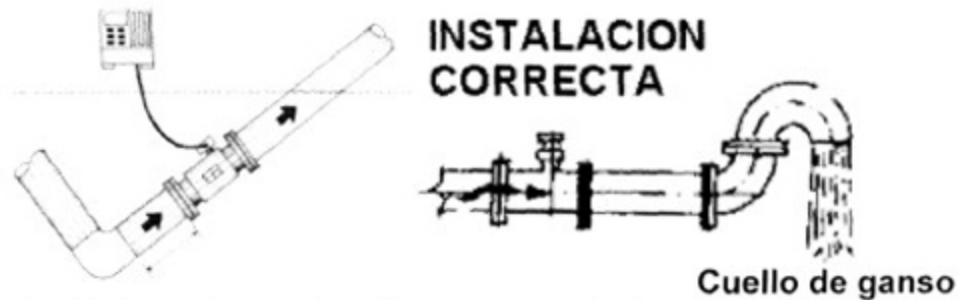


Lámina 4.19 Acomodo inclinado medidor electromagnético (magneto flow) Badger meter.

- B. Sensor y ruido eléctrico: Para que al estar midiendo no ocurra interferencia por algún ruido eléctrico, el medidor deberá de tener un contacto con el fluido transportado. Esto se logra con un anillo aterrizado.

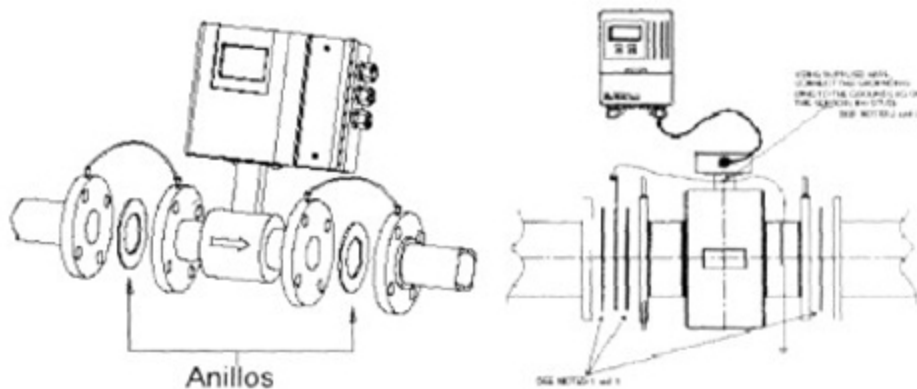


Lámina 4.20 Colocación de anillos medidor electromagnético (magneto flow) Badger meter.

- C. Instalación de la línea sensora: Para la instalación de la línea que conecta el sensor o "Primo Amplifier" con el macromedidor, se requiere que el lugar esté de preferencia seco y que no exista mucho movimiento de objetos pesados que puedan dañar la conexión entre estos dos elementos. Se recomienda que se encuentre lejos de interferencias eléctricas provocadas por equipos cercanos.

- D. Montaje remoto del convertidor de señales: El receptor remoto puede estar colocado en cualquier sitio deseado, con tal que se tenga espacio para poder acceder al convertidor, poder leer la pantalla y descargar los datos. La distancia máxima desde el sensor al convertidor es de 90 metros.

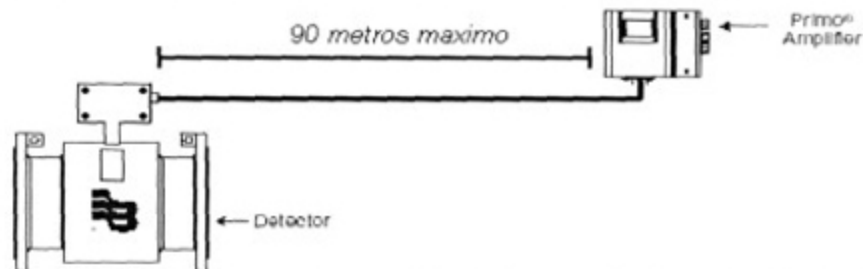


Lámina 4.21 Longitud cable conector medidor electromagnético (magneto flow) Badger meter.

- E. Conexiones convertidor / transmisor: Las conexiones al sensor deben hacerse precisamente con el cable suministrado por el proveedor. Un cuidado importante será el de sellar las entradas del conducto hacia la caja para prevenir que se dañe la terminal o la tarjeta madre por causa de la humedad.

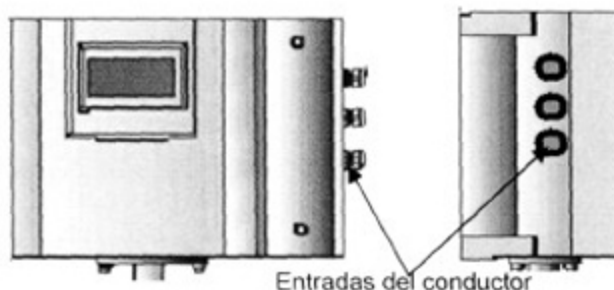


Lámina 4.22 Entradas Primo Amplifier del medidor electromagnético (magneto flow) Badger meter.

#### 4.10.2.1.4 Programación del primo amplifier.

Para realizar el estudio de agua no contabilizada que resultara representativo para la red del Fraccionamiento Potosino de Golf, se requirió la instalación y uso de 3 macromedidores electromagnéticos Badger Meter. Cada uno de los medidores contaba con un sistema de monitoreo y de transmisión de información que necesitaba ser programado por el usuario, seleccionando las opciones que a continuación se muestran:

1. Se programó al "Primo amplifier" para que tomara los datos del caudal en metros cúbicos ( $m^3$ ), a modo de flujo unidireccional, esto en caso de que se presentara el retorno del flujo por el cierre de alguna válvula después del medidor (golpe de ariete).

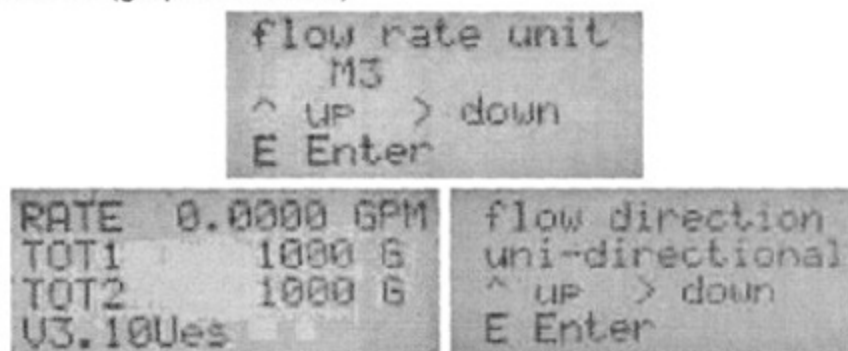


Lámina 4.23 Programación del display.

2. Para evitar problemas en los datos si se producía el vaciado completo de flujo dentro de la tubería, se activó la opción del detector de error a tubería vacía, para que en el momento de presentarse esta particularidad, el totalizador del flujo pudiera detenerse hasta que la tubería presente las condiciones de tubo lleno.



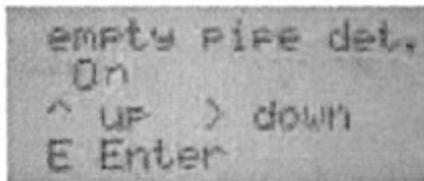


Lámina 4.24 Selección de la opción a tubo vacío.

3. Para los tres medidores se seleccionó la escala máxima de flujo que venía por default, la cual tiene un valor de 237 GPM (galones por minuto).

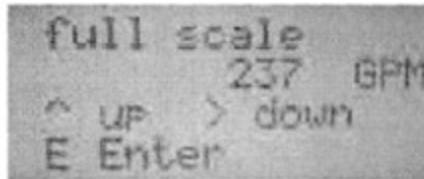


Lámina 4.25 Selección de la escala máxima de flujo.

4. Para prevenir el error de medición en caso de tener un caudal pequeño dentro de la tubería, se activó la opción de paro de medición por flujo bajo, mismo que se activa en el momento en que detecta un cierta cantidad de flujo por debajo de la media, cuando ésta opción se activa, el totalizador se detiene por completo dejando la ultima medición correcta. El valor seleccionado es el que viene por default en el medidor 4.7%.

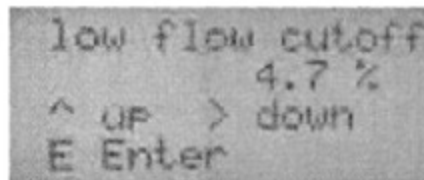


Lámina 4.26 Selección de la opción a tubo vacío.

5. Para visualizar los datos en el display se seleccionó la opción del idioma en español.

#### 4.10.2.1.5 Periodo de tiempo para el estudio.

Para obtener datos que nos ayuden en el estudio de macromedición de los tres sectores en los que se divide la red del fraccionamiento, fué necesario dejar instalados los medidores Badger Meter durante el periodo de 1 mes. En éste lapso de tiempo se registraron valores de volumen ( $m^3$ ). La toma de datos provenientes del primo amplifier se programó de tal manera que se pudiera descargar la información cada tres días.

El retiro de los medidores Badger Meter magneto flow, se proyectó al cumplir con lo programado dentro del el periodo de estudio.

#### 4.10.3 Evaluación y control de la macromedición en el Fraccionamiento Potosino de Golf.

##### 4.10.3.1 Cobertura de la macromedición.

Una vez colocados los medidores magneto flow en los puntos seleccionados para el control, se calculó la cobertura de macromedición a fin de cumplir con la formulación del proyecto, el resultado fue el siguiente:

$$\text{Cobertura de macromedición} = \left( \frac{\text{número de medidores instalados}}{\text{número de medidores requeridos}} \right) =$$

$$\text{Cobertura} = \left( \frac{1 \text{ medidor gravedad} + 1 \text{ medidor rebombeo} + 1 \text{ medidor extracción}}{3 \text{ medidores requeridos}} \right) = 100\%$$

En virtud de que solo se tiene un punto de extracción en el fraccionamiento y que de este se distribuye el agua a toda la red, se puede deducir que la cobertura de medición a sido completada en su totalidad.

#### 4.10.3.2 Obtención de datos para calcular el error de medición en macromedidores.

Al igual que los micromedidores, los aparatos de medición que se utilizan para tomar lecturas en los puntos de extracción requieren de un estudio que verifique la calidad de la información entregada. Lo anterior se logra mediante la comparación de datos con otros medidores que cuenten con un nivel de confianza elevado (medidor verificador).

Ya que se contaba con los medidores electromagnéticos Badger Meter (magneto flow) se decidió obtener el error de los macromedidores originales mediante la comparación de datos entre aparatos. La fórmula usada para obtener los resultados de error por comparación entre medidores se describe a continuación:

$$\text{EmM} = \left( \frac{\text{Cmi} * 100}{\text{Cmf}} \right) \text{ (fórmula 4.8)}$$

Donde:

- EmM = Error de medición macro medidor (%).
- Cmi = caudal del medidor del que se quiere saber el error (m<sup>3</sup>).
- Cmf = caudal del medidor magneto flow seleccionado (m<sup>3</sup>).

Para llevar a cabo este estudio se analizaron una serie de datos obtenidos en un lapso de tiempo de 1 mes con periodos extendidos entre toma de datos de 2, 3 o 5 días según como se programara el primo amplifier. Para obtener el valor de error del medidor situado en la zona por gravedad, se decidió realizar una prueba más estricta, debido a que el estado en que se encontraba este medidor era muy desfavorable para el tipo de ensayo que se va a aplicar a los otros aparatos. Para esto se opto por realizar dos pruebas en un lapso de tiempo de 2 horas en distinto día y diferente mes. En seguida se muestran los valores obtenidos.

- Datos de medición magneto flow en el punto de extracción.(m<sup>3</sup>)

Hora / Fecha		Medidor magneto flow	Medidor CNA
		Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )
Fecha	Hora	Punto de extracción (pozo)	
10-Abr-06	17:55	0.000	949436.350
11-Abr-06	10:10	527.660	949933.350
	10:40	584.420	949987.850
	11:10	601.770	950003.350
	11:40	613.660	950014.350
12-Abr-06	09:50	1643.830	950985.750
	10:20	1704.330	951042.550
	10:50	1779.080	951113.500
	11:20	1796.980	951129.250
13-Abr-06	09:35	2644.520	951927.850
	10:05	2685.710	951967.050
14-Abr-06	10:00	3278.489	952527.350
	10:30	3322.190	952568.450
18-Abr-06	10:02	6523.260	955583.750
	10:32	6598.150	955653.050
21-Abr-06	10:20	9670.550	958541.500
	10:50	9688.980	958558.750
24-Abr-06	10:40	12345.202	961061.150
27-Abr-06	11:30	15191.770	963739.850
	12:00	15228.760	963774.480
29-Abr-06	13:00	17202.890	965632.780
02-May-06	11:40	19434.990	967730.980
05-May-06	10:30	21769.330	969923.350
08-May-06	10:15	24377.500	972370.210

Cuadro 4.27 Datos del medidor Magneto Flow en el punto por extracción.

- Datos de medición del magneto flow en el punto por rebombeo.

Hora / Fecha		Medidor magneto flow	Medidor org. operador
		Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )
Fecha	Hora	Zona por rebombeo	
10-Abr-06	17:55	sin caudal	382845.500
11-Abr-06	10:10	sin caudal	382928.900
	10:40	sin caudal	383018.500
	11:10	sin caudal	383044.000
	11:40	sin caudal	383060.300
12-Abr-06	09:50	sin caudal	383874.600
	10:20	sin caudal	383933.500
	10:50	sin caudal	384005.500
	11:20	670.150	384018.900
13-Abr-06	09:35	1237.030	384615.300
	10:05	1268.780	384647.500
14-Abr-06	10:00	1679.840	385077.500
	10:30	1724.870	385126.700
18-Abr-06	10:02	4066.740	387580.500
	10:32	4140.410	387659.500

Cuadro 4.28 Datos del medidor Magneto Flow en el punto por rebombeo.

21-Abr-06	10:20	6309.06	389942.45
	10:50	6326.66	389960.00
24-Abr-06	10:40	8111.1	391835.15
27-Abr-06	11:30	10126.95	393955.95
	12:00	10153.49	393984.01
29-Abr-06	13:00	11564.56	395468.72
02-May-06	11:40	13177.68	397160.43
05-May-06	10:30	14812.95	398875.58
08-May-06	10:15	16650.05	400802.62

Cuadro 4.28 Datos del medidor Magneto Flow en el punto por rebombeo (continuación).

- Datos de medición del magneto flow en el punto por gravedad.

Hora / Fecha		Medidor magneto flow	Medidor org. operador
		Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )
Fecha	Hora	Zona por gravedad	
19-Abr-06	07:00	218.9	728164
	07:30	222.3	728166
	08:00	225.6	728169
	08:30	Error accidental	728169
	09:00	226.7	728171
	09:30	231.3	728174
	10:00	234.3	728176
	10:30	237.3	728178
	11:00	240.7	728180
	11:30	244.0	728183
	12:00	247.0	728185
	12:30	249.9	728187
	13:00	253.3	728190
	13:30	256.8	728192

Cuadro 4.29 Datos del medidor Magneto Flow en el punto por gravedad (primer prueba).

Hora / Fecha		Medidor magneto flow	Medidor org. operador
		Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )
Fecha	Hora	Zona por gravedad	
03-May-05	14:00	4488.0	731354.5
	14:30	4491.0	731357.0
	15:00	4494.0	731359.0
	15:30	4497.0	731361.0
	16:00	4500.0	731363.0
	16:30	4503.0	731365.5
	17:00	4506.0	731367.7
	17:30	4508.0	731369.0
	18:00	4511.0	731371.3
	18:30	4514.0	731373.5
	19:00	4517.0	731375.6
	19:30	4520.0	731377.9
	20:00	4522.0	731379.0
	20:30	4525.0	731381.0
21:00	4528.0	731383.0	
21:30	4530.0	731384.3	

Cuadro 4.30 Datos del medidor Magneto Flow en el punto por gravedad (segunda prueba).

#### 4.10.3.3 Cálculo y evaluación de los errores en macromedidores.

Una vez obtenidos los datos de caudal de los dos medidores se aplicó la fórmula de error a macromedidores (fórmula 4.8). En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos.

- Cálculo del porcentaje de error en macromedidores en el punto de extracción.

Hora / Fecha		Medidor magneto flow	Medidor CNA	Medidor magneto flow	Medidor CNA	% error
		Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	(EmM)
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Punto de extracción (pozo)</b>				
10-Abr-06	17:55	0.000	949436.350	---	---	---
11-Abr-06	10:10	527.660	949933.350	527.660	497.000	94.18
	10:40	584.420	949987.850	56.760	54.500	96.01
	11:10	601.770	950003.350	17.350	15.500	89.33
	11:40	613.660	950014.350	11.890	11.000	92.51
12-Abr-06	09:50	1643.830	950985.750	1030.170	971.400	94.29
	10:20	1704.330	951042.550	60.500	56.800	93.88
	10:50	1779.080	951113.500	74.750	70.950	94.91
	11:20	1796.980	951129.250	17.900	15.750	87.98
13-Abr-06	09:35	2644.520	951927.850	847.540	798.600	94.22
	10:05	2685.710	951967.050	41.190	39.200	95.16
14-Abr-06	10:00	3278.489	952527.350	592.779	560.300	94.52
	10:30	3322.190	952568.450	43.701	41.100	94.04
18-Abr-06	10:02	6523.260	955583.750	3201.070	3015.300	94.19
	10:32	6598.150	955653.050	74.890	69.300	92.53
21-Abr-06	10:20	9670.550	958541.500	3072.400	2888.450	94.01
	10:50	9688.980	958558.750	18.430	17.250	93.59
24-Abr-06	10:40	12345.202	961061.150	2656.222	2502.400	94.20
27-Abr-06	11:30	15191.770	963739.850	2846.568	2678.700	94.10
	12:00	15228.760	963774.480	36.990	34.630	93.61
29-Abr-06	13:00	17202.890	965632.780	1974.130	1858.300	94.13
02-May-06	11:40	19434.990	967730.980	2232.100	2098.200	94.00
05-May-06	10:30	21769.330	969923.350	2334.340	2192.370	93.91
08-May-06	10:15	24377.500	972370.210	2608.170	2446.860	93.81
					<b>Promedio</b>	<b>93.61</b>

Cuadro 4.31 Resultado del porcentaje de error del macromedidor en el punto de extracción.

Con esto se demuestra que el macromedidor original instalado en el punto de extracción tiene una eficiencia de **93.61%** es decir, tiene (-) **6.38%** de error (mide 6.38 litros de menos por cada 100 litros).

- Cálculo del porcentaje de error en macromedidores en el punto por rebombeo.

Hora / Fecha		Medidor magneto flow	Medidor org. operador	Medidor magneto flow	Medidor org. operador	% error
		Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	(EmM)
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Zona por rebombeo</b>				
10-Abr-06	17:55	Anp	382845 500	---	---	---
11-Abr-06	10:10	Anp	382928 900	---	83.400	---
	10:40	Anp	383018.500	---	89.600	---
	11:10	Anp	383044.000	---	25.500	---
	11:40	Anp	383060.300	---	16.300	---
12-Abr-06	09:50	Anp	383874.600	---	814.300	---
	10:20	Anp	383933.500	---	58.900	---
	10:50	Anp	384005.500	---	72.000	---
	11:20		670.150 384018.900	---	13.400	---
13-Abr-06	09:35		1237.030 384615.300	566.880	596.400	105.207
	10:05		1268.780 384647.500	31.750	32.200	101.417
14-Abr-06	10:00		1679.840 385077.500	411.060	430.000	104.607
	10:30		1724.870 385126.700	45.030	49.200	109.260
18-Abr-06	10:02		4066.740 387580.500	2341.870	2453.800	104.779
	10:32		4140.410 387659.500	73.670	79.000	107.234
21-Abr-06	10:20		6309.060 389942.450	2168.650	2282.950	105.270
	10:50		6326.660 389960.000	17.600	17.550	99.715
24-Abr-06	10:40		8111.100 391835.150	1784.440	1875.150	105.083
27-Abr-06	11:30		10126.950 393955.950	2015.850	2120.800	105.206
	12:00		10153.490 393984.010	26.540	28.060	105.727
29-Abr-06	13:00		11564.560 395468.720	1411.070	1484.710	105.218
02-May-06	11:40		13177.680 397160.430	1613.120	1691.710	104.871
05-May-06	10:30		14812.950 398875.580	1635.270	1715.150	104.884
08-May-06	10:15		16650.050 400802.620	1837.100	1927.040	104.895
					<b>Promedio</b>	<b>104.892</b>

Anp = Amplifier no programado.

Cuadro 4.32 Resultado del porcentaje de error del macromedidor en el punto por rebombeo.

Para el macromedidor original instalado en la línea de distribución por rebombeo se determinó que tiene una eficiencia de **104.89%** es decir, tiene (+) **4.89%** de error (mide 4.89 litros de más por cada 100 litros).

- Cálculo del porcentaje de error en macromedidores en el punto por gravedad.

Hora / Fecha		Medidor magneto flow	Medidor org. operador	Medidor magneto flow	Medidor org. operador	% error
		Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	(EmM)
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Zona por gravedad</b>				
03-Abr-06	07:00	218.9	728164	---	---	---
	07:30	222.3	728166	2.000	3.4	58.82
	08:00	225.6	728169	3.000	3.3	90.90
	08:30	Error accid	Error accid	Error accid	Error accid	Error accid
	09:00	226.7	728171	Error accid	Error accid	Error accid
	09:30	231.3	728174	3.000	4.6	65.21
	10:00	234.3	728176	2.000	3.0	66.66
	10:30	237.3	728178	2.000	3.0	66.66
	11:00	240.7	728180	2.000	3.4	58.82
	03-Abr-06	11:30	244.0	728183	3.000	3.3
12:00		247.0	728185	2.000	3.0	66.66
12:30		249.9	728187	2.000	2.9	68.96
13:00		253.3	728190	3.000	3.4	88.23
13:30		256.8	728192	2.000	3.5	57.14
					<b>Promedio</b>	<b>72.39</b>

Error accid = Error accidental.

Cuadro 4.33 Resultado del porcentaje de error del macromedidor en el punto por gravedad (primera prueba).



Hora / Fecha		Medidor magneto flow	Medidor org. operador	Medidor magneto flow	Medidor org. operador	% error
		Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	Lecturas (m <sup>3</sup> )	(EmM)
Fecha	Hora	Zona por gravedad				
03-May-06	14:00	4488.0	731354.5	2.500	---	---
	14:30	4491.0	731357.0	2.000	3.0	83.33
	15:00	4494.0	731359.0	2.000	3.0	66.66
	15:30	4497.0	731361.0	2.000	3.0	66.66
	16:00	4500.0	731363.0	2.500	3.0	66.66
	16:30	4503.0	731365.5	2.200	3.0	83.33
	17:00	4506.0	731367.7	1.300	3.0	73.33
	17:30	4508.0	731369.0	2.300	2.0	65
	18:00	4511.0	731371.3	2.200	3.0	76.66
	18:30	4514.0	731373.5	2.100	3.0	73.33
	19:00	4517.0	731375.6	2.300	3.0	70
	19:30	4520.0	731377.9	1.100	3.0	76.66
	20:00	4522.0	731379.0	2.000	2.0	55
	20:30	4525.0	731381.0	2.000	3.0	66.66
	21:00	4528.0	731383.0	1.300	3.0	66.66
21:30	4530.0	731384.3	2.500	2.0	65	
					Promedio	70.33

Cuadro 4.34 Resultado del porcentaje de error del macromedidor en el punto por gravedad (segunda prueba).

Por último se obtuvo el porcentaje de error de medición promediando el resultado de las dos pruebas.

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de error promedio final} &= \left( \frac{\text{promedio de error 1} + \text{promedio de error 2}}{2} \right) = \\ &= \left( \frac{72.39 + 70.33}{2} \right) = 71.36 \end{aligned}$$

Como resultado de realizar mediciones en diferentes días y a diferentes horas con el medidor magneto flow, se determinó que el macromedidor original instalado en la línea de distribución por gravedad reflejaba una eficiencia de aproximadamente **71.36%** es decir, un (-) **28.64%** de error (mide 28 litros de menos de cada 100 litros). Resultando este el medidor con mayores problemas de los tres analizados.

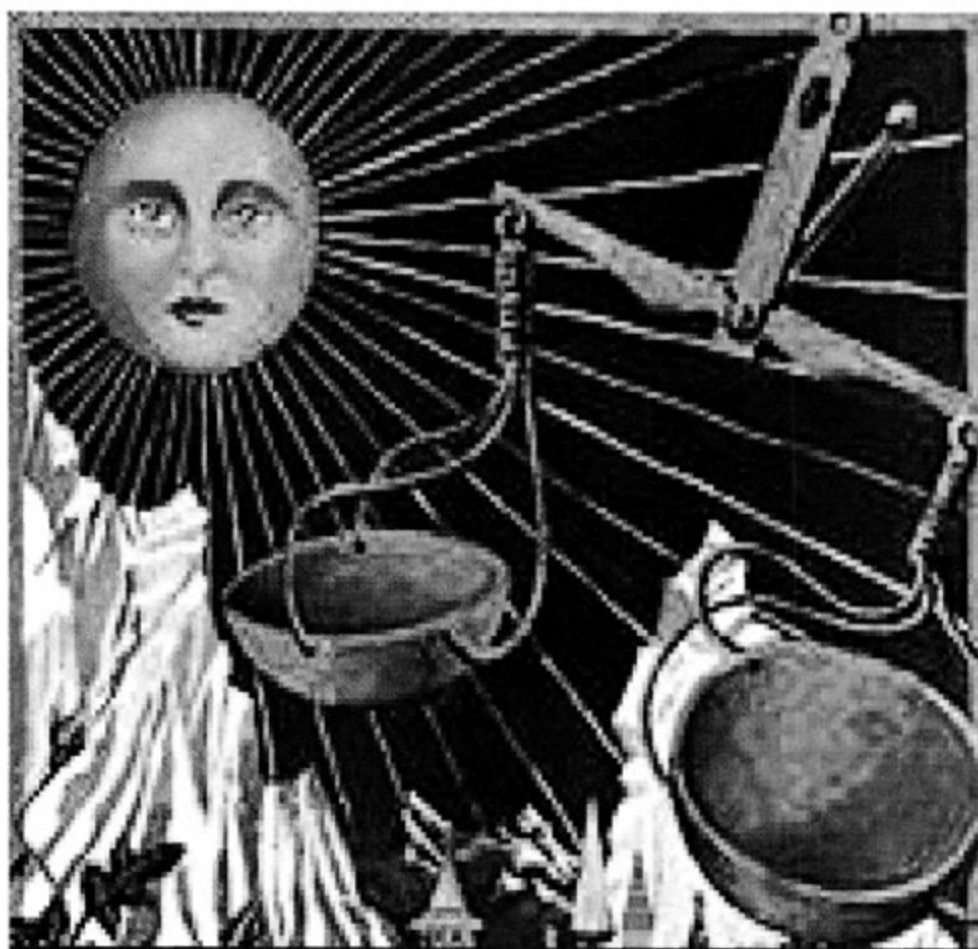
#### 4.10.3.4 Resultados de la prueba de error de medición en macromedidores.

Se clasificaron los medidores de acuerdo a su precisión de mayor a menor error basándose en el promedio de error absoluto de los ensayos (cuadro 4.29).

N°	Sector del medidor	% de error de medición
1	Sector por gravedad	(-) 28.64
2	Punto de extracción	(-) 6.38
3	Sector por rebombeo	(+) 4.89

Cuadro 4.35 Resultados de la prueba de error de medición en macromedidores.

## Capítulo 5



BALANCE DE AGUA EN LA RED DEL  
FRACCIONAMIENTO POTOSINO DE GOLF.

## **5.1 El Balance de agua.**

### **5.2 Que es un Balance de agua.**

Se define como balance de agua a la cantidad de agua potable que interviene en los abastecimientos de una localidad, conformado por los siguientes puntos:

1. El agua captada: es decir la que se deriva de las fuentes aprovechadas para el servicio (pozo, aljibes, tanques, etc).
2. El agua suministrada: es la parte del volúmen captado que entra al sistema de distribución de la ciudad, red o sistema.
3. El agua consumida: Es el agua usada por los usuarios para satisfacer sus necesidades.

Aparentemente los tres grandes bloques deberían ser iguales, sin embargo en la práctica, se ha notado que normalmente el agua suministrada es menor que el agua captada, la causa de esta diferencia se debe a que los usuarios, debido a que los consumos producidos por estos son solamente una fracción del total de agua suministrada al sistema. La magnitud de esas diferencias mide el rendimiento de los procesos dentro de la red (agua no contabilizada) y la forma en la que los factores se combinan relacionando las cantidades de agua que entra al sistema y las que salen, constituye "el balance del agua".

Otra definición de balance de agua aportada por M. Hemery y MD. Weimer establece que: "todos los insumos que entran a un proceso u operación dentro de una red o sistema de agua potable, salen como productos y como residuos. En tal sentido, un balance de agua se define como la verificación de la igualdad cuantitativa de agua que debe existir entre los insumos de entrada y los productos de salida.

El balance de agua es aplicable tanto a un proceso como a cada una de las operaciones unitarias dentro de una red o sistema. A menudo no es posible identificar todas las salidas, por lo que se incluye una diferencia de agua no cuantificada.

Por lo tanto, un balance, es la suma de toda el agua que entra en un proceso u operación y debe ser igual a la suma de toda el agua que sale de dicho proceso u operación".

El concepto de balance de agua se deriva del concepto de "balance en contabilidad" y es aplicado en distintos procesos que van desde el cálculo de masas, cálculo de contaminantes atmosféricos, auditorías operacionales de procesos, por mencionar algunos.

### 5.2.1 Clasificación de los balances de agua.

Debido a las diferentes etapas dentro de los procesos de abastecimiento, es posible plantear dos tipos diferentes de balances de agua dentro de un estudio:

1. El de producción, expresado como la suma de las aguas captadas es igual a las suministradas al sistema.
2. El de consumo, el cual se indica como la suma de las aguas suministradas al sistema es igual a la de las consumidas por los usuarios en sus procesos.

Cada uno de los dos tipos mencionados de balance tienen gran importancia dentro de distintos procesos, el balance de la producción es de gran importancia para el control de los puntos de abastecimiento, mientras que el de consumo se considera vital para el servicio, ya que es la base de la comercialización del agua (facturación-cobro-beneficio). Por esta razón, se optó por utilizar los dos tipos de balance para la estimación de agua no contabilizada, ya que gracias a la relación que existe entre ambas se definirá de manera concreta los porcentajes de agua dentro del fraccionamiento en estudio.

### 5.2.2 Expresión de los elementos de un balance de agua.

En la práctica se puede considerar que el balance del consumo y producción se plantea entre los volúmenes suministrados al sistema de distribución (Macromedición) que denominaremos como "S" y los correspondientes al uso racional del agua, o sea a los volúmenes justificados (Micromedición y extracción para usos del sistema) que denominaremos como "J". Se expresa por ello como el porcentaje con relación a (S) del valor (J) y se denomina como: "porcentaje de agua justificada". Su diferencia con respecto de 100% constituye entonces el "porcentaje de agua no contabilizada".

Para el desarrollo de éste sistema de índices, es necesario establecer previamente:

- a) La forma como se estiman los valores de S y J dentro del sistema.
- b) El significado que tiene el porcentaje que resulta después de realizar el balance de agua.

Un análisis de los elementos que intervienen en el proceso del balance permite formular los programas para optimizar el sistema después de obtener los resultados. De aquí la importancia de integrar todos los elementos que se presentan dentro del lugar a estudiar.

### 5.2.3 Selección de los elementos para la realización de un balance de agua.

La identificación de los elementos del consumo que constituyen un balance de agua pueden encontrarse teniendo en cuenta: "que la suma de los volúmenes ingresados al sistema de distribución por cualquier tipo de concepto deberá de ser igual a la suma de los volúmenes que salen de él". En la lámina 5.1, se muestran los puntos dentro de un sistema de distribución en los que se localiza la mayoría los diferentes elementos de control de un balance de agua.

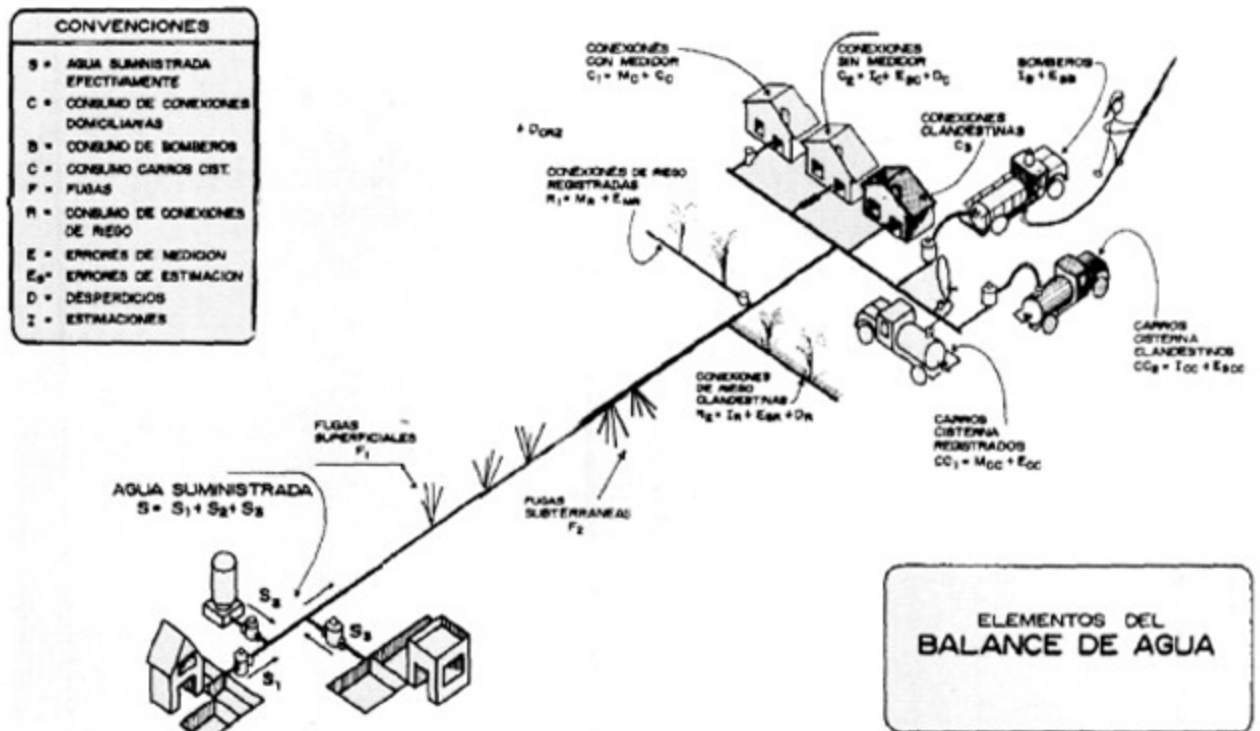


Lámina 5.1 Elementos a tomar en cuenta dentro del balance de agua.

Al iniciar un balance lo primero que se debe de calcular es la suma de los volúmenes netos (S) que ingresan y que está integrada por los suministros  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  aportados por cada una de las fuentes que suministran al sistema. Otro punto importante a calcular después del suministro son los volúmenes que salen (Volúmenes justificados) y que resultan de sumar los consumos por concepto de:

- Conexiones domiciliarias.
- Riego en zonas verdes.
- Agua tomada por carros cisterna.
- Servicio contra incendios.
- Agua usada en fuentes publicas.
- Agua pérdida por fugas y tomas clandestinas.
- Agua consumida en servicios ornamentales y recreativos.

Para que esta relación entre los puntos de suministro y de utilización produzca resultados satisfactorios es importante que se tome en cuenta:

- El agua medida en su totalidad por meses en períodos de un año
- Los errores de medición tanto en puntos de suministro (Macromedidores en puntos de extracción) como en puntos de consumo (Microdomiciliaria).
- Y medición de volúmenes por pérdidas en fugas y tomas clandestinas en caso de que se conozcan.

Todo el procedimiento mencionado se aplicará si se quiere conocer el porcentaje de agua justificada (la cantidad total de agua) dentro de un sistema, pero si se necesita conocer el porcentaje de agua no contabilizada se requerirá realizar un arreglo simple dentro de el balance, el cual consistirá en exceptuar los valores de fugas y tomas clandestinas para obtener un porcentaje que se sustraerá del 100% y así obtener el valor de las pérdidas dentro del sistema.

### **5.3 El tiempo como factor decisivo en la realización de un balance de agua.**

Para que el balance de agua pueda ofrecer resultados satisfactorios desde un principio, se deberán de seleccionar períodos de tiempos que satisfagan las necesidades tanto del tipo de investigación a realizar como de la disposición del personal que se encargara de obtener los datos de los diferentes elementos que conforman el sistema.

El menor lapso que se puede considerar en la práctica es de un día, para esto se toman los valores de volúmen al inicio y al final del período.

Si se realizáran períodos diarios de muestreo se obtendría un comportamiento totalmente diferente a que si se tomara de manera mensual, anual etc; tomando en cuenta que las muestras diarias ocasionarían errores de magnitud de hasta 25%, las muestras mensuales no pasarían del 1% y las anuales generarían un error despreciable. Por lo cual el método recomendable para realizar un balance de agua consiste en tomar mensualmente los datos y consolidarlos hasta obtener un año de medición.

### **5.4 Consideraciones a tomar para los suministros (puntos de extracción).**

Para que los datos del suministro correspondan a los volúmenes netos extraídos de cada uno de los puntos seleccionados dentro del sistema, es indispensable que se cumplan con los siguientes puntos:

- Que los valores de volúmen de extracción se establezcan por medio de aparatos medidores únicamente.



- No se deberán de emplear aparatos que no se hayan calibrado previamente, que no se hayan usado satisfactoriamente en distintos ambientes y propuestos con una alta eficiencia por parte del fabricante. Ya que los errores producidos en la medición le restan confiabilidad a las cifras obtenidas.
- Los medidores deberán de estar instalados en los puntos donde se realiza la extracción a cada punto le corresponderá un medidor.
- Antes de cada medidor no deberán de existir salidas, desembocaduras, llaves o válvulas que permitan la extracción de agua, con esto se evitan extracciones fuera de los valores de volúmen acumulado en el medidor.

La toma sistemática de los datos del agua suministrada dependerá de las condiciones locales y puede realizarse según los tiempos ya estipulados en el punto 5.3, ya que cada tiempo de muestro que seleccionemos impactará en los valores de medición de volúmen.

#### **5.4.1 Revisión de filtraciones en la cisterna.**

Un aspecto importante que se debe analizar al estar interpretando el funcionamiento del suministro que alimenta a un sistema, consiste en verificar el estado de todos y cada uno de los puntos de almacenamiento donde el agua extraída es almacenada para su uso y distribución. Para lograrlo se deben de reunir las siguientes características:

1. Que la cisterna, se encuentre conectada al punto de extracción con tuberías en buen estado, para evitar el cálculo de pérdidas por evaporación.
2. Que las tuberías conectadas a los distintos sectores a los que se distribuye el agua desde la cisterna, cuenten con válvulas de cierre.
3. Que la cisterna se encuentre aislada y protegida con el fin de evitar extracciones clandestinas desde el almacenamiento sin pasar por los puntos de medición.

Ya verificadas estas tres características se aísla la cisterna por medio del cierre de válvulas de los diferentes puntos de derivación y se procede a tomar alturas de nivel superficial durante un lapso de tiempo de mínimo 1 hora a máximo 1 día; así se obtiene la filtración dentro del almacenamiento.

#### **5.5 Fórmula, posibles escenarios y método alternativo para la realización de un balance de agua para un estudio de agua no contabilizada.**

Una vez que se lograron controlar los diferentes puntos dentro del sistema, se procede a la recolección de datos correspondientes dentro del período de tiempo seleccionado. Los datos obtenidos deberán estar organizados en diferentes

grupos que serán conformados por los elementos o puntos de medición, como a continuación se muestra en la fórmula 5.1:

*Balance inicial de agua (S = J)*

*Donde :*

$$\otimes (S) = S_1 + S_1 + S_1 + \dots + S_n$$

$$\otimes (J) = Cd + Rzv + Acc + Ai + Afp + Pf + Pcl + Asor.$$

*Por lo tanto:*

$$S_1 + S_1 + S_1 + \dots + S_n = Cd + Rzv + Acc + Ai + Afp + Pf + Pcl + Asor. \quad (\text{Fórmula 5.1})$$

Donde:

- S1, S2, S3.....Sn = Distintos puntos de suministro dentro del sistema (Macromedición).
- Cd = Consumos domiciliarios con medidor (Micromedición sin importar la clase, modelo y tipo de aparato).
- Rzv = Riego de zonas verdes.
- Acc = Agua tomada por carros cisterna.
- Ai = Agua contra incendios.
- Afp = Agua usada en fuentes públicas.
- Pf = Pérdidas por fugas.
- Pcl = Pérdidas por tomas clandestinas.
- Asor = Agua consumida en servicios ornamentales y recreativos.

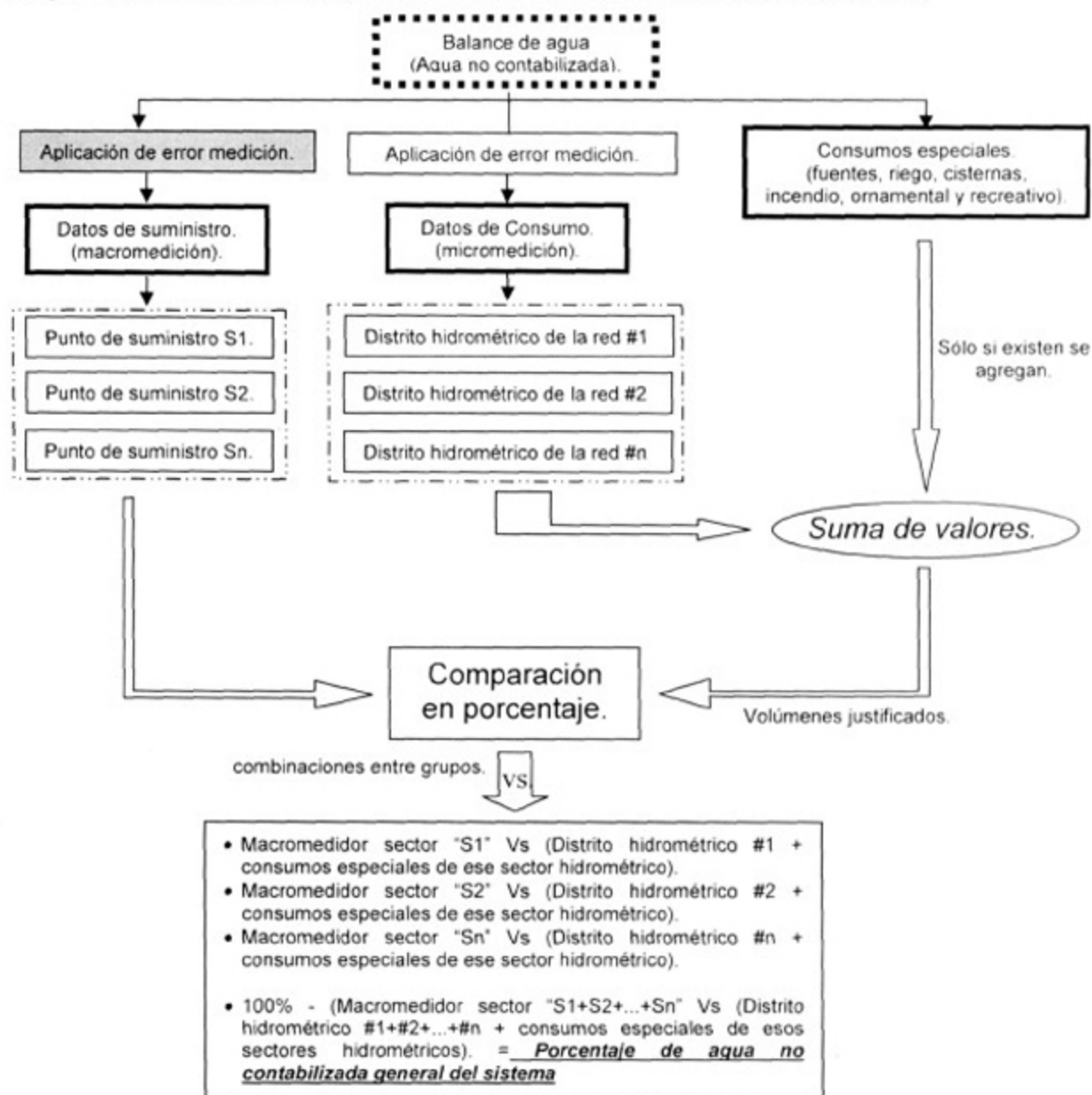
Hay que recordar que los valores de pérdidas por fuga y tomas clandestinas se prescinden de la ecuación solo si el estudio esta enfocado a determinar el porcentaje de agua no contabilizada dentro de un sistema.

Una vez desarrollada la ecuación y obtenidos los resultados de la igualdad obtendremos dos tipos de escenarios diferentes en un estudio de balance de agua:

1. Quando el resultado es negativo (-) = se entenderá que el valor del suministro fue menor al compararlo con el valor del agua justificada (consumos dentro del sistema); así podremos plantear que los errores se han sobrestimado y que es necesario ajustarlos restándole a la suma de ellos un valor igual a la cifra absoluta de esa diferencia.
2. Quando el resultado es positivo (+) = se entenderá que los valores de suministro están muy por encima del valor de agua justificada (consumos dentro del sistema), por lo que se planteará que existen consumos no identificados (agua no contabilizada).

Existe una variación del método que permite identificar de manera más rápida los porcentajes de agua no contabilizada y que es desarrollado en la mayoría de las investigaciones enfocadas al cálculo del porcentaje de pérdidas dentro de

sistemas hidráulicos. Éste se basa en la comparación de los puntos de suministro y de consumo de agua por medio de combinaciones entre grupos; para entender mejor el método, a continuación se muestra el desarrollo (cuadro 5.1).



Cuadro 5.1 Variación del método de balance.

## 5.6 Balance de agua para el cálculo del porcentaje de agua no contabilizada del Fraccionamiento Potosino de Golf.

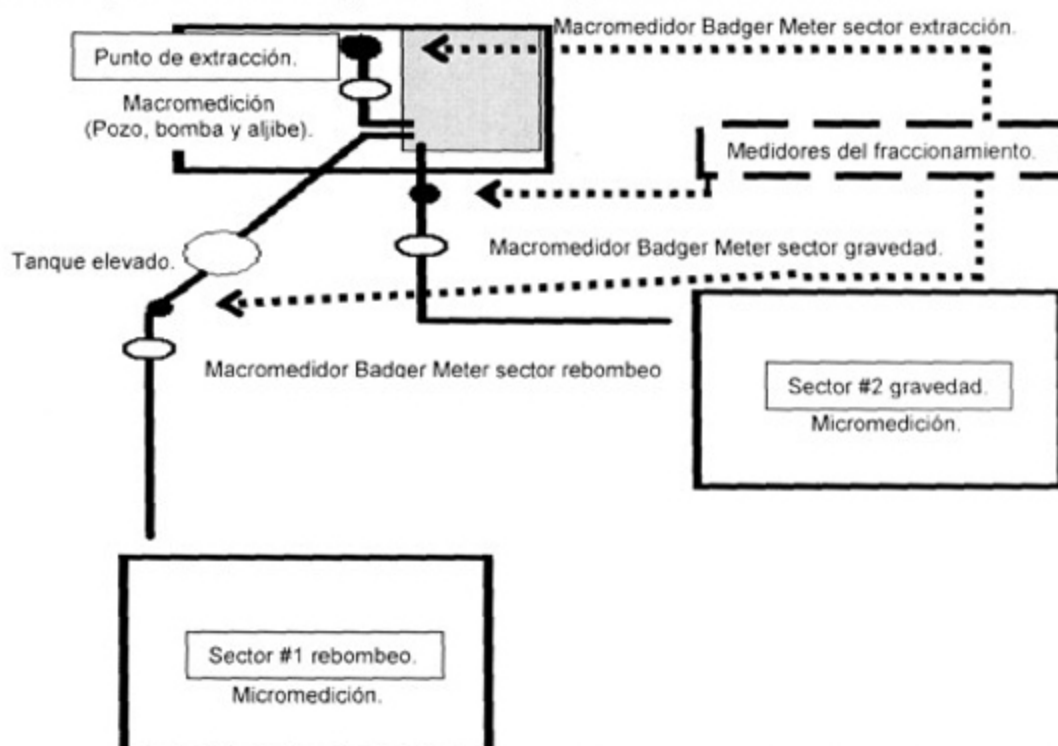
### 5.6.1 Selección de los puntos principales de consumo para la realización del balance de agua.

Para abarcar en su totalidad todos y cada uno de los elementos que conforman el Fraccionamiento Potosino de Golf se optó por la sectorización de la red en dos

zonas<sup>1</sup> que son alimentadas desde un mismo punto de suministro localizado dentro del pozo. En el punto de extracción se colocaron tres medidores especiales del mismo tipo y marca, con el fin de calcular el error de los macromedidores que se tenían instalados antes de efectuar la investigación<sup>2</sup>.

Para obtener los valores de volúmenes justificados o de consumos domiciliarios se realizó un estudio para calcular los errores de los micromedidores por medio de un muestreo estratificado<sup>3</sup>.

Tanto los errores de los macromedidores como los de los micromedidores fueron trasladados a todos los aparatos en los que se realizan la toma de datos, así se logran minimizar los errores que se pudieran presentar al momento de realizar el balance para calcular el porcentaje de agua no contabilizada.



Cuadro 5.2 Esquema general de distribución de los puntos de medición para la realización del balance de agua.

## 5.6.2 Consideraciones para el balance.

Una de las consideraciones más importantes que se tuvieron que tomar en cuenta para realizar el balance, fue la de no utilizar algunos términos del volumen justificado ya que estos puntos no existían o no afectaban a la ecuación final para identificar el agua no contabilizada. Los elementos no seleccionados fueron:

<sup>1</sup> Véase 3.4 Catastro general del Fraccionamiento Potosino de Golf.

<sup>2</sup> Véase Capítulo 4 Macro medición y Anexo I.

<sup>3</sup> Véase Capítulo 4 Micro medición y Anexo E.

- El riego en zonas verdes (Rzv). Éste elemento no se seleccionó en su totalidad, porque la mayoría de las áreas verdes dentro del fraccionamiento están siendo regadas con agua reciclada proveniente de la planta de tratamiento perteneciente al club de golf.

Dentro del fraccionamiento se pudieron identificar algunos micromedidores utilizados para medir volúmenes de riego en algunas zonas verdes, por lo que estos valores se tomarán en cuenta al momento de realizar el balance de agua.

- Agua tomada por carros cisterna (Acc). Debido a que no el organismo operador no tienen datos de los días, la cantidad y el número de veces que se realiza la operación de llenado de cisternas, se decidió tomar éste dato como parte del porcentaje del agua no contabilizada que se desea calcular.
- El servicio contra incendios (Ai). Éste valor solo se tomará en cuenta si dentro del período de tiempo seleccionado para la toma de datos se presentó un siniestro de éste tipo. Como no se presentó ningún caso dentro del fraccionamiento entonces su valor es nulo.
- El agua usada en fuentes públicas (Afp). Las fuentes que están dentro del fraccionamiento le pertenecen al club de golf y no se conectan a la red principal de agua potable, por lo que no se tomaron para el análisis del balance.
- Agua consumida en servicios ornamentales y recreativos (Asor). No existen servicios ornamentales y el centro recreativo que es el club de golf no se encuentra ligado a la red administrada por la asociación de colonos, por lo que éste valor tampoco se tomó dentro de la ecuación.

La ecuación queda de la siguiente manera después de las modificaciones:

$$S_1 + S_1 + S_1 + \dots + S_n = Cd + Rzv + Acc + Ai + Afp + Pf + Pcl + Asor$$

- $(Rzv), (Ai), (Afp), (Asor) \triangleright$  No tomados
- $(Acc) = (Pcl) \triangleright$  Igualdad.

Por lo tanto:

$$S_1 + S_1 + S_1 + \dots + S_n = Cd + (Pf + Pcl).$$

Donde:

- $(Pf + Pcl) \triangleright$  Agua no contabilizada.

Como es el valor buscado no se toma. La ecuación queda como a continuación se muestra:

$$\boxed{[100\% - (S_1 + S_1 + S_1 + \dots + S_n - Cd)] = (Pf + Pcl) \triangleright \text{Ecuación de agua no contabilizada.}}$$

### 5.6.3 Selección del tiempo para el levantamiento de datos.

Para la realización del balance de agua en fraccionamiento, se utilizaron una serie de datos proporcionados por el organismo operador obtenidos a lo largo del año 2003, los cuales fueron agrupados en tablas mensuales. Los datos tanto en los suministros como a nivel domiciliario se recopilaron de las carátulas de los medidores el primer y el último día de cada mes. La diferencia entre la medida de volumen inicial y la final de cada medidor mostraba la cantidad de agua que pasaba por estos puntos.

La razón por la que el año 2003 se seleccionó para la realización del balance se debe a que en éste lapso se tuvo una continuidad en la toma de datos en todos los domicilios sin tener huecos (datos no tomados), y que en los suministros no hubo cambios de aparatos o de interrupción de flujos.

### 5.6.4 Desarrollo del balance de agua.

Una vez que todos los errores se han trasladado a los medidores encargados de la toma de datos en el suministro y a nivel domiciliar<sup>4</sup>, se procedió a acomodarlos en tablas para poder aplicar la variación del método siguiendo el orden indicado en 5.5.

#### 5.6.4.1 Datos de los Suministros (macromedición).

A continuación se muestran los valores de volumen suministrados a cada uno de los sectores durante el año del 2003. Los valores en las tablas ya han sido modificados con los errores de medición.

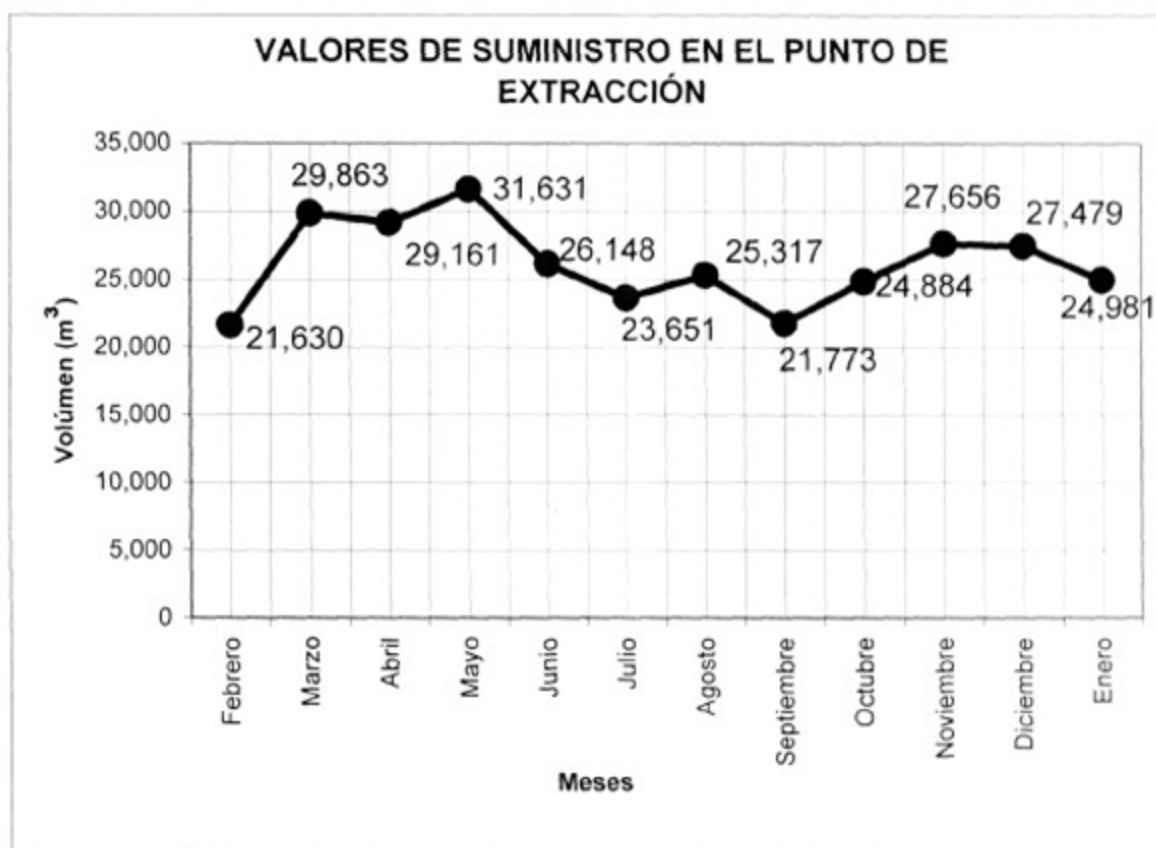
- Suministro #1 extracción del pozo:

FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO		
periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )
01 02 03	28 02 03		01 03 03	31 03 03		01 04 03	30 03 03		01 05 03	31 05 03	
987,784	1,009,414	21,630	11,780	41,645	29,866	42,803	71,966	29,164	73,120	104,754	31,634
JUNIO			JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE		
periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )
01 06 03	30 06 03		01 07 03	31 07 03		01 08 03	31 08 03		01 09 03	30 09 03	
105,300	131,450	26,151	132,479	156,133	23,654	156,923	182,243	25,320	183,121	204,895	21,775
OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE			ENERO 2004		
periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	Periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )
01 10 03	31 10 03		01 11 03	30 11 03		01 12 03	31 12 03		01 01 04	31 01 04	
205,999	230,885	24,887	232,153	259,811	27,658	260,764	288,246	27,482	289,324	314,308	24,984

Cuadro 5.3 Volúmenes de agua anual en el punto de extracción (m<sup>3</sup>).

<sup>4</sup> Véase Capítulo 4 Macromedición y Micromedición

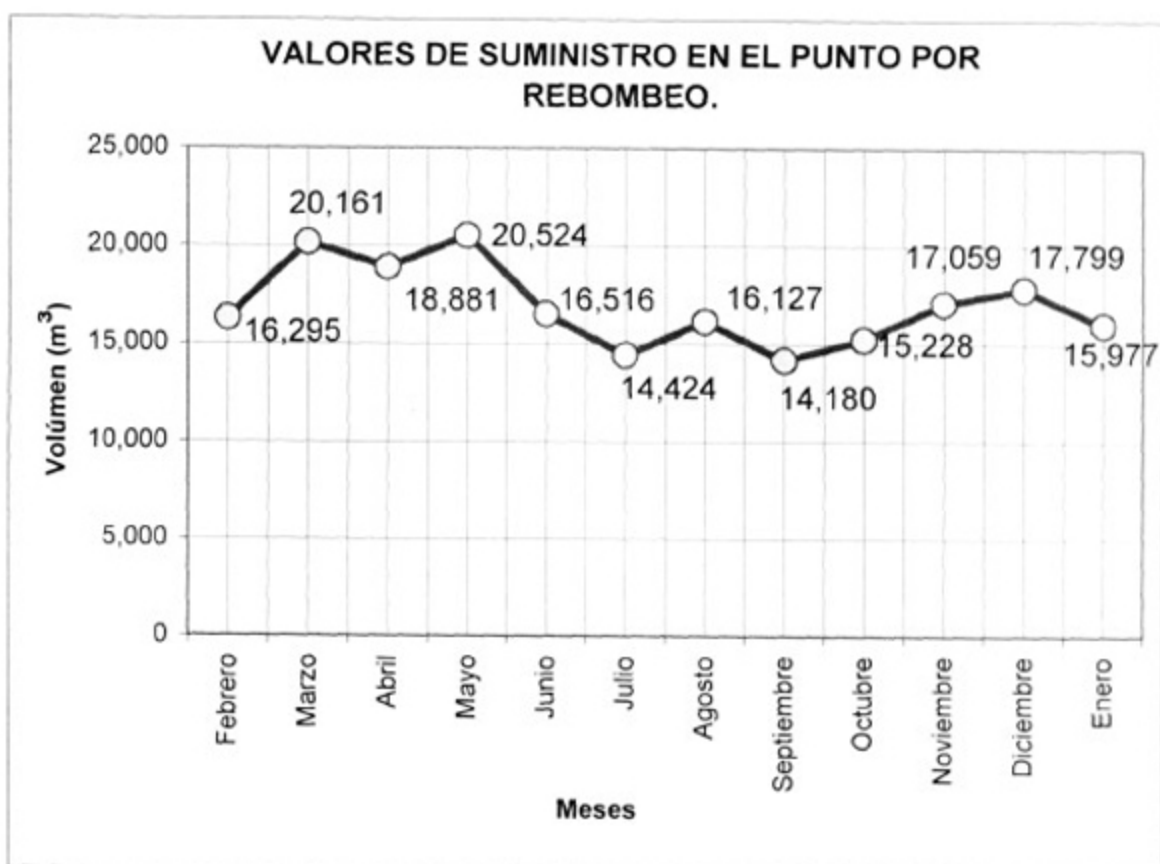




- Suministro #2 sector por rebombeo.

FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO		
periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )
01 02 03	28 02 03	16,295	01 03 03	31 03 03	20,161	01 04 03	30 03 03	18,881	01 05 03	31 05 03	20,524
435,162	451,457		452,023	472,184		472,942	491,823		492,847	513,371	
JUNIO			JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE		
periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )
01 06 03	30 06 03	16,516	01 07 03	31 07 03	14,424	01 08 03	31 08 03	16,127	01 09 03	30 09 03	14,180
513,878	530,394		531,046	545,470		545,961	562,088		562,755	576,935	
OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE			ENERO 2004		
periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	Periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )
01 10 03	31 10 03	15,228	01 11 03	30 11 03	17,059	01 12 03	31 12 03	17,799	01 01 04	31 01 04	15,977
577,541	592,769		593,389	610,448		611,124	628,923		629,295	645,272	

Cuadro 5.4 Volúmenes de agua anual por el sector de rebombeo (m<sup>3</sup>).



- Suministro #3 sector por gravedad.

FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO		
periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )
01 02 03	28 02 03	4,004	01 03 03	31 03 03	7,106	01 04 03	30 03 03	7,761	01 05 03	31 05 03	9,596
799,158	803,163		803,287	810,393		810,780	818,541		818,861	828,457	
JUNIO			JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE		
periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )
01 06 03	30 06 03	7,331	01 07 03	31 07 03	6,490	01 08 03	31 08 03	6,383	01 09 03	30 09 03	4,192
828,606	835,937		836,260	842,750		843,049	849,432		849,683	853,875	
OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE			ENERO 2004		
periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )	Periodo		Vol. (m <sup>3</sup> )
01 10 03	31 10 03	6,234	01 11 03	30 11 03	10,258	01 12 03	31 12 03	6,520	01 01 04	31 01 04	5,494
854,107	860,341		860,521	870,779		871,118	877,638		877,702	883,196	

Cuadro 5.5 Volúmenes de agua anual por el sector de gravedad (m<sup>3</sup>).



#### 5.6.4.1.1 Eficiencia de medición en el punto de suministro.

Como se menciona, el pozo de donde se extrae el agua está dividido en tres puntos de control, cada uno de estos distribuye agua a diferentes sectores. Una de las peculiaridades de estos puntos es que los sectores que alimentan a los dos distritos hidrométricos son controlados a su vez por el punto de extracción ya que derivan de éste; si comparamos los valores del sector por gravedad más el sector de rebombeo contra la extracción obtendremos el porcentaje de eficiencia de medición, Una buen valor de eficiencia está alrededor de un 80 a 100% teniendo como peor escenario un porcentaje menor del 60%.

Para poder obtener éste valor se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%Ecp = \left( \frac{Mgm + Mrm}{Mem} \right) * 100 \quad (\text{Fórmula 5.1})$$

Donde:

- %Ecp = Porcentaje de eficiencia de medición en el pozo.
- Mgm = Valor de medición por mes en el sector de gravedad.
- Mrm = Valor de medición por mes en el sector de rebombeo.
- Mem = Valor de medición por mes en el punto de extracción.

Utilizando los valores del punto 5.6.4.1 podemos obtener las siguientes eficiencias:

$$\begin{aligned} \%Ecp\_Feb &= \left( \frac{4004 + 16295}{21.630} \right) * 100 = 93.8\% \\ \%Ecp\_Mar &= \left( \frac{7106 + 20161}{29966} \right) * 100 = 91.3\% \\ \%Ecp\_Abr &= \left( \frac{7761 + 18881}{29161} \right) * 100 = 91.4\% \\ \%Ecp\_May &= \left( \frac{9536 + 20524}{31631} \right) * 100 = 95.2\% \\ \%Ecp\_Jun &= \left( \frac{7331 + 16516}{26148} \right) * 100 = 91.2\% \\ \%Ecp\_Jul &= \left( \frac{6490 + 14424}{23651} \right) * 100 = 88.4\% \\ \%Ecp\_Ago &= \left( \frac{6383 + 16127}{25317} \right) * 100 = 88.9\% \\ \%Ecp\_Sep &= \left( \frac{4192 + 14180}{21773} \right) * 100 = 84.4\% \\ \%Ecp\_Oct &= \left( \frac{6234 + 15228}{24884} \right) * 100 = 86.2\% \\ \%Ecp\_Nov &= \left( \frac{10258 + 17059}{27656} \right) * 100 = 98.8\% \\ \%Ecp\_Dic &= \left( \frac{6520 + 17799}{27479} \right) * 100 = 88.5\% \\ \%Ecp\_Enero\ 2004 &= \left( \frac{5494 + 15977}{24981} \right) * 100 = 85.9\% \end{aligned}$$

PORCENTAJE DE EFICIENCIA MACROS (GRAVEDAD + REBOMBEO vs EXTRACCION)											
FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE 04
93.8	91.3	91.4	95.2	91.2	88.4	88.9	84.4	86.2	98.8	88.5	85.9
<b>Promedio</b>											
90.343994											

Cuadro 5.6 Eficiencias de medición dentro del suministro.

Como se puede observar en el cuadro 5.6 los valores de eficiencia se encuentran dentro del rango que asegura un buen funcionamiento de los tres puntos de suministro que alimentan a la red, por lo que se puede concluir que éste elemento no influirá de manera negativa al porcentaje de agua no contabilizada obtenido de la ecuación de balance.

#### 5.6.4.1.2 Revisión de filtraciones en la cisterna.

La cisterna del Fraccionamiento Potosino de Golf ubicada dentro del área del pozo de extracción, reunió todos los puntos necesarios para verificación de filtraciones<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Véase Anexo E.



Lámina 5.2 Croquis de la cisterna.

Para llevar a cabo el estudio, se levantaron datos durante un lapso de tiempo de 3:30 horas en condiciones aisladas. A las 10:25 hrs. se inició la toma de datos mediante el apagado de la bomba en el punto de extracción y el cierre de válvulas de compuerta en la línea por gravedad y rebombeo. Todo esto para evitar que el agua en el almacenamiento superficial fuera usada y poder medir las posibles filtraciones.

Después de terminar las mediciones, se reanudó el funcionamiento de la bomba en la extracción y se abrieron las válvulas de compuerta. Los datos finales se muestran en el cuadro 5.7.

REVISIÓN DE POSIBLES FILTRACIONES EN EL ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL							
15-Abr-05	Macromedidores (m <sup>3</sup> )			Volúmenes (m <sup>3</sup> )			nivel de la cisterna (m)
Hora	Extracción	Rebombeo	Gravedad	Extracción	Rebombeo	Gravedad	
10:25	636793.833	106458.74	722998.50				2.690
10:45	636793.833	106458.74	722998.50	0.000	0.000	0.000	2.690
11:09	636793.833	106458.74	722998.50	0.000	0.000	0.000	2.685
11:25	636793.833	106458.74	722998.50	0.000	0.000	0.000	2.680
11:50	636793.833	106458.74	722998.50	0.000	0.000	0.000	2.680
12:10	636793.833	106458.74	722998.50	0.000	0.000	0.000	2.679
12:30	636793.833	106458.74	722998.50	0.000	0.000	0.000	2.679
13:10	636793.833	106458.74	722998.50	0.000	0.000	0.000	2.675
13:55	636793.833	106458.74	722998.50	0.000	0.000	0.000	2.630

Cuadro 5.7 Datos para el cálculo de filtraciones en el almacenamiento.

Se puede observar que tanto en el punto de extracción como los dos sectores de alimentación a la red no indicaron variación en el volumen, demostrando el aislamiento de la cisterna.

Por ultimo podemos observar que el nivel superficial del agua dentro de la cisterna tuvo una variación casi nula de aproximadamente  $(2.690 - 2.630) = 6\text{cm}$  lo que indica que dentro del almacenamiento no existen filtraciones que puedan afectar el balance de agua.

#### 5.6.4.2 Datos de volúmenes justificados (micromedición).

Para utilizar éste elemento dentro de la ecuación de balance y obtener el porcentaje de agua no contabilizada, los datos que integran esta variable debieron de pasar por una serie procedimientos cuya principal función es afectar los consumos domiciliarios por un porcentaje de error de medición obtenido en pruebas de laboratorio siguiendo el orden indicado en el punto 4.8.2.2.1.

Una vez obtenidos los promedios de error para los dos sectores en los que se dividió la red (distritos hidrométricos)<sup>6</sup>, se procedió a realizar el acomodo de todos los promedios de consumos domiciliarios con errores aplicados considerando los siguientes aspectos:

1. Todos los valores de los promedios de consumos domiciliarios con errores aplicados deben de ser clasificados en grupos atendiendo al tipo, modelo, sector y edad de micromedidor.
2. A cada uno de los datos ya clasificados se le designa una clave única que lo diferencie de los demás valores promedio con igual consumo, pero diferente error aplicado, como se muestra a continuación:

#### Prueba Qn = 41.67 lts/s

#### Medidor probado en laboratorio del cual se obtuvo el error

# clave	Edad	Marca	# casa	Lote	# registro
4	3	Badger meter	268	21	10800543

#### Promedio de valores obtenido de medidores multiplicados por el error del medidor #10800543 con características similares (tipo, edad, modelo y sector).

clave	sec	Edad	Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
55	grav	3	620	45.32	60.6	62.7	63.7	56.5	49.3	61.6	49.3	48.3	50.3	64.7	63.7
56	grav	3	368	111.0	65.8	125.3	104.8	106.8	120.2	84.2	107.9	83.2	81.2	80.1	178.8
57	grav	3	366	147.9	150.0	169.5	160.3	168.5	154.1	181.8	195.2	159.2	166.4	154.1	134.6
58	grav	3	404	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	99.7	80.1
59	grav	3	408	63.7	48.3	42.1	46.2	60.6	40.1	41.1	41.1	29.8	38.0	46.2	43.1
60	grav	3	414	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
61	grav	3	429	40.1	72.9	100.7	139.7	146.9	78.1	82.2	71.9	56.5	60.6	42.1	66.8
62	grav	3	476	119.2	96.6	128.4	136.6	213.7	122.3	62.7	56.5	81.2	97.6	94.5	55.5
63	grav	3	492	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
64	grav	3	599	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

<sup>6</sup> Véase capítulo 3 Catastro de la red del Fraccionamiento Potosino de Golf.



### Medidor probado en laboratorio del cual se obtuvo el error

# clave	Edad	Marca	# casa	Lote	# registro
14	3	Badger meter	340	21	20880953

Promedio de valores obtenido de medidores multiplicados por el error del medidor **#20880953** con características similares (tipo, edad, modelo y sector).

clave	sec	Edad	Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
65	grav	3	620	43.8	58.7	60.7	61.7	54.7	47.8	59.7	47.8	46.8	48.8	62.7	61.7
66	grav	3	368	107.5	63.7	121.4	101.5	103.5	116.5	81.6	104.5	80.6	78.6	77.6	173.2
67	grav	3	366	143.3	145.3	164.2	155.3	163.2	149.3	176.2	189.1	154.3	161.3	149.3	130.4
68	grav	3	404	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	96.6	77.6
69	grav	3	408	61.7	46.8	40.8	44.8	58.7	38.8	39.8	39.8	28.9	36.8	44.8	41.8
70	grav	3	414	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
71	grav	3	429	38.8	70.7	97.5	135.4	142.3	75.7	79.6	69.7	54.7	58.7	40.8	64.7
72	grav	3	476	115.5	93.6	124.4	132.4	207.0	118.5	60.7	54.7	78.6	94.6	91.6	53.8
73	grav	3	492	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
74	grav	3	599	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Cuadro 5.8 Designación de la clave única para promedios de consumos domiciliarios con errores aplicados por cada tipo de prueba.

- Una vez terminado el acomodo se dispuso de los valores para realizar el balance de agua utilizando el método sugerido en el punto 5.5.

Para mostrar como se acomodaron los datos de los volúmenes justificados para realizar el balance de agua, en seguida se proporciona un ejemplo que contiene solo los valores de consumo final por el sector de gravedad sin tomar en cuenta el sector por rebombeo y sólo contempla el mes de febrero del 2003. La tabla completa contiene el análisis de los consumos en un período anual comenzando el primero de febrero del 2003 hasta el 31 enero del 2004.

Los valores serán agrupados según el tipo de medidor, edad de medidor, sector (distrito hidrométrico), tipo de prueba y valores mensuales de consumo.

Hay que recordar que todavía existen otros dos tipos de pruebas que son la de (0.5Qn = 20 lts/s) y (0.3Qn = 12.5 lts/s). Para cada uno de estos ensayos se efectuaron los mismos pasos y esquemas como para la prueba de (Qn = 41.67 lts/s).

Ejemplo:

### Sector por gravedad, prueba Qn = 41.67 lts/s, mes de febrero 2003

Tipo medidor y edad medidor	CLAVE única	Sector	Lote	Consumos FEB (m <sup>3</sup> )
Medidores Badger meter (con edad "2")	1	gravedad	621	12.14
	2	gravedad	402	118.37
	3	gravedad	412	97.12
	4	gravedad	421	103.19
	5	gravedad	438	0.00
	6	gravedad	465	159.85
	7	gravedad	7Z	0.00
	8	gravedad	2Z	0.00
	9	gravedad	509	52.61

<b>Medidores Badger meter (con edad "3")</b>	55	gravedad	620	45.32
	56	gravedad	368	111.24
	57	gravedad	366	148.33
	58	gravedad	404	0.00
	59	gravedad	408	63.86
	60	gravedad	414	0.00
	61	gravedad	429	40.17
	62	gravedad	476	119.49
	63	gravedad	492	0.00
64	gravedad	599	0.00	
<b>Medidores Badger meter (con edad "5")</b>	175	gravedad	449	74.59
<b>Medidores Badger meter (con edad "6")</b>	176	gravedad	1Q(A)	0.00
	177	gravedad	465(A)	0.00
<b>Medidores Badger meter (con edad "7")</b>	1085	gravedad	418	111.09
	1086	gravedad	462	77.67
<b>Medidores Badger meter (con edad "9")</b>	178	gravedad	446	45.39
	179	gravedad	3Z	0.00
<b>Medidores Badger meter (con edad "11")</b>	180	gravedad	409	84.42
<b>Medidores Badger meter (con edad "13")</b>	181	gravedad	458	44.27
<b>Medidores Cicasa 00 (CONSTRUCCION)</b>	182	gravedad	396P	Construcción
	183	gravedad	459	Construcción
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "2")</b>	184	gravedad	478	40.18
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "3")</b>	185	gravedad	363	127.58
	186	gravedad	413	0.00
	187	gravedad	1Q	66.30
	188	gravedad	464	66.30
	189	gravedad	628	48.67
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "4")</b>	190	gravedad	448	0.00
	191	gravedad	468(A)	0.00
	192	gravedad	627	26.58
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "5")</b>	193	gravedad	387	64
	194	gravedad	389	120.12
	195	gravedad	405	103.39
	196	gravedad	406	119.14
	197	gravedad	436	92.55
	198	gravedad	470	64.99
	199	gravedad	470(A)	0
	216	gravedad	374	86.03
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "6")</b>	217	gravedad	381	49.29
	218	gravedad	385	81.55
	219	gravedad	490	133.53
	236	gravedad	410	29.47
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "7")</b>	237	gravedad	411	27.5
	238	gravedad	461	31.43
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "8")</b>	239	gravedad	415	1.98
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "9")</b>	240	gravedad	389(A)	0
	241	gravedad	419	25.68
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "10")</b>	242	gravedad	504G	0
	243	gravedad	504H	30.44
	244	gravedad	450	60.87
	245	gravedad	474	16.69
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "11")</b>	254	gravedad	407	56.97
	255	gravedad	435	43.22
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "12")</b>	260	gravedad	380	75.09
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "14")</b>	268	gravedad	624	26.92
	269	gravedad	372	63.8
	270	gravedad	595	53.83
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "17")</b>	272	gravedad	472	47.85
<b>Medidores Cicasa 00 (con edad "20")</b>	275	gravedad	600	27.91
	276	gravedad	622	18.94
<b>Medidores Cicasa 1998 (con edad "4")</b>	277	gravedad	503	8.13
<b>Medidores Cicasa 1998 (con edad "7")</b>	279	gravedad	24.82	29.28
<b>Medidores Cicasa 1998 (con edad "9")</b>	280	gravedad	501	42.76
<b>Medidores Cicasa 1998 (con edad "13")</b>	281	gravedad	460	10.14
<b>Medidores Cicasa 1998 (con edad "15")</b>	282	gravedad	443	153.91

Medidores Cicasa 1998 (con edad "24")	283	gravedad	445	19.89
Medidores Cicasa 1999 (con edad "5")	284	gravedad	427	27.67
Medidores Cicasa 1999 (con edad "7")	285	gravedad	626	36.96
Medidores Cicasa 1999 (con edad "8")	287	gravedad	434	13.43
Medidores Cicasa 1999 (con edad "10")	288	gravedad	444	43.59
Medidores Cicasa 2000 (con edad "6")	289	gravedad	508	117.07
Medidores Cicasa 2001 (con edad "4")	292	gravedad	623	36.98
	293	gravedad	369	59.17
	294	gravedad	467	20.08
Medidores Cicasa 2001 (con edad "5")	301	gravedad	370	30.02
Medidores Cicasa 2001 (con edad "6")	306	gravedad	365	107.74

Cuadro 5.9 Ejemplo para el acomodo de los consumos finales (volúmenes justificados con error aplicado).

### 5.6.4.2.1 Datos de consumos especiales.

Para obtener el porcentaje de agua no contabilizada por medio de un balance de agua, se requiere el manejo de una gran cantidad de datos (volúmenes justificados, suministros, etc). Puede llegar a ocurrir que al momento de recolectar los valores se omitan algunos parámetros debido a la magnitud de los datos o bien, son valores que se identificaron al final ó que no pudieron ser tomados en cuenta dentro de la ecuación. A continuación se exponen los consumos especiales a los que no se les pudo aplicar el porcentaje de error, ya que los medidores que se probaron en el laboratorio perteneciente a éste modelo no funcionaban correctamente y fué imposible trabajar con ellos.

#### Sector por gravedad. Medidores Kent

Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
468	54	52	1	30	184	130	166	127	128	126	58	42
493	52	67	53	50	51	54	70	38	18	26	31	39
495	133	127	157	147	171	135	140	130	109	111	103	139
495(A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	7
499	73	79	91	98	109	84	69	87	94	83	88	110
498	498	131	156	161	161	162	131	115	141	102	109	117

#### Sector por rebombeo. Medidores Kent

Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
105	19	32	40	18	15	24	15	18	18	15	18	18
132	84	77	82	86	102	88	53	59	53	83	103	110
159	17	31	36	37	36	35	24	24	21	21	26	28
172	55	62	67	55	82	90	91	78	84	48	48	43
191	41	68	105	92	75	50	44	48	34	45	56	69
229	34	32	11	38	63	45	18	24	22	30	69	48
267	26	31	29	39	54	57	47	6	66	22	58	27
278	99	88	80	90	100	58	43	48	37	37	60	47
279	109	120	116	129	109	125	119	103	94	108	115	122
538	41	38	22	93	79	92	66	75	58	54	84	79
581	49	76	94	99	95	98	56	58	36	30	71	70
657	100	120	127	128	135	103	92	89	91	85	98	98

Cuadro 5.10 consumos de los lotes con medidores Kent (m<sup>3</sup>).

Aparte de los medidores Kent existen otros consumos especiales que pertenecen a medidores situados en casetas de vigilancia, baños, áreas verdes y oficinas,

todos estos volúmenes deben de considerarse para la realización del balance de agua

### Sector por gravedad, consumos especiales.

Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
438	0	0	0	0	1	4	2	1	2	11	140	6

### Sector por rebombeo, consumos especiales.

Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
6	78	81	69	44	38	0	86	56	46	34	37	26
24	67	81	94	189	171	138	78	111	75	77	129	102
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
253	123	120	127	129	166	146	105	125	146	183	120	120
550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
619	60	129	150	141	114	99	58	61	45	42	47	58
640	53	42	60	4	16	33	43	23	16	8	3	2
646	3	6	7	8	5	18	34	34	13	0	0	0
650	59	79	84	64	69	52	48	43	54	51	56	53
706	67	69	81	80	77	73	44	63	62	72	77	105
118A	27	21	34	33	30	31	6	14	14	3	41	21

Cuadro 5.11 consumos de los lotes situados en casetas de vigilancia, baños, áreas verdes y oficinas (m<sup>3</sup>).

### 5.6.5 Balance de agua.

Ya acomodados los datos de suministro, los datos de volúmenes justificados y habiendo añadido los consumos especiales se procedió a la combinación entre grupos para la obtención de los distintos porcentajes, mismos que nos permitirán analizar la cantidad de agua no contabilizada, como se muestra en el punto 5.5.

Para entender como se efectuó el balance a manera de ejemplo se van a presentar una serie de valores provenientes de la tabla original, que por tamaño y extensión es imposible mostrar.

1. Los volúmenes justificados de los dos sectores se presentan como muestra el punto 5.6.4.2. Para éste ejemplo solo se utilizaron los medidores que tenían una edad de 2 y 3 años, la tabla general considera todas las edades y medidores.

### Volúmenes justificados (m<sup>3</sup>) por el sector de gravedad, con consumos especiales. Tipo de prueba (Qn = 41.67 lts/s).

Clave	sector	Edad	Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
1	grav	2	621	12.1	17.2	23.3	20.2	19.2	15.2	7.1	12.1	7.1	10.1	10.1	15.2
2	grav	2	402	118.4	123.4	167.9	300.5	293.4	226.6	232.7	222.6	229.7	226.6	237.8	203.4
3	grav	2	412	97.1	118.4	115.3	165.9	139.6	75.9	104.2	85.0	67.8	104.2	132.5	121.4
4	grav	2	421	103.2	108.3	127.5	126.5	118.4	110.3	99.1	108.3	93.1	106.2	113.3	116.3
5	grav	2	438	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.0	2.0	1.0	2.0	11.1	141.6	6.1
6	grav	2	465	159.8	191.2	182.1	198.3	208.4	138.6	104.2	117.4	84.0	109.3	131.5	148.7
7	grav	2	7Z	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	grav	2	2Z	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	138.6
9	grav	2	509	52.6	34.4	56.7	51.6	97.1	0.0	115.3	39.5	57.7	57.7	75.9	74.9
55	grav	3	620	45.3	60.8	62.8	63.9	56.7	49.4	61.8	49.4	48.4	50.5	64.9	63.9
56	grav	3	368	111.2	65.9	125.7	105.1	107.1	120.5	84.5	108.2	83.4	81.4	80.3	179.2
57	grav	3	366	148.3	150.4	170.0	160.7	168.9	154.5	182.3	195.7	159.7	166.9	154.5	134.9



Clave	sector	Edad	Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
58	grav	3	404	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	99.9	80.3
59	grav	3	408	63.9	48.4	42.2	46.4	60.8	40.2	41.2	41.2	29.9	38.1	46.4	43.3
60	grav	3	414	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
61	grav	3	429	40.2	73.1	100.9	140.1	147.3	78.3	82.4	72.1	56.7	60.8	42.2	67.0
62	grav	3	476	119.5	96.8	128.8	137.0	214.2	122.6	62.8	56.7	81.4	97.9	94.8	55.6
63	grav	3	492	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
64	grav	3	599	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**Consumos especiales sector por gravedad**

Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
468	54	52	1	30	184	130	166	127	128	126	58	42
493	52	67	53	50	51	54	70	38	18	26	31	39
495	133	127	157	147	171	135	140	130	109	111	103	139
495(A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	7
499	73	79	91	98	109	84	69	87	94	83	88	110
498	498	131	156	161	161	162	131	115	141	102	109	117

Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
438	0	0	0	0	1	4	2	1	2	11	140	6

**Volúmenes justificados (m<sup>3</sup>) por el sector de rebombeo, con consumos especiales. Tipo de prueba (Qn = 41.67 lts/s).**

Clave	sector	Edad	Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
307	reb	2	610	64.7	89.0	111.3	136.6	137.6	129.5	77.9	91.1	54.6	88.0	98.1	57.7
308	reb	2	630	34.4	36.4	49.6	46.5	45.5	41.5	29.3	30.4	33.4	39.5	32.4	31.4
309	reb	2	590	0.0	15.2	3.0	104.2	64.7	70.8	119.4	73.9	123.4	207.4	166.9	67.8
310	reb	2	289	68.8	175.0	149.7	164.9	66.8	117.4	100.2	72.8	60.7	84.0	107.2	59.7
311	reb	2	289(A)	0.0	0.0	0.0	0.0	74.9	64.7	106.2	139.6	64.7	89.0	114.3	138.6
312	reb	2	317	40.5	42.5	15.2	54.6	63.7	68.8	69.8	69.8	44.5	46.5	91.1	48.6
313	reb	2	4	54.6	51.6	48.6	71.8	93.1	44.5	7.1	30.4	85.0	20.2	23.3	56.7
314	reb	2	35	23.3	10.1	11.1	8.1	11.1	10.1	11.1	6.1	7.1	9.1	8.1	10.1
355	reb	3	609	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
356	reb	3	612	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
357	reb	3	613	80.3	95.8	115.4	96.8	102.0	108.2	72.1	109.2	99.9	73.1	102.0	193.6
358	reb	3	71	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
359	reb	3	86(A)	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
360	reb	3	543	10.3	9.3	13.4	25.8	34.0	9.3	7.2	47.4	20.6	3.1	13.4	12.4
361	reb	3	648	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.1	74.2
362	reb	3	702	79.3	62.8	11.3	36.1	51.5	0.0	0.0	60.8	56.7	56.7	91.7	82.4
363	reb	3	254	97.9	96.8	98.9	98.9	98.9	98.9	98.9	98.9	76.2	75.2	97.9	100.9
364	reb	3	245	72.1	110.2	177.2	256.5	257.5	262.7	174.1	212.2	108.2	76.2	79.3	86.5
365	reb	3	230	150.4	156.6	173.0	154.5	9.3	6.2	9.3	73.1	59.7	51.5	79.3	59.7
366	reb	3	230(A)	0.0	0.0	0.0	0.0	139.1	173.0	111.2	60.8	0.0	0.0	55.6	22.7
367	reb	3	226	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
368	reb	3	216	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
369	reb	3	256	74.2	67.0	65.9	45.3	71.1	52.5	53.6	44.3	150.4	21.6	56.7	46.4
370	reb	3	320	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
371	reb	3	347	46.4	47.4	85.5	72.1	82.4	79.3	52.5	64.9	46.4	54.6	38.1	74.2
372	reb	3	351	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
373	reb	3	361	36.1	33.0	40.2	84.5	85.5	77.3	55.6	58.7	15.5	67.0	89.6	104.0
374	reb	3	8	161.7	158.6	175.1	185.4	181.3	160.7	137.0	60.8	187.5	150.4	156.6	213.2
375	reb	3	21	22.7	30.9	51.5	50.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	49.4	110.2
376	reb	3	27(A)	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	35.0	5.2	41.2	63.9	69.0	150.4	52.5
377	reb	3	38(A)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.9
378	reb	3	177	41.2	38.1	45.3	61.8	63.9	61.8	53.6	41.2	27.8	71.1	13.4	138.0
379	reb	3	203	75.2	111.2	111.2	127.7	142.1	76.2	63.9	72.1	76.2	85.5	108.2	122.6

Consumos especiales sector por rebombeo

Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
105	19	32	40	18	15	24	15	18	18	15	18	18
132	84	77	82	86	102	88	53	59	53	83	103	110
159	17	31	36	37	36	35	24	24	21	21	26	28
172	55	62	67	55	82	90	91	78	84	48	48	43
191	41	68	105	92	75	50	44	48	34	45	56	69
229	34	32	11	38	63	45	18	24	22	30	69	48
267	26	31	29	39	54	57	47	6	66	22	58	27
278	99	88	80	90	100	58	43	48	37	37	60	47
279	109	120	116	129	109	125	119	103	94	108	115	122
538	41	38	22	93	79	92	66	75	58	54	84	79
581	49	76	94	99	95	98	56	58	36	30	71	70
657	100	120	127	128	135	103	92	89	91	85	98	98

Lote	FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
6	78	81	69	44	38	0	86	56	46	34	37	26
24	67	81	94	189	171	138	78	111	75	77	129	102
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
253	123	120	127	129	166	146	105	125	146	183	120	120
550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
619	60	129	150	141	114	99	58	61	45	42	47	58
640	53	42	60	4	16	33	43	23	16	8	3	2
646	3	6	7	8	5	18	34	34	13	0	0	0
650	59	79	84	64	69	52	48	43	54	51	56	53
706	67	69	81	80	77	73	44	63	62	72	77	105
118A	27	21	34	33	30	31	6	14	14	3	41	21

2. Con los datos en su lugar, se procede a la obtención de la facturación mensual de los sectores, que consiste en la suma de todos los volúmenes de consumo, tanto justificado como especiales por cada sector como se muestra a continuación:

$$\sum \text{Consumos por el sector de gravedad en el mes de febrero} = 12.1+118.4+97.1+103.2+0+159.8+0+0+52.6+45.3+111.2+148.3+0+63.9+0+40.2+119.5+0+0+54+52+133+0+73+498+0=1882 \text{ m}^3$$

$$\sum \text{Consumos por el sector de rebombeo en el mes de febrero} = 64.7+34.4+0+68.8+0+40.5+56.6+23.3+0+0+80.3+0+0+10.3+0+79.3+72.1+150.4+0+0+0+74.2+0+46.4+0+36.1+161.7+22.7+0+0+41.2+75.2+19+84+17+55+41+34+26+99+109+41+100+78+67+0+0+0+12+123+0+60+53.+3+59+67+27=2444.953 \text{ m}^3$$

Esto se repite para todos volúmenes de cada mes que integran la tabla anual de volúmenes justificados y especiales.

3. Una vez obtenidos los valores por cada uno de los meses se procede a obtener:

a) Suma de consumos.

- Suma de los consumos por los dos sectores (gravedad + rebombeo).



- Suma del suministro (Macromedición) por el sector de gravedad.
- Suma del suministro (Macromedición) por el sector de rebombeo.

b) Comparación de consumos por sectores.

- Comparación de la macromedición vs micromedición (sector rebombeo).
- Comparación gravedad macro vs. gravedad micro.

c) Comparación general de consumos.

- Comparación de la macromedición vs micromedición (sectores gravedad y rebombeo).

d) Porcentajes de eficiencia de suministros.

- Porcentaje de eficiencia macromedición (gravedad + rebombeo vs. extracción).
- Porcentaje de eficiencia micros vs. macros (gravedad).
- Porcentaje de eficiencia micromedición vs. Macromedición (rebombeo).

e) Porcentaje de agua no contabilizada.

- Porcentaje de eficiencia suministros vs. volúmenes justificados y consumos especiales (gravedad micro + rebombeo micro vs. extracción macro).

### 5.6.5.1 Suma de consumos.

La suma de los consumos por los dos sectores del Fraccionamiento Potosino de Golf dieron los siguientes resultados.

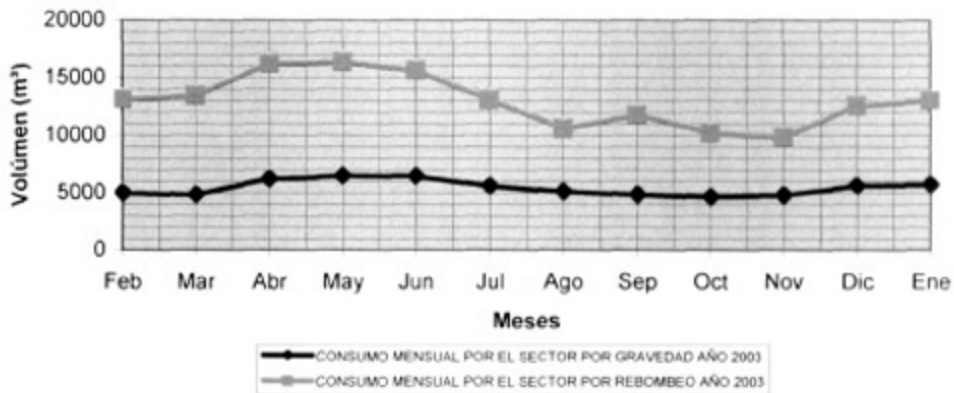
- Suma de los consumos mensuales (gravedad y rebombeo).

**Prueba Qn = 41.67 (lts/s)**

CONSUMO MENSUAL EN m <sup>3</sup> POR EL SECTOR POR GRAVEDAD AÑO 2003											
FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
5004.77	4869.38	6252.36	6524.45	6497.01	5617.67	5138.88	4866.64	4666.07	4821.35	5629.26	5736.73

CONSUMO MENSUAL EN m <sup>3</sup> POR EL SECTOR POR REBOMBEO AÑO 2003											
FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
13212.24	13529.99	16307.33	16472.27	15706.86	13178.14	10660.51	11842.83	10295.33	9890.09	12643.05	13138.64

### Suma de consumos mensuales (Qn = 41.67 lts/s)

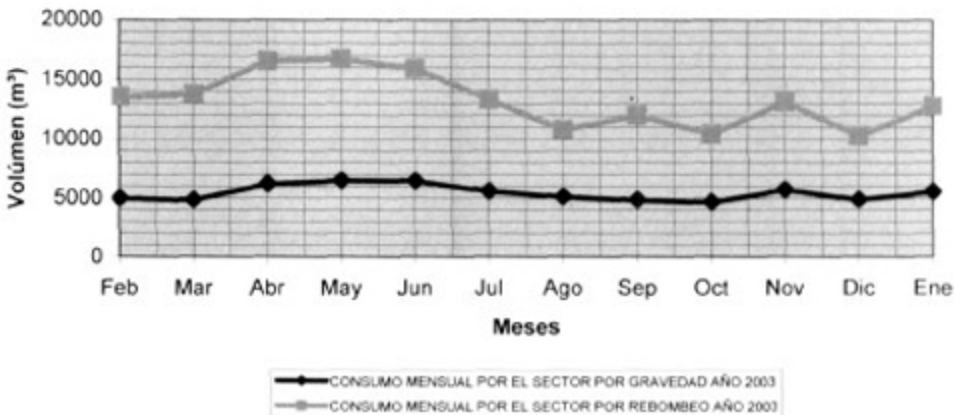


### Prueba 0.5Qn = 20 (lts/s)

CONSUMO MENSUAL EN m³ POR EL SECTOR POR GRAVEDAD AÑO 2003											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
4972.14	4835.56	6207.86	6477.42	6452.35	5577.65	5102.62	4833.99	4634.49	5685.59	4858.56	5522.86

CONSUMO MENSUAL EN m³ POR EL SECTOR POR REBOMBEO AÑO 2003											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
13542.58	13768.13	16587.24	16752.01	15941.61	13373.72	10821.03	12029.99	10433.48	13148.36	10297.31	12771.43

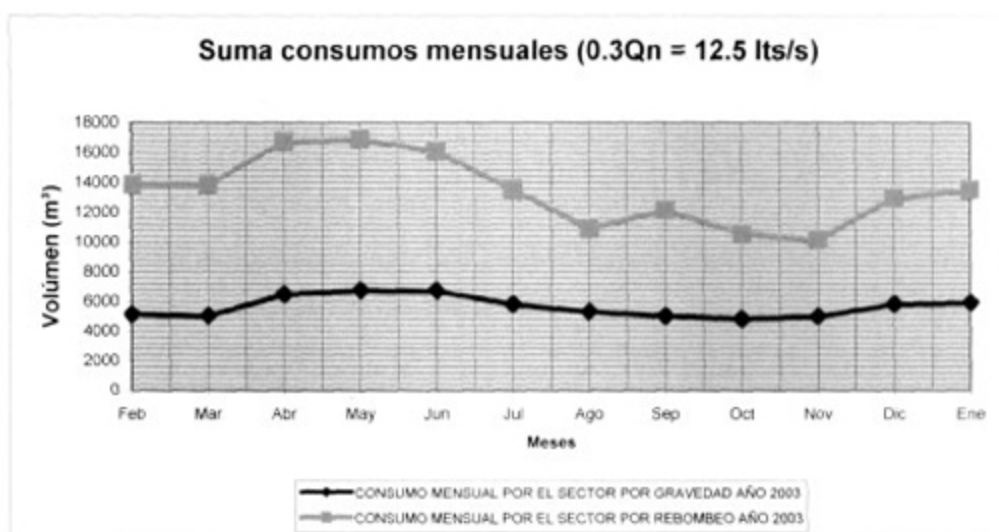
### Suma consumos mensuales (0.5Qn = 20 lts/s)



### Prueba 0.3Qn = 12.5 (lts/s)

CONSUMO MENSUAL EN m³ POR EL SECTOR POR GRAVEDAD AÑO 2003											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
5147.45	5022.57	6469.49	6748.65	6696.42	5791.32	5295.06	5010.75	4804.73	4965.95	5800.24	5911.27

CONSUMO MENSUAL EN m³ POR EL SECTOR POR REBOMBEO AÑO 2003											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
13599.17	13925.27	16792.54	16952.07	16165.53	13562.45	10976.71	12194.98	10597.37	10182.34	13016.39	13522.90



- Suma de los consumos (gravedad + rebombéo).

**Prueba Qn = 41.67 (lts/s)**

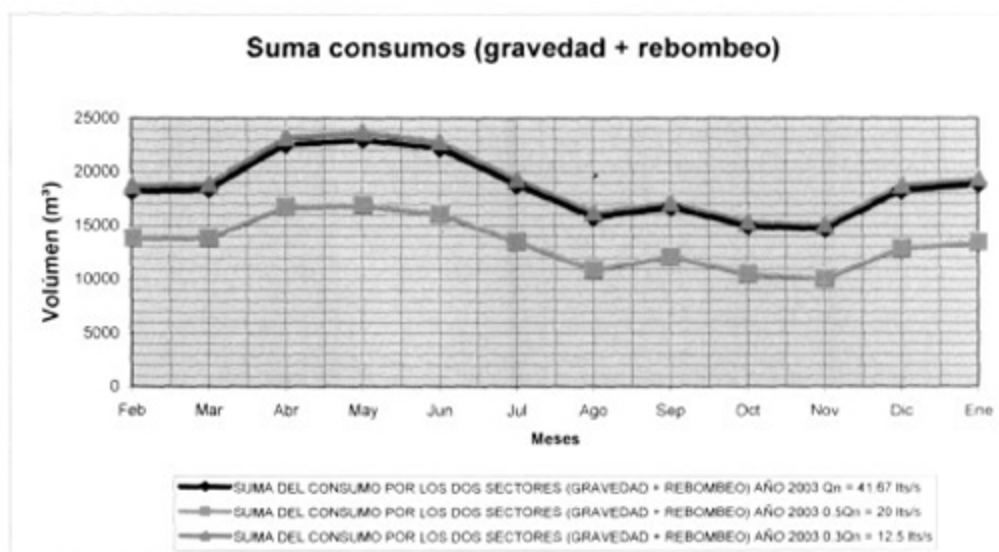
SUMA DEL CONSUMO EN m³ POR LOS DOS SECTORES (GRAVEDAD + REBOMBEO) AÑO 2003											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
18217.01	18399.37	22559.69	22996.72	22203.87	18795.81	15799.39	16709.47	14961.40	14711.44	18272.31	18875.37

**Prueba 0.5Qn = 20 (lts/s)**

SUMA DEL CONSUMO EN m³ POR LOS DOS SECTORES (GRAVEDAD + REBOMBEO) AÑO 2003											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
18514.72	18603.69	22795.01	23229.43	22393.96	18951.37	15923.65	16863.98	15067.97	18833.95	15155.87	18294.29

**Prueba 0.3Qn = 12.5 (lts/s)**

SUMA DEL CONSUMO EN m³ POR LOS DOS SECTORES (GRAVEDAD + REBOMBEO) AÑO 2003											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
18746.62	18947.84	23262.03	23700.72	22861.95	19353.77	16271.78	17205.74	15402.10	15148.29	18816.63	19434.18

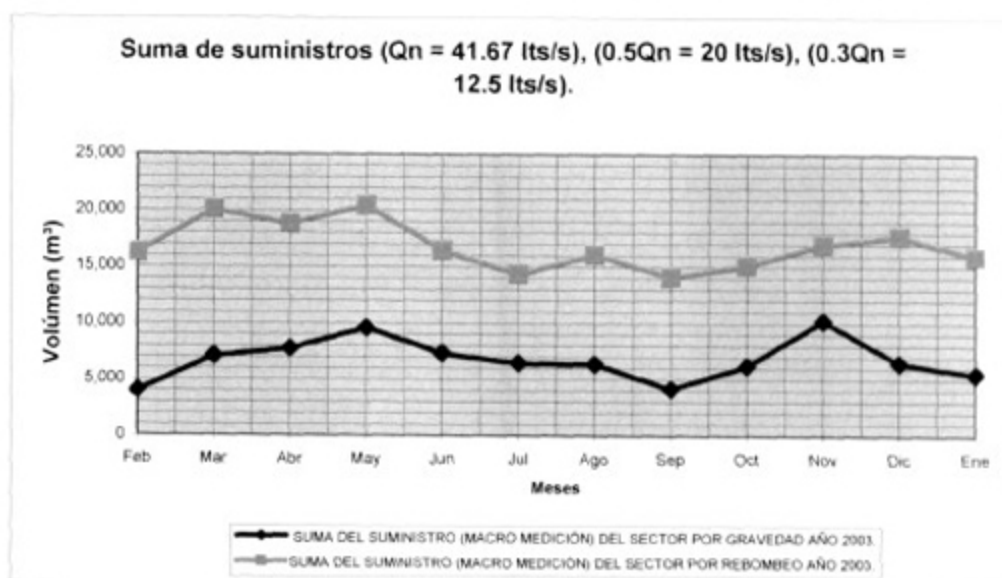


- Suma de los suministros (Macro medición) por el sector de gravedad y rebombeo.

Prueba ( $Q_n = 41.67 \text{ lts/s}$ ), ( $0.5Q_n = 20 \text{ lts/s}$ ), ( $0.3Q_n = 12.5 \text{ lts/s}$ )

SUMA DEL SUMINISTRO EN $\text{m}^3$ (MACRO MEDICIÓN) DEL SECTOR POR GRAVEDAD AÑO 2003.											
FEB ( $\text{m}^3$ )	MAR ( $\text{m}^3$ )	ABR ( $\text{m}^3$ )	MAY ( $\text{m}^3$ )	JUN ( $\text{m}^3$ )	JUL ( $\text{m}^3$ )	AGO ( $\text{m}^3$ )	SEP ( $\text{m}^3$ )	OCT ( $\text{m}^3$ )	NOV ( $\text{m}^3$ )	DIC ( $\text{m}^3$ )	Ene04 ( $\text{m}^3$ )
4,004	7,106	7,761	9,596	7,331	6,490	6,383	4,192	6,234	10,258	6,520	5,494

SUMA DEL SUMINISTRO EN $\text{m}^3$ (MACRO MEDICIÓN) DEL SECTOR POR REBOMBEO AÑO 2003.											
FEB ( $\text{m}^3$ )	MAR ( $\text{m}^3$ )	ABR ( $\text{m}^3$ )	MAY ( $\text{m}^3$ )	JUN ( $\text{m}^3$ )	JUL ( $\text{m}^3$ )	AGO ( $\text{m}^3$ )	SEP ( $\text{m}^3$ )	OCT ( $\text{m}^3$ )	NOV ( $\text{m}^3$ )	DIC ( $\text{m}^3$ )	Ene04 ( $\text{m}^3$ )
16,295	20,161	18,881	20,524	16,516	14,424	16,127	14,180	15,228	17,059	17,799	15,977



### 5.6.5.2 Comparación de consumos por sectores.

Mediante esta comparación podemos visualizar que tanta agua no se está contabilizando dentro de la red. Los valores que aquí se muestra provienen de la sustracción de  $\sum Ss - \sum Cms$  y pueden ser tanto (-) como (+).

Donde:

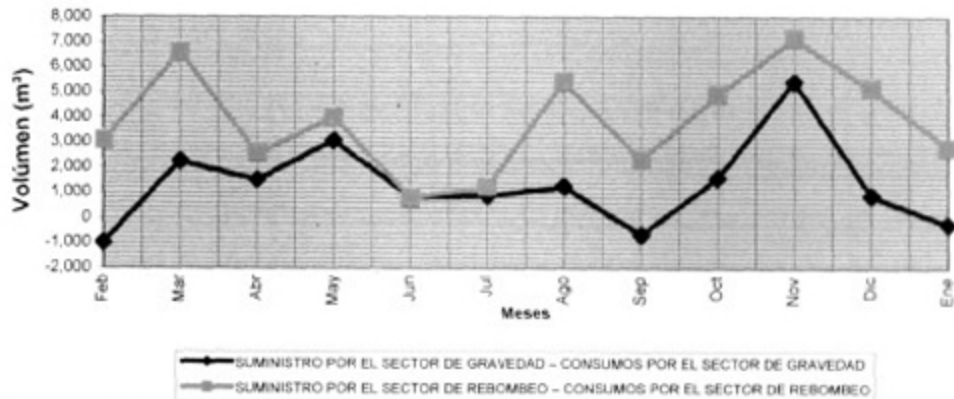
- $\sum Ss$  = Sumatoria del suministro (gravedad o rebombeo).
- $\sum Cms$  = Sumatoria de los consumo por el sector (gravedad o rebombeo).
- Comparación de consumos por el sector de gravedad y rebombeo.

Prueba  $Q_n = 41.67 \text{ (lts/s)}$

SUMINISTRO POR EL SECTOR DE GRAVEDAD – CONSUMOS POR EL SECTOR DE GRAVEDAD											
FEB ( $\text{m}^3$ )	MAR ( $\text{m}^3$ )	ABR ( $\text{m}^3$ )	MAY ( $\text{m}^3$ )	JUN ( $\text{m}^3$ )	JUL ( $\text{m}^3$ )	AGO ( $\text{m}^3$ )	SEP ( $\text{m}^3$ )	OCT ( $\text{m}^3$ )	NOV ( $\text{m}^3$ )	DIC ( $\text{m}^3$ )	Ene04 ( $\text{m}^3$ )
-1,000	2,237	1,509	3,072	834	872	1,244	-675	1,568	5,436	891	-243

SUMINISTRO POR EL SECTOR DE REBOMBEO – CONSUMOS POR EL SECTOR DE REBOMBEO											
FEB ( $\text{m}^3$ )	MAR ( $\text{m}^3$ )	ABR ( $\text{m}^3$ )	MAY ( $\text{m}^3$ )	JUN ( $\text{m}^3$ )	JUL ( $\text{m}^3$ )	AGO ( $\text{m}^3$ )	SEP ( $\text{m}^3$ )	OCT ( $\text{m}^3$ )	NOV ( $\text{m}^3$ )	DIC ( $\text{m}^3$ )	Ene04 ( $\text{m}^3$ )
3,083	6,631	2,574	4,052	809	1,246	5,466	2,337	4,933	7,169	5,156	2,838

Comparación de consumos por el sector de gravedad y rebombeo ( $Q_n = 41.67$  lts/s).

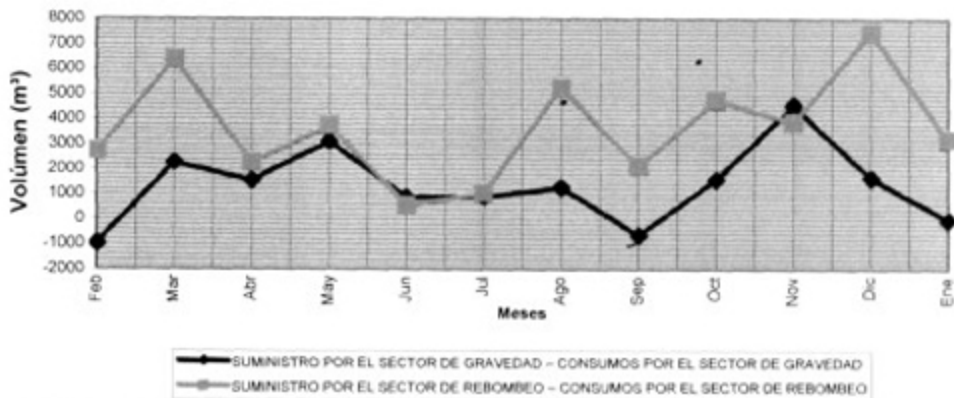


Prueba  $0.5Q_n = 20$  (lts/s)

SUMINISTRO POR EL SECTOR DE GRAVEDAD – CONSUMOS POR EL SECTOR DE GRAVEDAD											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
-968	2,270	1,553	3,119	878	912	1,280	-642	1,599	4,572	1,662	-29

SUMINISTRO POR EL SECTOR DE REBOMBEO – CONSUMOS POR EL SECTOR DE REBOMBEO											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
2,752	6,393	2,294	3,772	574	1,050	5,306	2,150	4,795	3,911	7,502	3,206

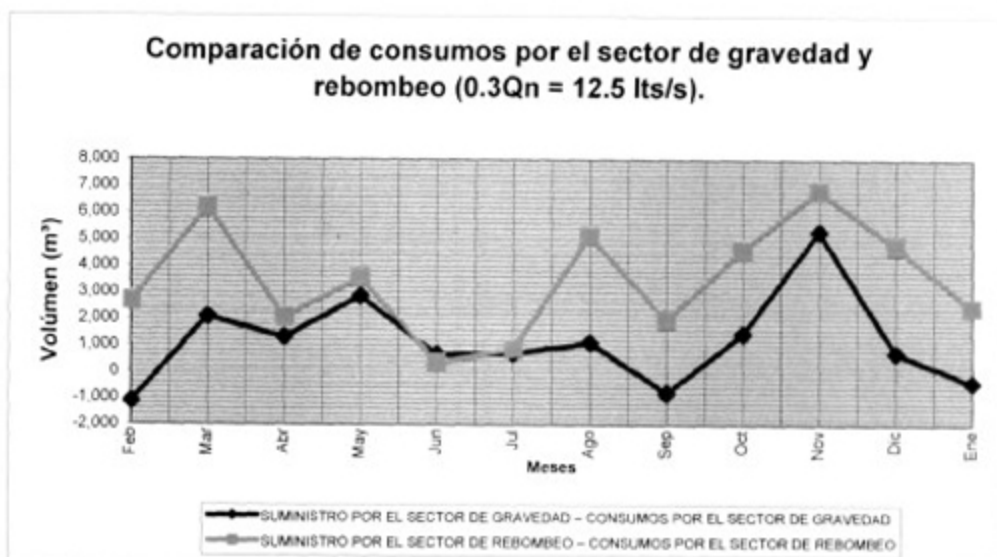
Comparación de consumos por el sector de gravedad y rebombeo ( $0.5Q_n = 20$  lts/s).



Prueba  $0.3Q_n = 12.5$  (lts/s)

SUMINISTRO POR EL SECTOR DE GRAVEDAD – CONSUMOS POR EL SECTOR DE GRAVEDAD											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
-1,143	2,083	1,292	2,848	634	698	1,088	-819	1,429	5,292	720	-417

SUMINISTRO POR EL SECTOR DE REBOMBEO – CONSUMOS POR EL SECTOR DE REBOMBEO											
FEB (m³)	MAR (m³)	ABR (m³)	MAY (m³)	JUN (m³)	JUL (m³)	AGO (m³)	SEP (m³)	OCT (m³)	NOV (m³)	DIC (m³)	Ene04 (m³)
2,696	6,236	2,088	3,572	350	862	5,150	1,985	4,631	6,877	4,783	2,454



Observando los resultados podemos visualizar que en la comparación por el sector de gravedad se tienen valores negativos, éstos se interpretan como agua no contabilizada.

Los valores positivos en su mayoría encontrados en el sector por rebombeo, nos muestran que en el suministro (pozo) se extrajeron volúmenes de agua que no fueron contabilizados en el medidor. Estos volúmenes pertenecen a las cisternas usadas para el riego de zonas verdes.

Aunque no se hayan presentado valores negativos en el sector por rebombeo no significa que se exenta de presentar pérdidas. Al final del balance se determinará el porcentaje real de agua no contabilizada de todo el sistema.

### 5.6.5.3 Comparación general de consumos.

La comparación general se logra cotejando los valores de suministro contra los de volumen justificado por cada sector:

$$\text{Comparación de consumos} = (S_{mg} + S_{mr}) - (C_{mg} + C_{mr})$$

Donde:

- $(S_{mg} + S_{mr})$  = sumatoria de suministros mensuales por cada sector.
- $(C_{mg} + C_{mr})$  = sumatoria de consumos mensuales (volúmenes justificados) por cada sector.



Prueba Qn = 41.67 (lts/s)

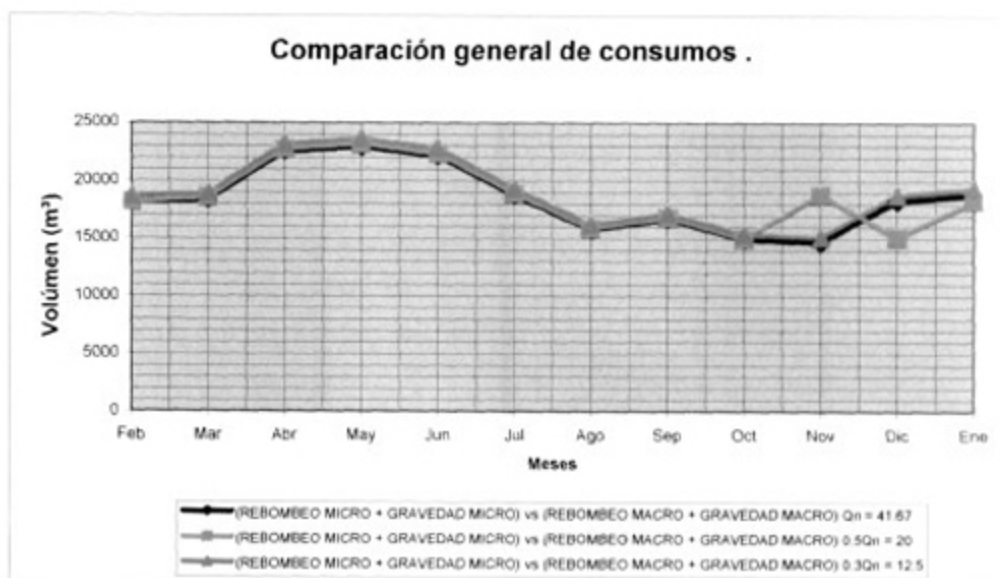
(REBOMBEO MICRO + GRAVEDAD MICRO) vs (REBOMBEO MACRO + GRAVEDAD MACRO)											
FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
2,082	8,868	4,082	7,124	1,643	2,118	6,711	1,662	6,501	12,605	6,047	2,596

Prueba 0.5Qn = 20 (lts/s)

(REBOMBEO MICRO + GRAVEDAD MICRO) vs (REBOMBEO MACRO + GRAVEDAD MACRO)											
FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
1,785	8,663	3,847	6,891	1,453	1,962	6,586	1,508	6,394	8,483	9,164	3,177

Prueba 0.3Qn = 20 (lts/s)

(REBOMBEO MICRO + GRAVEDAD MICRO) vs (REBOMBEO MACRO + GRAVEDAD MACRO)											
FEB (m <sup>3</sup> )	MAR (m <sup>3</sup> )	ABR (m <sup>3</sup> )	MAY (m <sup>3</sup> )	JUN (m <sup>3</sup> )	JUL (m <sup>3</sup> )	AGO (m <sup>3</sup> )	SEP (m <sup>3</sup> )	OCT (m <sup>3</sup> )	NOV (m <sup>3</sup> )	DIC (m <sup>3</sup> )	Ene04 (m <sup>3</sup> )
1,553	8,319	3,380	6,420	985	1,560	6,238	1,166	6,060	12,168	5,503	2,037



#### 5.6.5.4 Porcentajes de eficiencia.

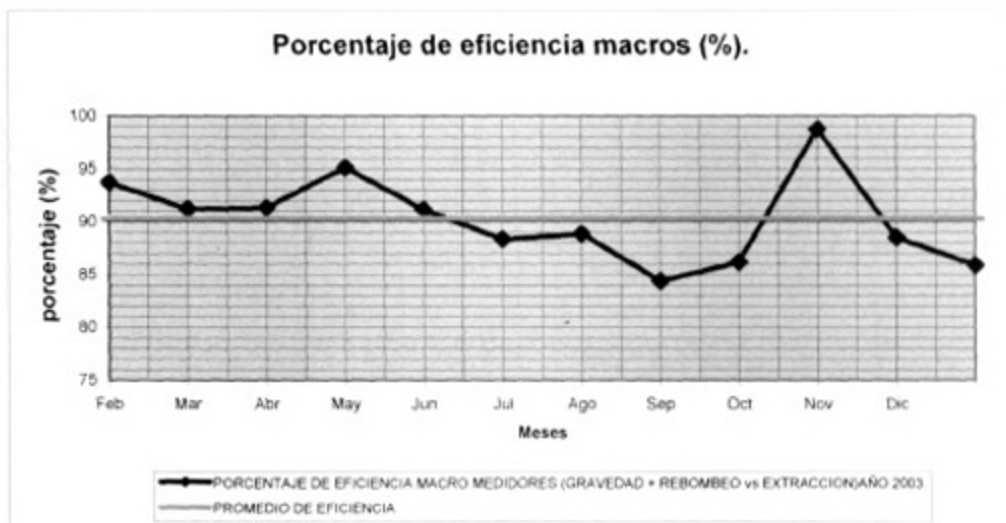
- Porcentaje de eficiencia macros (gravedad + rebombeo) vs. (extracción).

Este punto se desarrolló siguiendo el orden indicado en 5.6.4.1.1

PORCENTAJE DE EFICIENCIA MACROS (GRAVEDAD + REBOMBEO vs EXTRACCION) AÑO 2003.											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
93.8	91.3	91.4	95.2	91.2	88.4	88.9	84.4	86.2	98.8	88.5	85.9

Promedio eficiencia (%)
90.34

Promedio error (%)
9.65



- Porcentaje de eficiencia micros vs. macros (gravedad).

Para obtener estos valores se aplicó la siguiente ecuación  $\%eficiencia = \left(\frac{Scm}{Ssm}\right) \times 100$

Donde:

- Scm = Suma de consumos mensuales por prueba y sector (gravedad y rebombeo)
- Ssm = Suma de suministros mensuales por prueba y sector (gravedad y rebombeo).

**Prueba Qn = 41.67 (lts/s)**

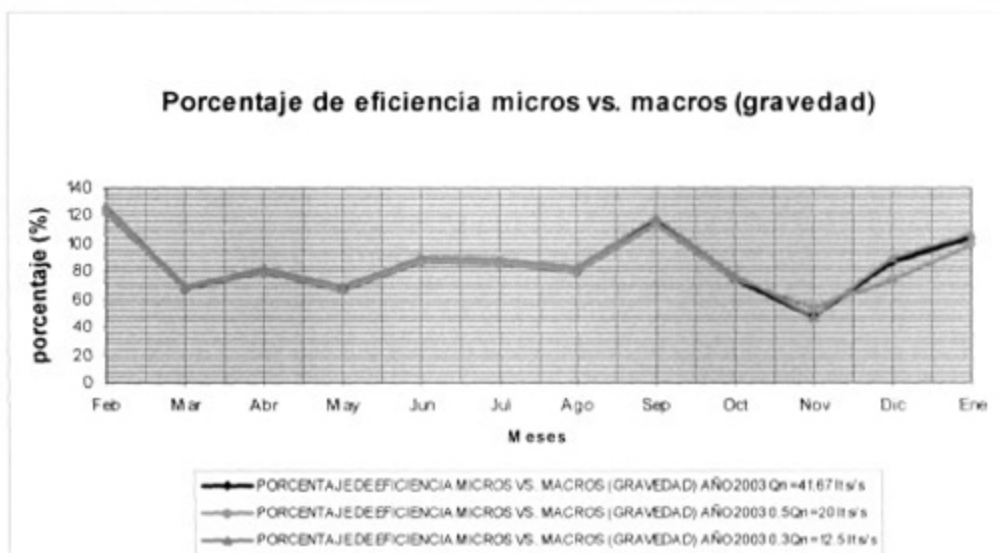
PORCENTAJE DE EFICIENCIA MICROS VS. MACROS (GRAVEDAD) AÑO 2003.											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
125.0	68.5	80.6	68.0	88.6	86.6	80.5	116.1	74.8	47.0	86.3	104.4

**Prueba 0.5Qn = 20 (lts/s)**

PORCENTAJE DE EFICIENCIA MICROS VS. MACROS (GRAVEDAD) AÑO 2003.											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
124.2	68.0	80.0	67.5	88.0	85.9	79.9	115.3	74.3	55.4	74.5	100.5

**Prueba 0.3Qn = 12.5 (lts/s)**

PORCENTAJE DE EFICIENCIA MICROS VS. MACROS (GRAVEDAD) AÑO 2003.											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
128.5	70.7	83.4	70.3	91.3	89.2	83.0	119.5	77.1	48.4	89.0	107.6



Los valores que pasan del 100% de eficiencia son aquellos que corresponden a los valores negativos calculados en la comparación de consumos por sectores (5.6.5.2), esto es causado porque el denominador es más pequeño que el numerador dentro de la ecuación.

- Porcentaje de eficiencia micros vs. macros (rebombeo).

#### Prueba Qn = 41.67 (lts/s)

PORCENTAJE DE EFICIENCIA MICROS VS. MACROS (REBOMBEO) AÑO 2003.											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
81.1	67.1	86.4	80.3	95.1	91.4	66.1	83.5	67.6	58.0	71.0	82.2

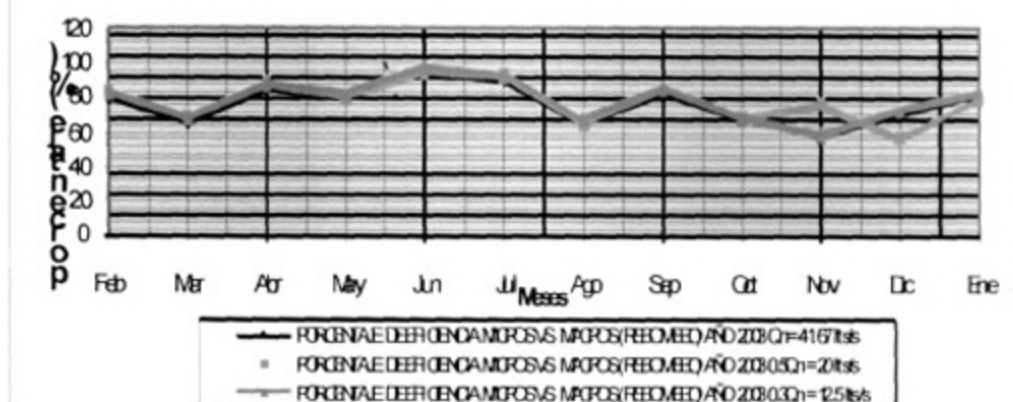
#### Prueba 0.5Qn = 20 (lts/s)

PORCENTAJE DE EFICIENCIA MICROS VS. MACROS (REBOMBEO) AÑO 2003.											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
83.1	68.3	87.9	81.6	96.5	92.7	67.1	84.8	68.5	77.1	57.9	79.9

#### Prueba 0.3Qn = 12.5 (lts/s)

PORCENTAJE DE EFICIENCIA MICROS VS. MACROS (REBOMBEO) AÑO 2003.											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
83.5	69.1	88.9	82.6	97.9	94.0	68.1	86.0	69.6	59.7	73.1	84.6

### Porcentaje de eficiencia micros vs macros (rebombeo)



#### 5.6.5.5 Porcentaje de agua no contabilizada.

- Porcentaje de eficiencia suministros vs. Volúmenes justificados + consumos especiales (gravedad micro + rebombeo micro vs. extracción macro).

Por último se calcula el porcentaje de agua no contabilizada, que consiste en una comparación general entre los suministros y los volúmenes justificados. Los resultados obtenidos de éste balance nos demostrarán que tan eficiente es el sistema estudiado en base a un rango de  $x < 100 < y$ .

Donde:

- El valor de (X) corresponde a un sistema con porcentaje de agua no contabilizada y que varia alrededor del 30 a 40% para redes con pocas pérdidas y mas del 50% redes con problemas críticos.
- El valor de (Y) corresponde a aquellas redes que tienen una eficiencia por arriba del estándar y que presentan problemas de mala medición en los puntos de suministro o fugas de agua en almacenamientos.

#### Prueba $Q_n = 41.67$ (lts/s)

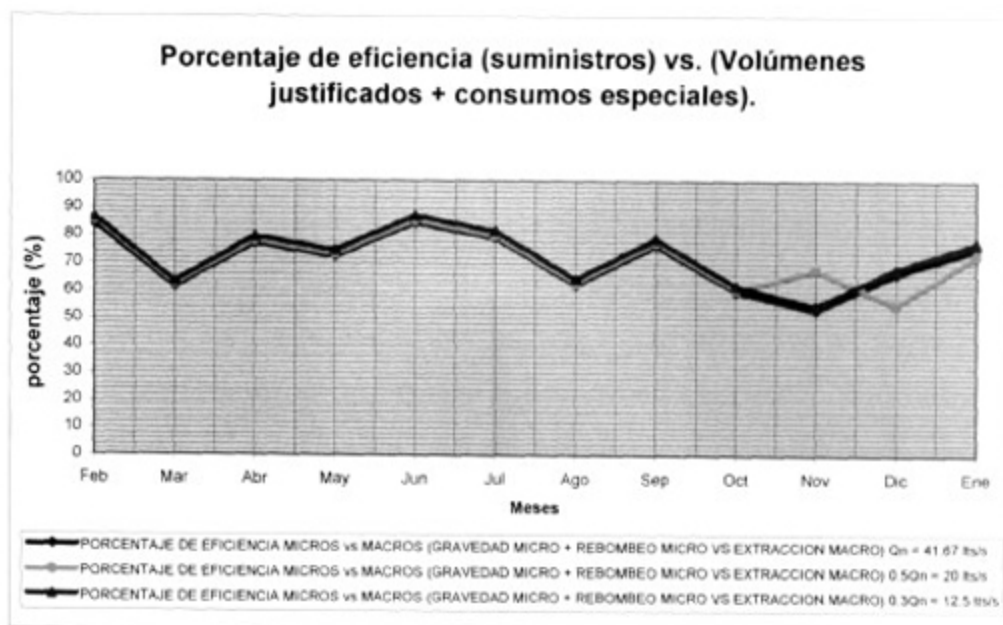
PORCENTAJE DE EFICIENCIA MICROS vs MACROS (GRAVEDAD MICRO + REBOMBEO MICRO VS EXTRACCION MACRO)											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
84.2	61.6	77.4	72.7	84.9	79.5	62.4	76.7	60.1	53.2	66.5	75.6

#### Prueba $0.5Q_n = 20$ (lts/s)

PORCENTAJE DE EFICIENCIA MICROS vs MACROS (GRAVEDAD MICRO + REBOMBEO MICRO VS EXTRACCION MACRO)											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
85.6	62.3	78.2	73.4	85.6	80.1	62.9	77.5	60.6	68.1	55.2	73.2

### Prueba 0.3Qn = 12.5 (lts/s)

PORCENTAJE DE EFICIENCIA MICROS vs MACROS (GRAVEDAD MICRO + REBOMBEO MICRO VS EXTRACCION MACRO)											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
86.7	63.4	79.8	74.9	87.4	81.8	64.3	79.0	61.9	54.8	68.5	77.8



- Porcentaje de error

### Prueba Qn = 41.67 (lts/s)

PORCENTAJE DE ERROR MENSUAL POR SECTOR											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
15.8	38.4	22.6	27.3	15.1	20.5	37.6	23.3	39.9	46.8	33.5	24.4

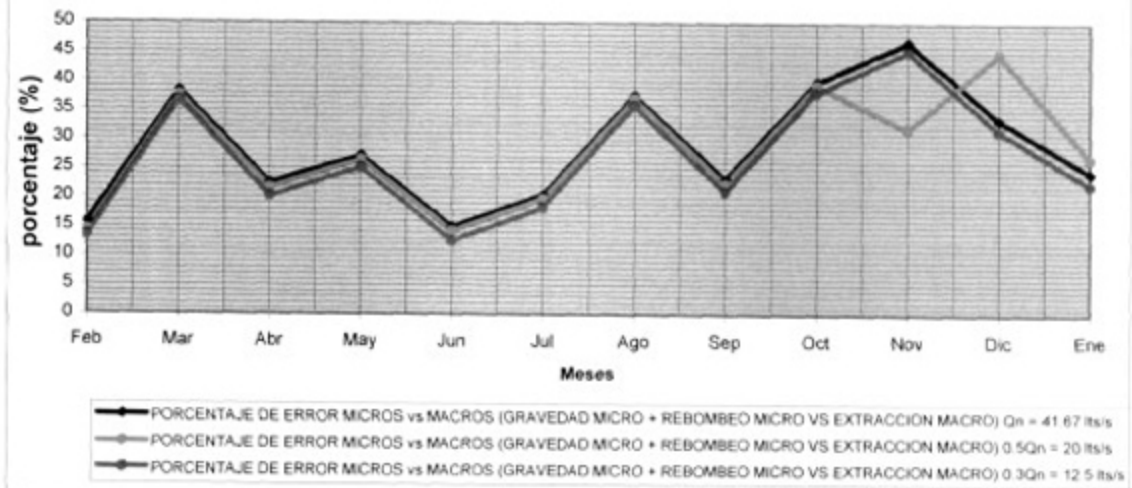
### Prueba 0.5Qn = 20(lts/s)

PORCENTAJE DE ERROR MENSUAL POR SECTOR											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
14.4	37.7	21.8	26.6	14.4	19.9	37.1	22.5	39.4	31.9	44.8	26.8

### Prueba 0.3Qn = 12.5 (lts/s)

PORCENTAJE DE ERROR MENSUAL POR SECTOR											
FEB (%)	MAR (%)	ABR (%)	MAY (%)	JUN (%)	JUL (%)	AGO (%)	SEP (%)	OCT (%)	NOV (%)	DIC (%)	Ene04 (%)
13.3	36.6	20.2	25.1	12.6	18.2	35.7	21.0	38.1	45.2	31.5	22.2

**Porcentaje de error (suministros) vs. (Volúmenes justificados + consumos especiales).**

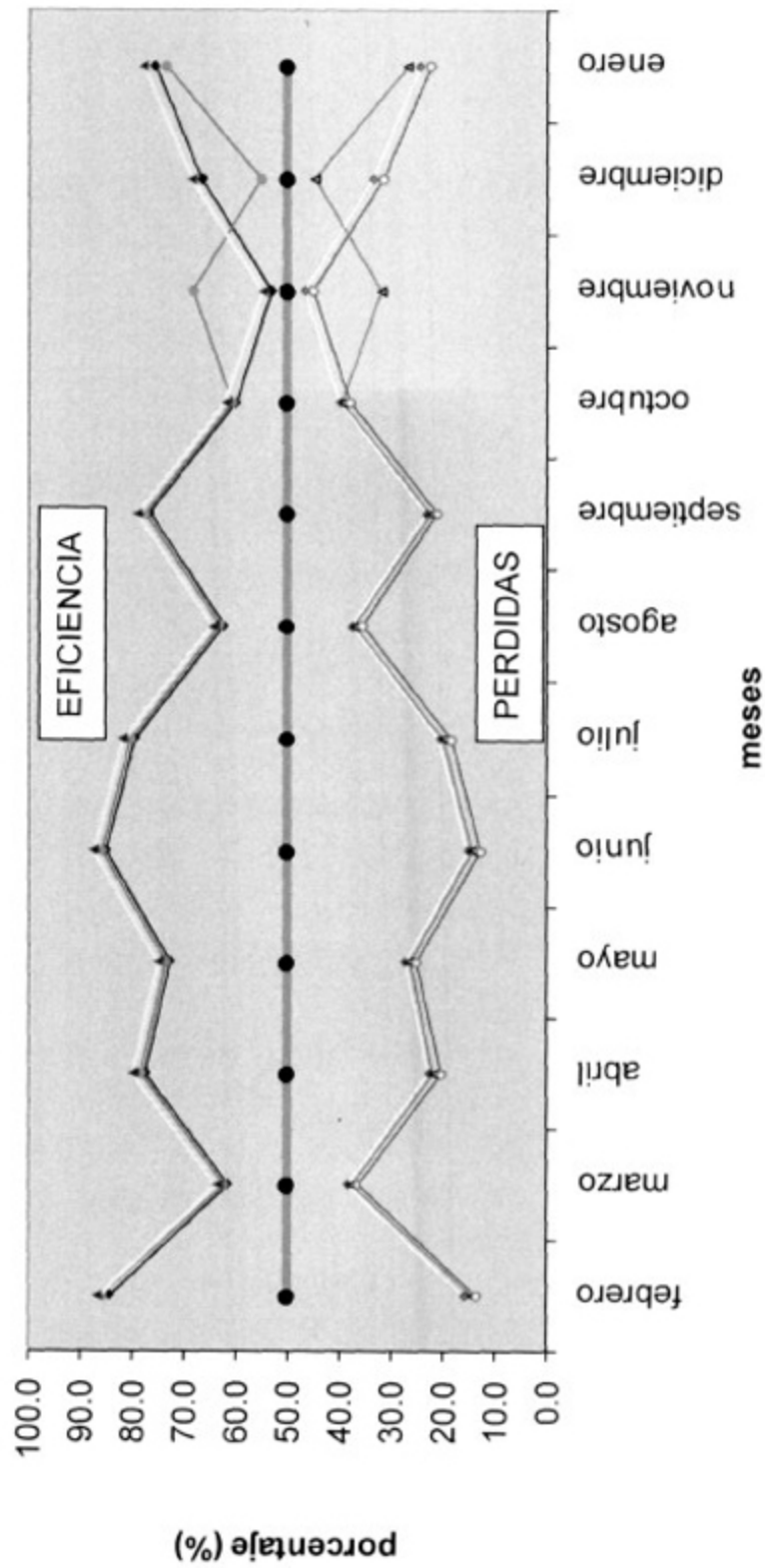


Si nos fijamos en la grafica de eficiencias y en las tablas de errores podremos visualizar que existen dos valores que son relativamente diferentes y que pertenecen al mes de Noviembre y Diciembre de la prueba 0.5xQn.

Al estudiar mas afondo los datos de error de medición de estos puntos, fue posible determinar que los valores de los micromedidores para tales meses con éste tipo de gasto, varían con respecto a los demás valores de error, porque pudo existir una discrepancia al recolectar los datos a la hora de realizar las pruebas (error humano) ó por una variable externa que afectó los resultados de la prueba con éste tipo de gasto (presión, temperatura de agua, etc). Por lo que estos dos puntos dejan de ser representativos dentro del balance.



## Porcentaje de agua no contabilizada





**CONCLUSIONES (recomendaciones).**

En virtud que los resultados obtenidos por la aplicación conjunta del método de balance de agua y distritos hidrométricos dentro de un sector controlado, arrojaron valores satisfactorios, podemos asegurar que la unión de estos procedimientos genera una herramienta práctica y de sencilla aplicación con la que se obtiene la eficiencia y la pérdida de agua dentro de un sistema previamente delimitado, en períodos de tiempo corto.

Ya finalizado el balance de agua del Fraccionamiento podemos distinguir que los valores de A.N.C (agua no contabilizada) por cada una de las pruebas realizadas, se encuentran dentro de la media nacional delimitada por la Comisión Nacional del Agua y el IMTA<sup>1</sup> (25 a 30%), donde la eficiencia de la red por cada tipo de prueba corresponde a un valor elevado, considerando que se trata de una red de mediana edad.

Para finalizar con el análisis del balance de agua podemos afirmar que la red perteneciente al Fraccionamiento Potosino de Golf se encuentra en buen estado, basándonos en la poca agua no contabilizada que se pierde durante el lapso de un año.

Después de ver los resultados y entendiendo como se comporta el A.N.C dentro de la red del Fraccionamiento Potosino de Golf, a continuación se presentan una serie recomendaciones:

1. Debido a que la cantidad de A.N.C dentro del sistema se encuentra dentro de los parámetros, es recomendable realizar solo una serie de sondeos mediante aparatos instrumentados (geófono y correlador), para detectar posibles fugas en tomas que pudieran estar afectando a la red, sin descartar la posibilidad de una fuga en línea principal, que se puede localizar al momento de ejecutar los sondeos en la red.
2. Para que los valores de los suministros sean los correctos respecto a la cantidad extraída del pozo, es recomendable tener en consideración el agua que se extrae para el riego en área verde (cisternas) del punto por rebombeo, ya que éste volumen actualmente no es contabilizado y afecta al balance de agua.
3. Realizar cambios de los modelos de micromedidores que contienen error de medición, con el fin de realizar un nuevo diagnóstico.
4. Cambiar el macromedidor que contiene un error de submedición muy alto, para poder realizar un segundo diagnóstico.
5. Para que estudios posteriores puedan tener una mayor cantidad de datos disponibles, se recomienda tomar la siguiente información de las fugas localizadas en la red durante un período anual:
  - Volumen de agua (aforos de fugas).

---

<sup>1</sup> Capítulo #1, punto 1.5

- Lugar de la fuga.
  - Fecha de reparación.
  - Foto de la fuga antes y después de ser reparada.
6. Por último debido a que el mantenimiento correctivo para una red con una eficiencia del 80% a 90% se vuelve mas caro con respecto de una red con menor eficiencia, se propone que en el momento de alcanzar una eficiencia del 85% se dejen de realizar estudios preventivos y comenzar con puro cambio correctivo.

## Bibliografía:

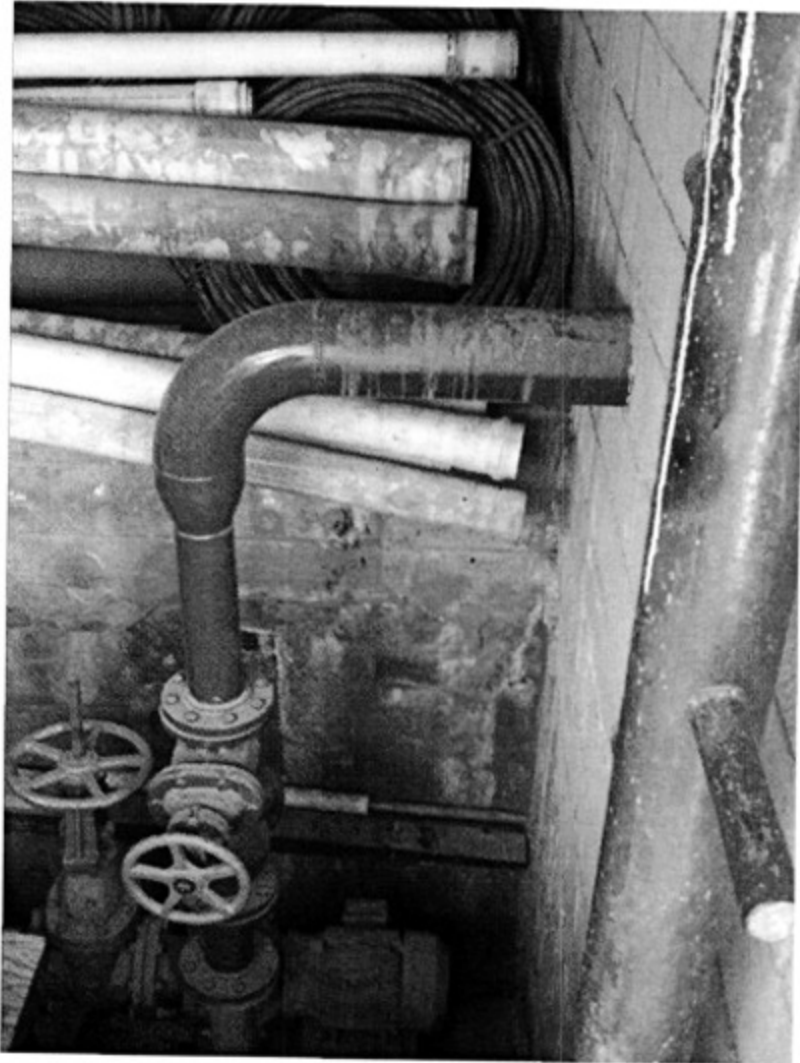
- OCHOA, L Y BOURGUETT V. "*Reducción Integral de Perdidas de Agua Potable*". México 2001. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA.
- ENRÍQUEZ S, VÁZQUEZ A, OCHOA, L. Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. "*Control de Fugas en Sistemas de Distribución*". México 1994. Libro 2, Tema 4. Comisión Nacional del Agua, CNA.
- KENNEDY A, FRAGOZA F, PEÑA E, MORENO E. Coordinación de Tecnología Riego y Drenaje. "*Manual de Aforo*". México 2000. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA.
- THORNTON J. "*Water Loss Control Manual*". Estados Unidos de América 2002. McGraw Hill Companies Inc.
- COMISIÓN MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE REYNOSA. "Ejemplo de Reducción Integral de Pérdidas en Reynosa Tamaulipas". México 1995. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, Comisión Nacional del Agua, CNA, Banco de Desarrollo de América del Norte.
- M HEMERY Y MD WEIMER. "*Fugas y Medidores*". Estados Unidos de América 2003. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud OPS/OMS.
- AUGUSTO J. "*Terminología Utilizada en Control de Pérdidas*". Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud OPS/OMS: Web: [http://www.cepis.opsoms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica7hdt/hdt0\\_20.html](http://www.cepis.opsoms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica7hdt/hdt0_20.html).
- AUGUSTO J. "*Control de Pérdidas de Distribución*". Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud OPS/OMS. Web: <http://www.cepisops.html>.
- INSTITUTO MEXICANO DEL AGUA, IMTA. "*Uso Eficiente del Agua en las Ciudades*". Compendio de información digital. México 2001. 10 hojas.
- COMPENDIO DIGITAL DE INFORMACIÓN. "*Programa de Control de Agua No Contabilizada*". Web: <http://www.medkasa.com/Control%20A.N.C%20-%20Español.doc>.
- SALDARRIAGA J.G Y SALAS D.E "*Calibración de Redes de Distribución de Agua Potable Bajo un Ambiente de Fugas*". Seminario Internacional "La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos" Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.

- COMPENDIO DIGITAL DE INFORMACIÓN. *"Pequeña Reseña Histórica de Fugas"*. Web: <http://www.cepis.opsoms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/epidex/repi048.html>.
- ENRIQUE S, VÁSQUEZ A, NAVARRO S. *"Recomendaciones para detección y aforo de fugas en tomas domiciliarias"*. Compendio digital de información.
- AUGUSTO J *"Equilibrio Hídrico de un Sistema de Distribución"*. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud OPS/OMS.
- Gerardo Ahumada Theoduloz. *"Macromedición en Sistemas de Agua Potable"*. Compendio digital de información.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, AWWA. *"Economics of Leak Detection a Case of Study Approach"*. Estados Unidos de América 1985.
- OCHOA. L. *"Planeación de acciones de incremento y control de la eficiencia en sistemas de agua potable"*. Subdirección de Infraestructura Hidráulica Urbana. Unidad de Agua Potable y Saneamiento. Gerencia de Estudios y Proyectos. México 2001. Instituto Mexicano del Agua, IMTA.
- ALBERTO RODRÍGUEZ J. *"Tesis: "Diseño, construcción, calibración y operación de un banco de pruebas para medidores de agua potable"*. San Luis potosí S.L.P México 2000. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- SCHMELKES C. *"Manual para la Presentación de Anteproyectos e Informes de Investigación (tesis)"*. México 1988. Editorial Harla.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, CNA. Gerencia de Ingeniería Básica Y Normas Técnicas. *"Manual de Hidráulica, Tomas Domiciliarias"*. México 1994.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, CNA. Gerencia de Ingeniería Básica Y Normas Técnicas. *"Manual de Hidráulica. Selección e Instalación de Equipos de Macromedición"*. México 1994.
- OCHOA. L. Serie Autodidacta de Medición del Agua. *"Métodos y Sistemas de Medición de Gasto"*. Secretaria de la Marina y Recursos Nacionales Pesqueros, SEMARNAP, Comisión Nacional del Agua, CNA, Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, IMTA. México.
- PUBLICACIÓN TRIMESTRAL. *"Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las Instituciones de Agua Potable y Alcantarillado"*. *"El Balance de Agua"*. Lima, Perú 1980. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Organización Panamericana de la Salud CEPIS/OPS.
- CABALLERO R, FORNO A. *"El Agua No Contabilizada en Sistemas de Producción de Agua Potable"*. Santiago de Chile 1999. Editorial E.M.O.S S.A.



PUBLICACIÓN TRIMESTRAL. "Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las Instituciones de Agua Potable y Alcantarillado". *Tecnología en Distribución de Agua Potable*. Lima, Perú 1980. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Organización Panamericana de la Salud CEPIS/OPS.

Anexo D



CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA SUMERGIDA Y DE  
LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL POZO.

La bomba usada para la extracción de agua en el pozo del Fraccionamiento Potosino de Golf es una bomba sumergible de marca "Medina" la cual tiene las siguientes particularidades:

- Su mantenimiento es nulo ya que posee cojinetes lubricados por agua.
- Su instalación es sumamente sencilla y solamente se debe de tener cuidado antes de instalarse en posición vertical, ya que el motor deberá de llenarse con agua limpia y clara hasta el borde para así empezar a descender la electro bomba junto con el cable enroscado y el tubo hasta la profundidad deseada. Posteriormente se sujeta una abrazadera de sujeción en la parte superior y el extremo del cable se conecta a los aparatos eléctricos de arranque.
- La ventaja de este tipo de bombas es que puede maniobrarse tanto manual como automáticamente.
- Estas bombas quedan totalmente ocultas ya que no necesitan de ningún tipo de ventilación.
- No se perciben ruidos molestos en las viviendas aledañas al pozo debido a que éste tipo de bombas se encuentran sumergidas en la profundidad del mismo.
- El motor sumergible es resistente al agua, es un motor de corriente alterna trifásica, concebido para usarse como motor mojado.
- El motor está construido en su parte externa de un tubo de acero inoxidable, la base del motor es de bronce, los cojines de la bomba son de grafito de alta resistencia y sus birlos son de acero inoxidable.
- Los impulsores y difusores son de alta calidad y gran resistencia al desgaste.

#### Características de la bomba

**Bomba**  
**"MEDINA"**

1. Electro bomba sumergible mod. MPN81.
2. Bomba de 10 cuerpos.
3. Motor de la bomba tipo MHIN8-4005 de 90HP.
4. Conectada a 440 volts, 60 ciclos, descarga de 4".
5. Incluye 2 salidas de 10 mts de cable eléctrico sumergible calibre 3 x 4 A.W.G.
6. Válvula de retención de bronce y acero inoxidable

Conexión de la bomba a la cisterna.



Lámina D.1 conexión de pozo.

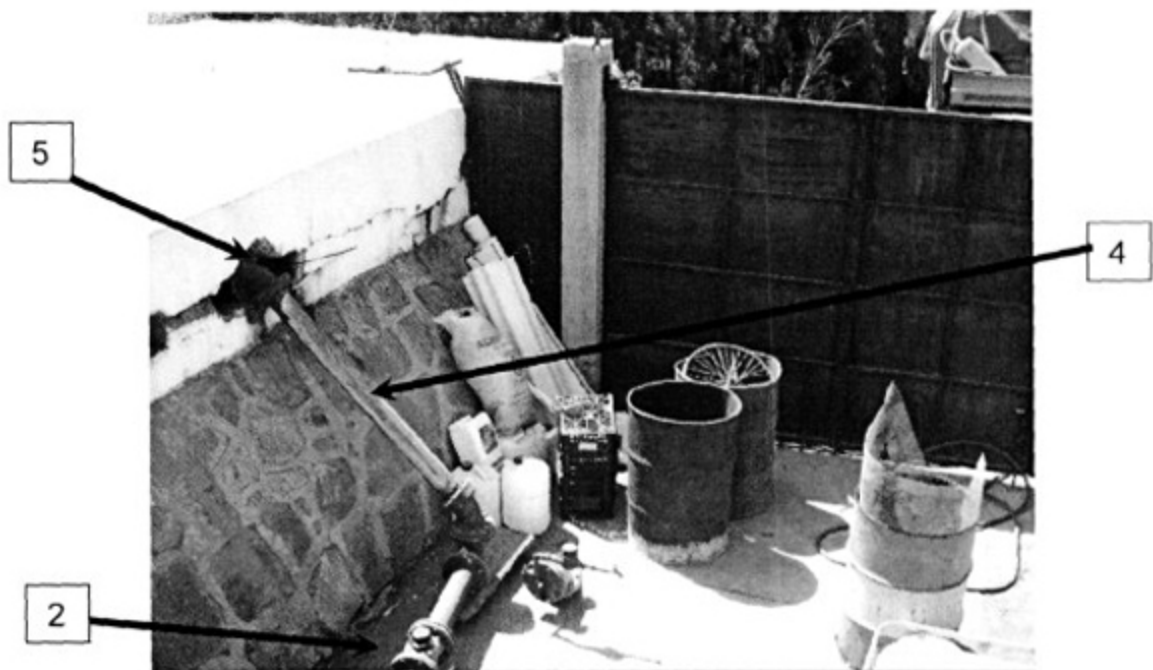


Lámina D.2 conexión de pozo.

1. Bomba sumergida.
2. Macromedidor de propela CNA.
3. Tubos de acero de 4" Fo.Fo.
4. Cables de corriente para la bomba
5. Cisterna de almacenamiento.

Detalle de pozo del Fraccionamiento Potosino de Golf.

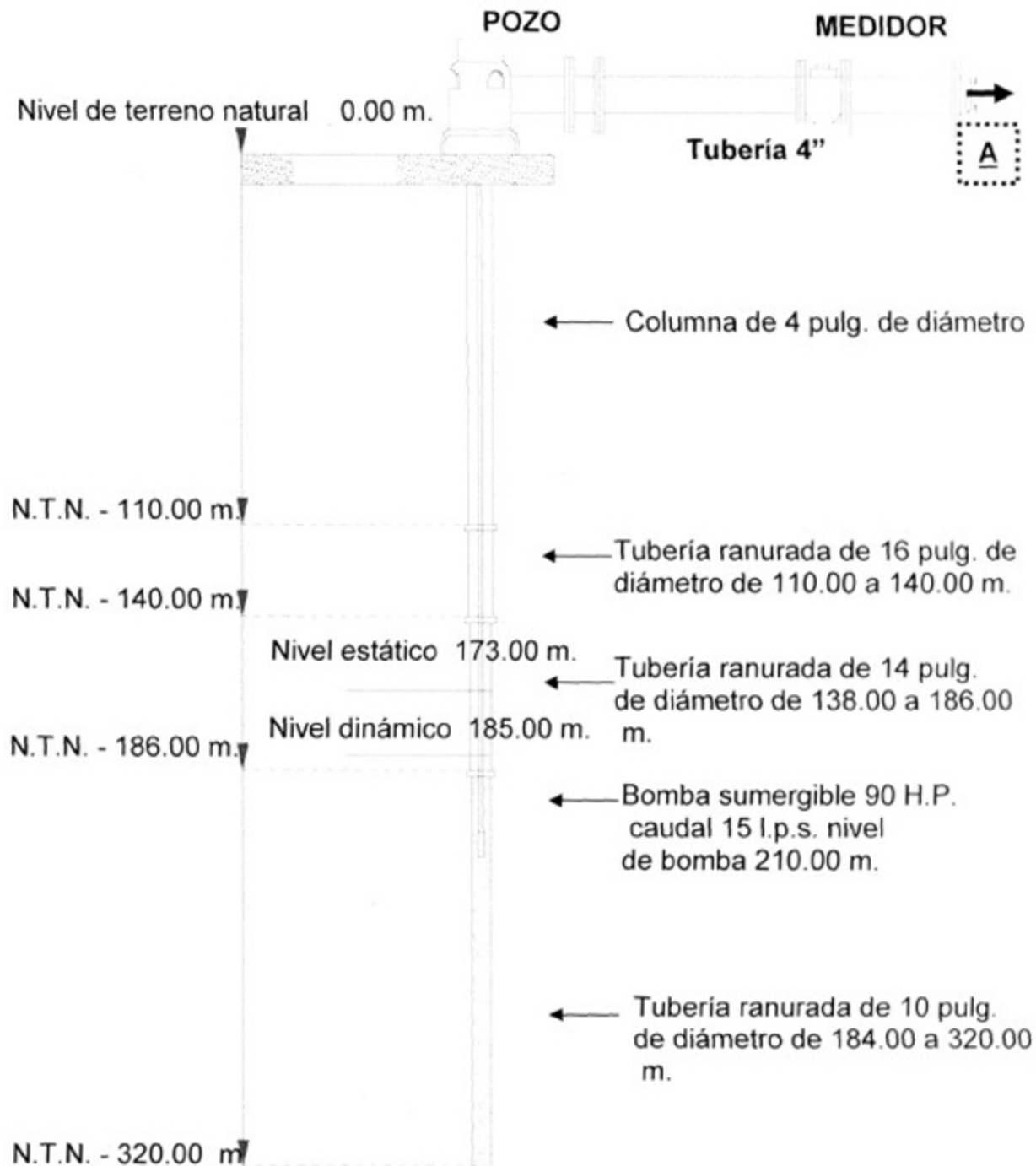


Imagen D.3 detalle características pozo.

Distribución de elementos de conexión en el pozo.

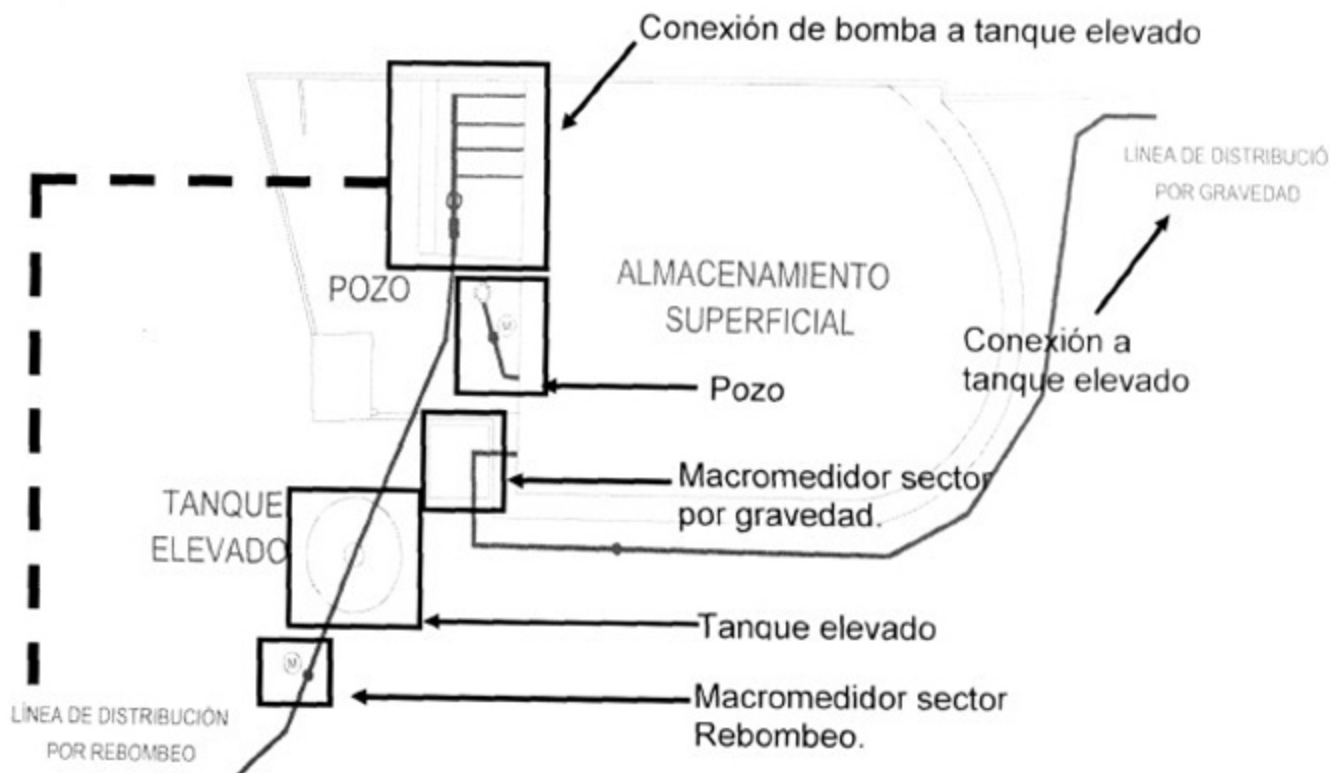


Lámina D.4 Croquis de distribución de pozo visto en planta.

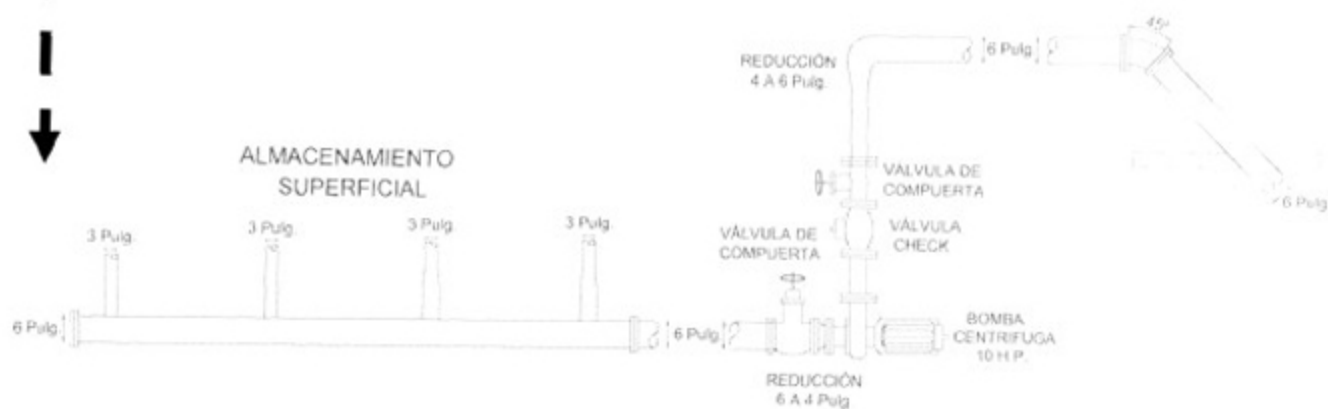


Lámina D.5 Despiece de conexión de bomba a tanque elevado.



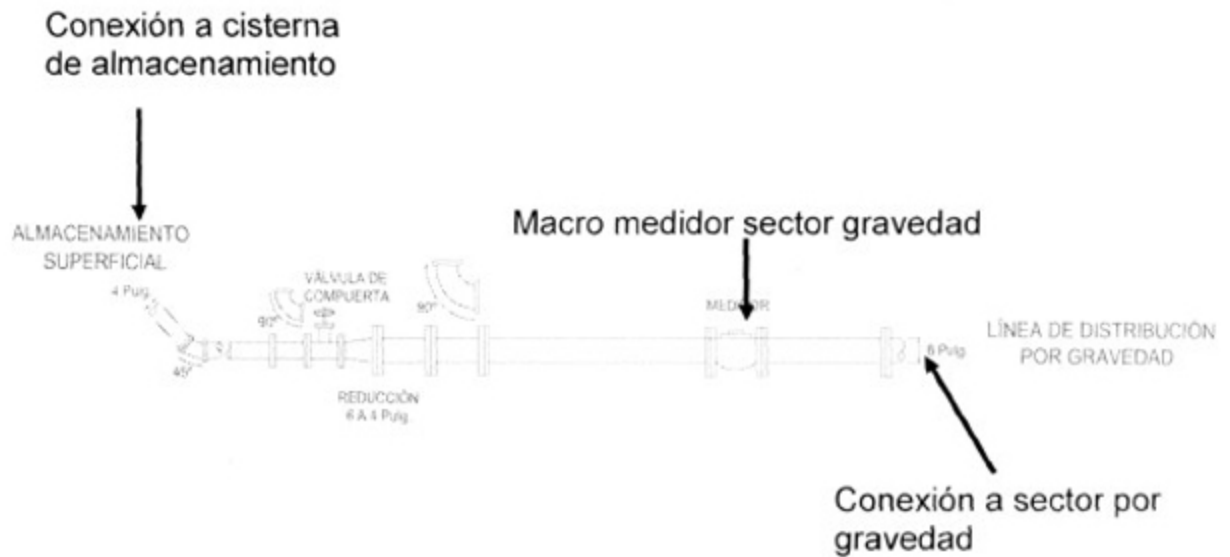


Lámina D.6 Despiece de conexión de cisterna a sector por gravedad.

En la lámina D.7 se muestra un perfil de la cisterna usada para el almacenamiento superficial, esta consta de un volúmen de **915.39 m<sup>3</sup>**, la cual se encuentra conectada directamente con el pozo de donde se extrae el agua.

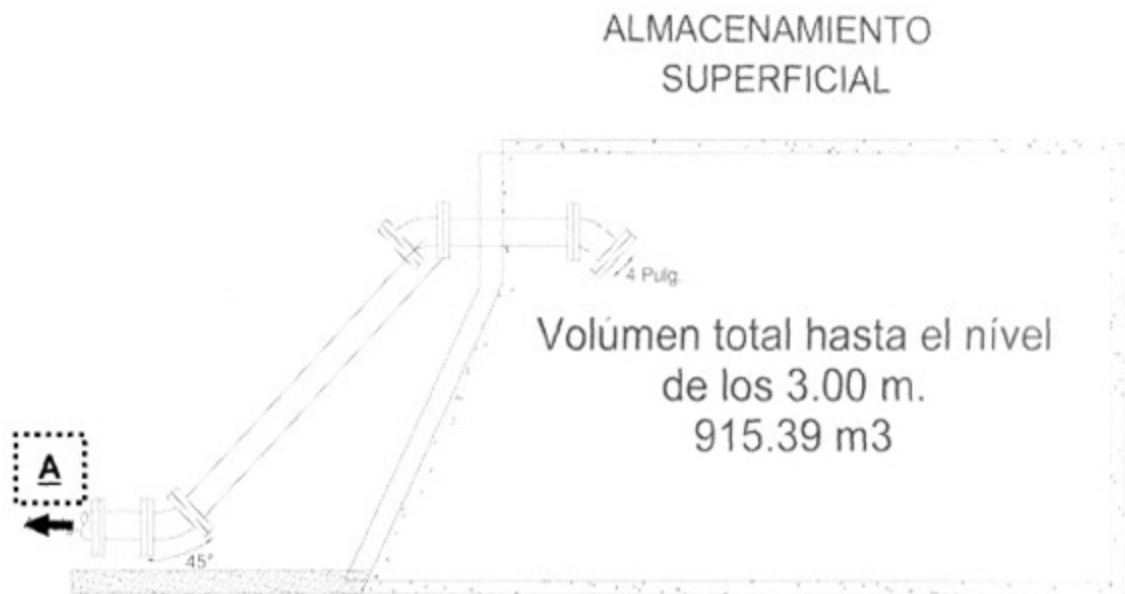


Lámina D.7 Cisterna de almacenamiento.

A continuación se describen las características del tanque elevado que usa el Fraccionamiento para distribuir agua al sector de rebombeo:

1. Válvula de compuerta de 6" conexión Fo.Fo
2. Macromedidor de propela para el sector de rebombeo.
3. Línea de distribución al sector de rebombeo de 6" de diámetro Fo.Fo.
4. Línea de llegada al tanque elevado desde la cisterna de almacenamiento, impulsada por bomba centrífuga de 10 HP.
5. Tubería de subida a tanque elevado de 4" Fo.Fo.
6. Tubería de bajada de tanque elevado de 4" Fo.Fo-
7. Tanque de almacenamiento esférico con un volúmen de almacenamiento total de **20 m<sup>3</sup>**.



Lámina D.8 Tanque elevado.

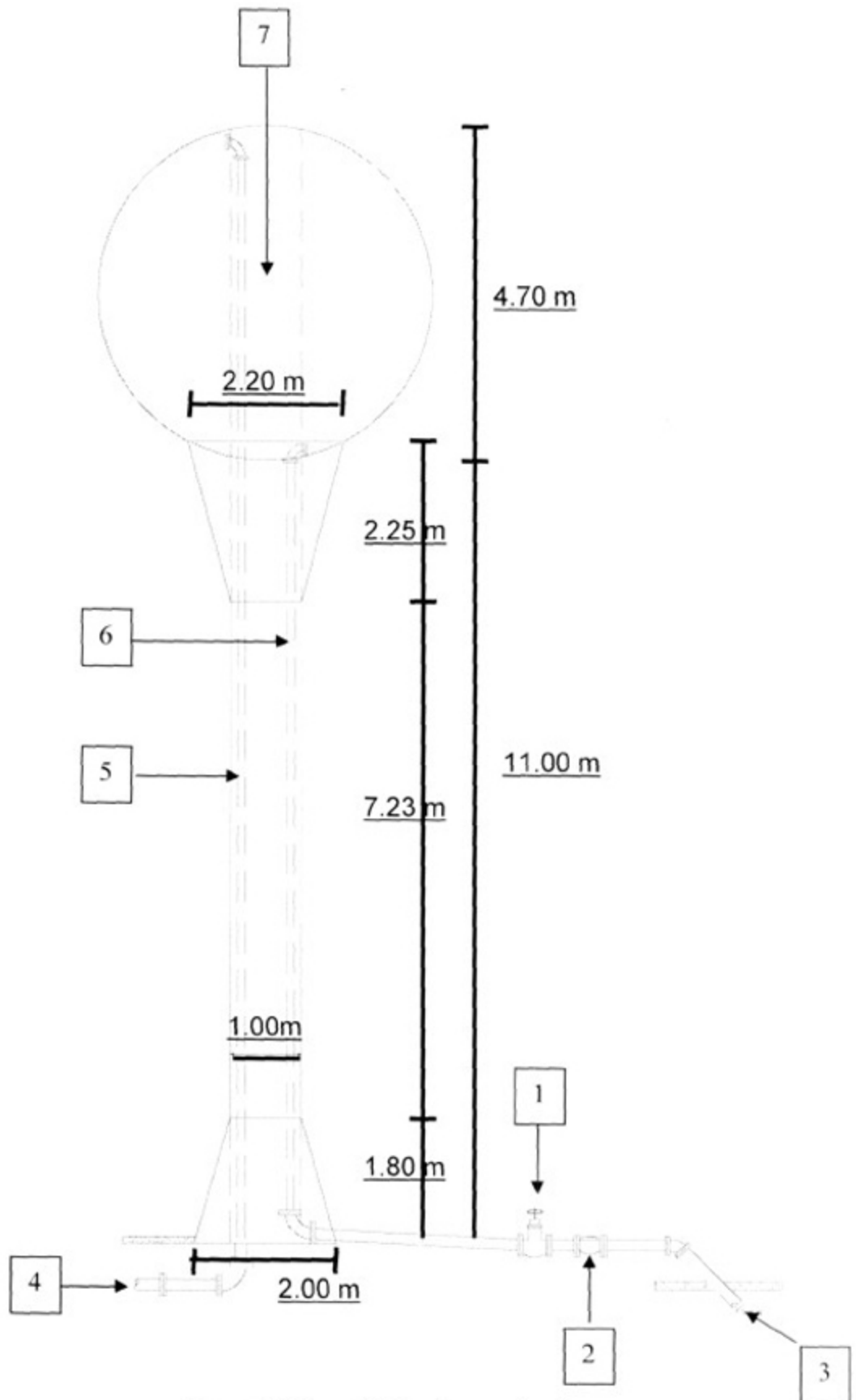


Imagen D.9 Características tanque elevado.

Anexo E



MUESTREO ESTRATIFICADO PARA LA SELECCIÓN DE  
TOMAS DOMICILIARIAS EN LA RED DE AGUA POTABLE  
DEL FRACCIONAMIENTO POTOSINO DE GOLF.

Debido a que la cantidad de usuarios en la red estudiada es pequeña, en comparación a lo descrito por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), se propuso que la red se dividiera en dos sectores principales:

- El sector por rebombear.
- El sector por gravedad.

Los dos sectores constarán de un número determinado de lotes seleccionados por medio del método aleatorio, sin tomar en cuenta la distribución de consumos.

Dado a que no se cuenta con estadísticas de fugas dentro de la red y que el porcentaje de error es desconocido, se optó por colocar los valores que por default el autor del método señala para la realización teórica del método.

Sobre un plano de la red a escala 1:2000, que se anexa a este documento, se trazaron los estratos homogéneos y los domicilios que se escogieron para efectuar la evaluación y corrección de micromedición.

Para llevar a cabo los cálculos aleatorios de selección, se usó una hoja de cálculo en Excel, cuyos datos fueron proporcionados por el organismo operador del fraccionamiento. La hoja de cálculo contiene el número de identificación del lote, el nombre del dueño, las calles que lo rodean así como las características del cuadro de conexión.

### E.1 Método de muestreo estratificado.

A continuación se muestran los cálculos para la obtención de las muestras estratificadas:

Sobre un plano de la red de distribución, se trazan estratos homogéneos, su número estará en función del tamaño de la población. El Fraccionamiento Potosino de Golf cuenta con 403 lotes habitados distribuidos a lo largo de su red, 182 baldíos, 48 jardines y 26 lotes en construcción<sup>1</sup>; dentro del Fraccionamiento se cuenta con un total de 370 tomas domiciliarias en uso, 20 tomas en uso sin medidor y 182 tomas que no tienen uso ni medidor. Usando el cuadro E.1, percibimos que la cantidad de domicilios en el fraccionamiento es pequeña, por lo tanto se optó por dividir la red en de 2 sectores.

Numero de estratos	Tamaño de la población (en miles)				
	10-50	50-150	150-300	300-700	700-1000
	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 14	16

Cuadro E.1 Número de estratos según tamaño de la población. (Leonel Ochoa, Victor Bourguett IMTA 2001)

<sup>1</sup> Véase Capítulo # 3 .Catastro general del Fraccionamiento Potosino de Golf.

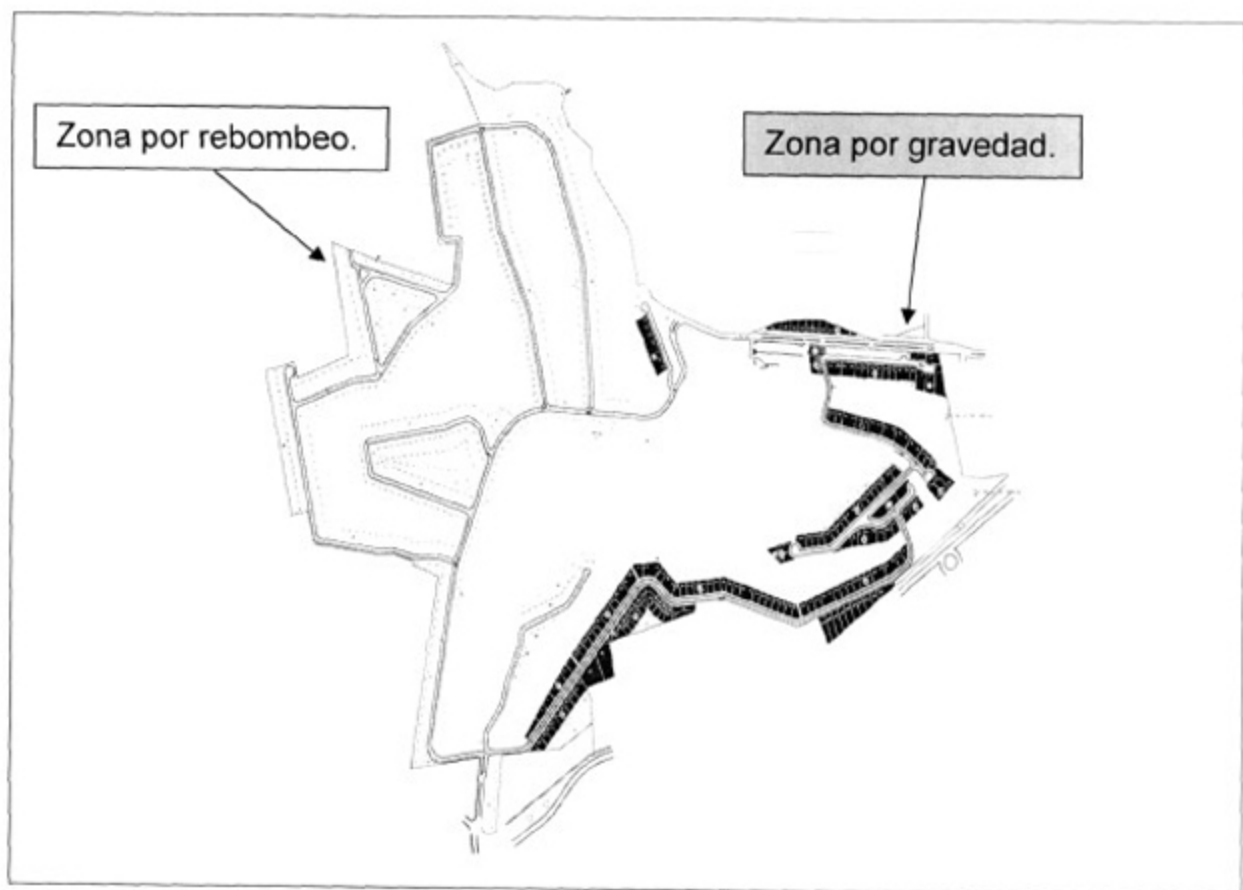


Lámina E.1 Distribución de la red en sectores.

La zona por gravedad se localiza en el extremo suroeste del fraccionamiento, principalmente sobre la avenida paseo campestre, este sector cuenta con 95 tomas catastradas. La zona por rebombeo se localiza en el extremo Norte y Noreste del fraccionamiento, sobre las avenidas de segundo Paseo Campestre, Paseo Campestre, Paseo del Lago, Paseo Alto, Paseo de las Arboledas, Paseo de las Flores y Paseo del Río, este sector cuenta con 275 tomas catastradas, para un total de 370 tomas.

Habiendo obtenido el número exacto de tomas en cada sector, se procedió a la realización del cálculo para determinar el muestreo estratificado.

## E.2 Cálculos.

Se calcularon los tamaños de las muestras de tomas domiciliarias por medio de la fórmula B.1 y B.2, seleccionando con anticipación los valores de nivel de confianza ( $Z_c$ ) y el error de estimación ( $d$ ).

Como la muestra cuenta con 370 tomas ( $N$ ) la fórmula (B.2) para el cálculo en poblaciones pequeñas no se usa, pero solo calcularemos estos valores para conocer su comportamiento.



$$n_o = \left( \frac{Z_c^2}{N \cdot d^2} \right) \cdot \left[ \sum N_i \cdot P_i (100 - P_i) \right] \quad (\text{fórmula B.1})$$

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} \quad (\text{fórmula B.2})$$

Datos para el desarrollo del método.

Datos	Gravedad	Rebombeo
<b>n<sub>o</sub></b> = Tamaño estratificado de la muestra para el estudio.	a calcular	a calcular
<b>Z<sub>c</sub></b> = abscisa de probabilidad de distribución normal, para un nivel de confianza dado.	95 %	95 %
<b>N</b> = Número total de tomas domiciliarias en el sistema de distribución.	370 tomas	
<b>d</b> = Error de estimación, en porcentaje.	5 %	5 %
<b>N<sub>i</sub></b> = Número total de tomas domiciliarias en cada estrato "i".	95 tomas	275 tomas
<b>P<sub>i</sub></b> = porcentaje de ocurrencia de fugas en el estrato "i".	25 %	25 %

Nota: En caso de no contar con el error de estimación y el porcentaje de ocurrencia de fugas, se recomienda un valor de 5% y 25% respectivamente. (Leonel Ochoa, Victor Bourguett IMTA 2001)

Cálculo para el sector por Gravedad:

$$(P_i = 20) \Rightarrow n_o = \left( \frac{Z_c^2}{N \cdot d^2} \right) \cdot \left[ \sum N_i \cdot P_i (100 - P_i) \right] = \left( \frac{1.96^2}{370 \cdot 5^2} \right) \cdot \left[ \sum 95 \cdot 20(100 - 20) \right] = 63.12$$

$$(P_i = 25) \Rightarrow n_o = \left( \frac{Z_c^2}{N \cdot d^2} \right) \cdot \left[ \sum N_i \cdot P_i (100 - P_i) \right] = \left( \frac{1.96^2}{370 \cdot 5^2} \right) \cdot \left[ \sum 95 \cdot 25(100 - 25) \right] = 73.97$$

$$(P_i = 35) \Rightarrow n_o = \left( \frac{Z_c^2}{N \cdot d^2} \right) \cdot \left[ \sum N_i \cdot P_i (100 - P_i) \right] = \left( \frac{1.96^2}{370 \cdot 5^2} \right) \cdot \left[ \sum 95 \cdot 35(100 - 35) \right] = 89.75$$

$$(P_i = 50) \Rightarrow n_o = \left( \frac{Z_c^2}{N \cdot d^2} \right) \cdot \left[ \sum N_i \cdot P_i (100 - P_i) \right] = \left( \frac{1.96^2}{370 \cdot 5^2} \right) \cdot \left[ \sum 95 \cdot 50(100 - 50) \right] = 98.63$$

Cálculo por el sector de Rebombeo :

$$(P_i = 20) \Rightarrow n_o = \left( \frac{Z_c^2}{N \cdot d^2} \right) \cdot \left[ \sum N_i \cdot P_i (100 - P_i) \right] = \left( \frac{1.96^2}{370 \cdot 5^2} \right) \cdot \left[ \sum 275 \cdot 20(100 - 20) \right] = 182.73$$

$$(P_i = 25) \Rightarrow n_o = \left( \frac{Z_c^2}{N \cdot d^2} \right) \cdot \left[ \sum N_i \cdot P_i (100 - P_i) \right] = \left( \frac{1.96^2}{370 \cdot 5^2} \right) \cdot \left[ \sum 275 \cdot 25(100 - 25) \right] = 214.14$$

$$(P_i = 35) \Rightarrow n_o = \left( \frac{Z_c^2}{N \cdot d^2} \right) \cdot \left[ \sum N_i \cdot P_i (100 - P_i) \right] = \left( \frac{1.96^2}{370 \cdot 5^2} \right) \cdot \left[ \sum 275 \cdot 35(100 - 35) \right] = 259.82$$

$$(P_i = 50) \Rightarrow n_o = \left( \frac{Z_c^2}{N \cdot d^2} \right) \cdot \left[ \sum N_i \cdot P_i (100 - P_i) \right] = \left( \frac{1.96^2}{370 \cdot 5^2} \right) \cdot \left[ \sum 275 \cdot 50(100 - 50) \right] = 285.52$$

## E.2.1 Corrección por población pequeña.

Cálculo con corrección por el sector de Gravedad:

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} = \frac{63.12}{1 + \frac{63.12}{370}} = 53.92$$

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} = \frac{73.97}{1 + \frac{73.97}{370}} = 61.65$$

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} = \frac{89.75}{1 + \frac{89.75}{370}} = 72.23$$

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} = \frac{98.63}{1 + \frac{98.63}{370}} = 77.87$$

Cálculo con corrección por el sector de Rebombeo:

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} = \frac{182.73}{1 + \frac{182.73}{370}} = 122.32$$

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} = \frac{214.14}{1 + \frac{214.14}{370}} = 135.63$$

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} = \frac{259.82}{1 + \frac{259.82}{370}} = 152.63$$

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} = \frac{285.52}{1 + \frac{285.52}{370}} = 161.15$$

Comparación entre resultados

Gravedad

Rebombeo

no
63.12
73.97
89.75
98.63

Vs  
Vs  
Vs  
Vs

n
53.92
61.65
72.23
77.87

no
182.73
214.14
259.82
285.52

Vs  
Vs  
Vs  
Vs

n
122.32
135.63
152.63
161.15

Resultados de el tamaño de la muestra por medio del método de muestreo estratificado.

- Tamaño de la muestra por el sector de gravedad = **74 medidores a muestrear.**
- Tamaño de la muestra por el sector de rebombeo = **214 medidores a muestrear.**

### E.3 Método de muestreo estratificado utilizando tabla de combinaciones de estratos.

Para efectos prácticos se puede utilizar el cuadro E.3, que es una recopilación de resultados posibles por medio de la exploración en varias ciudades de la República Mexicana. Para ésta tabla se usó un nivel de confianza de 95% y un error de estimación del 5%.

$(Ni/N)*100$	Porcentaje de fugas (Pf) por estrato			
	20	25	35	50
<i>Gravedad</i> $(95/370)*100 = 25.6$	74	86	105	116
<i>Rebombeo</i> $(275/370)*100 = 74.32$	185	216	263	289

Cuadro E.2 Selección de los mejores escenarios para el tamaño de la muestra dentro de un estudio de micromedicion.

Selección de resultado:

$(Ni/N)*100$	Porcentaje de fugas (Pf) por estrato.								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0.5-5.0	30	30	30	30	30	30	30	30	30
5.1-10.0	30	30	30	30	32	35	37	48	39
10.1-15.0	30	30	37	43	48	53	56	72	58
15.1-20.0	30	40	49	58	65	70	74	96	77
20.1-25.0	35	50	62	72	81	88	93	120	96
25.1-30.0	41	60	74	86	97	105	111	144	116
30.1-35.0	48	69	86	101	113	123	130	168	135
35.1-40.0	55	78	98	115	129	140	148	192	154
40.1-45.0	62	88	111	130	145	158	167	216	173
45.1-50.0	69	98	123	144	162	175	185	240	193
50.1-55.0	76	108	135	158	178	193	204	164	212
55.1-60.0	83	118	148	173	194	210	222	288	231
60.1-65.0	90	127	160	187	210	228	241	312	250
65.1-70.0	97	137	172	202	226	245	259	336	270

70.1-75.0	104	147	185	216	242	263	278	360	289
75.1-80.0	110	157	197	230	258	280	296	384	308

Cuadro E.3 Combinación de estratos, para identificar tamaños de muestra (Leonel Ochoa, Victor Bourguett IMTA 2001).

#### E.4 Observaciones.

Una de las consideraciones más importantes a tomar en consideración dentro de un estudio de muestreo estratificado, es la factibilidad de llevar a cabo el levantamiento completo de todos los elementos a probar en el laboratorio, ya que muchas ocasiones debido a circunstancias externas al estudio (permisos por parte de los usuarios, estado del clima, estado de los medidores, etc.) el levantamiento completo de la muestra resulta imposible.

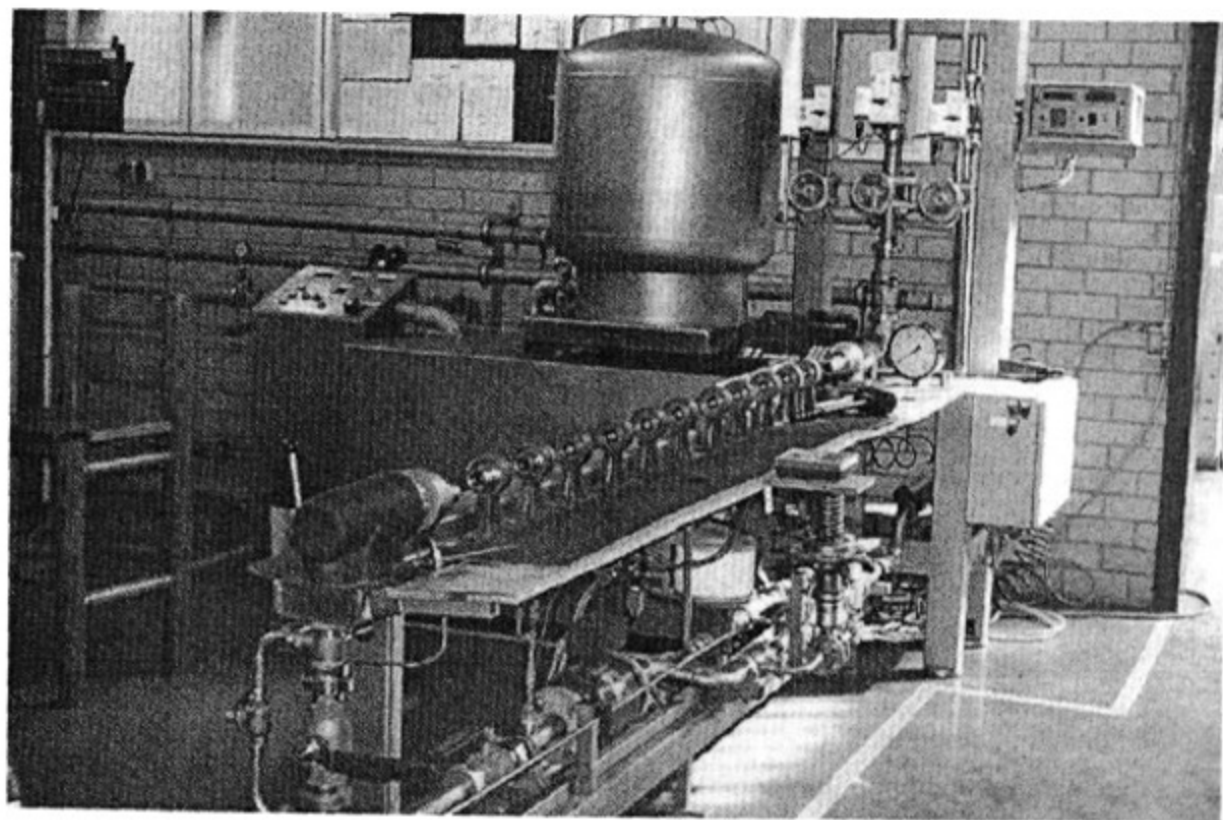
Una solución propuesta por el autor del método, para aminorar la carga de trabajo, es la disminución de la muestra aleatoria hasta que la misma se adecue a las necesidades del investigador tomando en cuenta que una disminución considerable (1/4 parte del total) de la muestra calculada puede llegar a ser negativo para el estudio.

En el Fraccionamiento Potosino de Golf se observó que el principal inconveniente para realizar el muestreo completo de medidores dentro de un estudio estratificado, no era en sí el tamaño de la muestra, sino el retiro de los medidores de los cuadros, esto debido a que la mayoría de los medidores dentro del Fraccionamiento eran de difícil acceso a causa de su acomodo; por lo cual, se optó por la disminución del muestreo en los dos sectores hasta completar una cantidad respetable de medidores probados.

La muestra final para el muestreo de medidores quedó de la siguiente manera:

- 102 medidores probados en el laboratorio (zona por gravedad y zona por rebombeo) que corresponde a una 3ª parte del total de la muestra original (dentro del rango marcado por el autor), por lo que la muestra es representativa.

## Anexo G



**CARACTERÍSTICAS Y USO DE LA MESA DE PRUEBAS  
PARA LA IDENTIFICACIÓN DE EL ERROR DE MEDICIÓN  
EN MICROMEDIDORES.**

## G.1 Objetivo.

El objetivo principal de éste anexo en la investigación de agua no contabilizada, llevada a cabo en el Fraccionamiento Potosino de Golf, consiste en presentar las características de la mesa de pruebas construida en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, con el fin de precisar los valores de error de los micromedidores de  $\frac{3}{4}$ " obtenidos por medio de una muestra aleatoria de usuarios.

## G.2 Factores a regular en una mesa de pruebas.

Antes de iniciar a construir la mesa de pruebas es importante precisar que para lograr un correcto estudio de los micromedidores, resulta necesario controlar diversos factores que influyen en la realización de los ejercicios de muestro y que son:

- **La Calidad de agua:** Las pruebas a los micromedidores se realizaran con agua potable de tipo público.
- **La temperatura:** Durante la prueba, la temperatura del agua no debe variar por más de 5 grados centígrados.

"La máxima incertidumbre en la medición de la temperatura no debe exceder 1 grado centígrado en el momento de las pruebas". (Jorge Alberto Rodríguez Robledo "diseño, construcción, calibración y operación de un banco de pruebas para medidores de agua potable". Tesis. octubre 2000)

- **La presión:** Al momento de realizar las pruebas se deberá que observar que la presión dentro del sistema no varíe con respecto del valor inicial. Para todas las pruebas la presión aguas arriba del medidor no deberá de variar por mas de 10%.

"La incertidumbre máxima en la medición de la presión deber de ser 5% del valor del medidor. La presión a la entrada no deberá de exceder el valor de la presión nominal del medidor". (Jorge Alberto Rodríguez Robledo "diseño, construcción, calibración y operación de un banco de pruebas para medidores de agua potable". Tesis. octubre 2000)

- **La vibración:** Debido al movimiento generado por el golpe de ariete, provocado por el cierre de válvulas dentro del circuito de tuberías, se opto por colocar bases que soporten que fijen los micromedidores a la mesa de pruebas a efecto de evitar errores en la obtención de los resultados.
- **El gasto:** A fin de que los resultados obtenidos en las pruebas sean representativos, se utilizará un flujo constante. La variación de gasto serán



controlado de tal manera de que sean similares al lugar de donde son originarios los medidores. Para lograr esto se utilizaran diferentes variaciones de flujo con respecto al tiempo.

### G.3 Descripción del equipo de prueba.

El equipo de prueba a utilizar consiste en:

- a) Un suministro de agua ( tanque, bomba, etc)
- b) Tuberías, conexiones, piezas especiales y válvulas.
- c) Dispositivo de referencia calibrado (tanque, rotámetro).
- d) Cronómetro para medir el tiempo.

El suministro de agua usado para las pruebas se obtiene de un tinaco con una capacidad de 750 lt ( $5m^3$ ), el cual se conectó directamente con una bomba centrífuga de  $1\frac{1}{2}$  hp con una capacidad máxima de  $3 \text{ Kg/cm}^2$  de presión. La bomba se conectó al tanque por medio de una tubería de PVC de 1 pulgada; en esta sección se colocó una válvula de globo de 1 pulgada para cerrar el tramo de alimentación entre el tinaco y la bomba. Con éste mecanismo evitamos posibles fugas provocadas por la succión de la bomba sobre las uniones de las tuberías (lámina G.1)

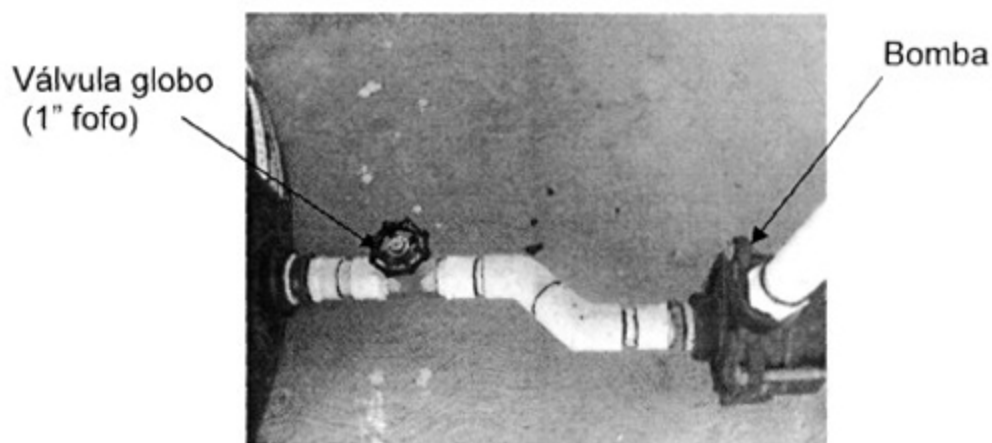


Lámina G.1 conexión tanque - bomba.

Para lograr regular el gasto de entrada en los micromedidores se optó por la instalación de un "by - pass", que permite dividir el flujo en dos, para así conducir el flujo necesario a los aparatos y dirigir el gasto excedente al tanque (lámina G.2), en ésta sección también se colocó una válvula de tipo "check" para no dejar que el agua que se encuentre dentro de las tuberías conectadas a los micromedidores se vacíen y produzcan errores en la medición a causa de distorsiones en el flujo.

Válvula globo (1" fofo)

Válvula chek (1" fofo)

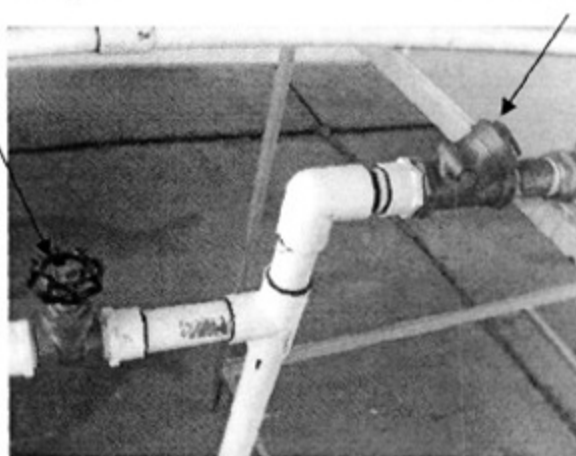
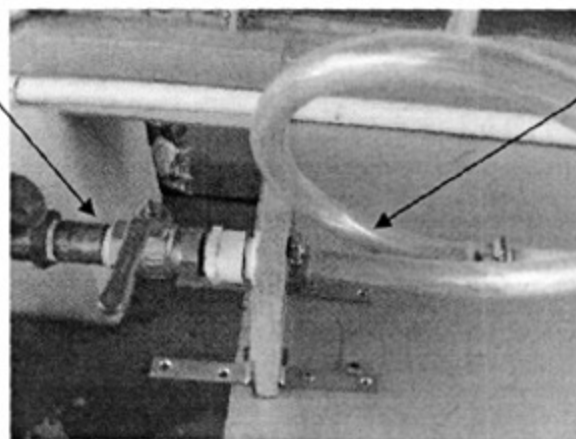


Lámina G.2 Sistema "by - pass".

Para lograr el cierre inmediato de agua y permitir el cambio de micro medidores en la mesa, se colocó después del by-pass una válvula de esfera de cierre rápido de 1 pulgada de diámetro, en este sector también se colocó una tubería de plástico de alta resistencia en forma de cola de cochino para permitir alargar o acortar la anchura de los espacios donde van a ser colocados los micromedidores (lámina G.3)

Válvula de esfera  
(1" galvanizada)



Manguera de alta  
resistencia (Cola  
de cochino).

Lámina G.3 Válvula de esfera y tubería en forma de cola de cochino.

Para efectuar las pruebas con mayor rapidez se optó por la colocación de 5 micromedidores en la mesa. Los medidores están separados entre sí por una distancia de 60 cm conectados con tubería de PVC de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y fijados a la superficie mediante unos soportes de madera de 15 cm x 15 cm que no permiten vibración en los medidores (lámina G.4). En los extremos de cada medidor, se colocó un manómetro utilizado para igualar las condiciones de presión que se presentan en campo.

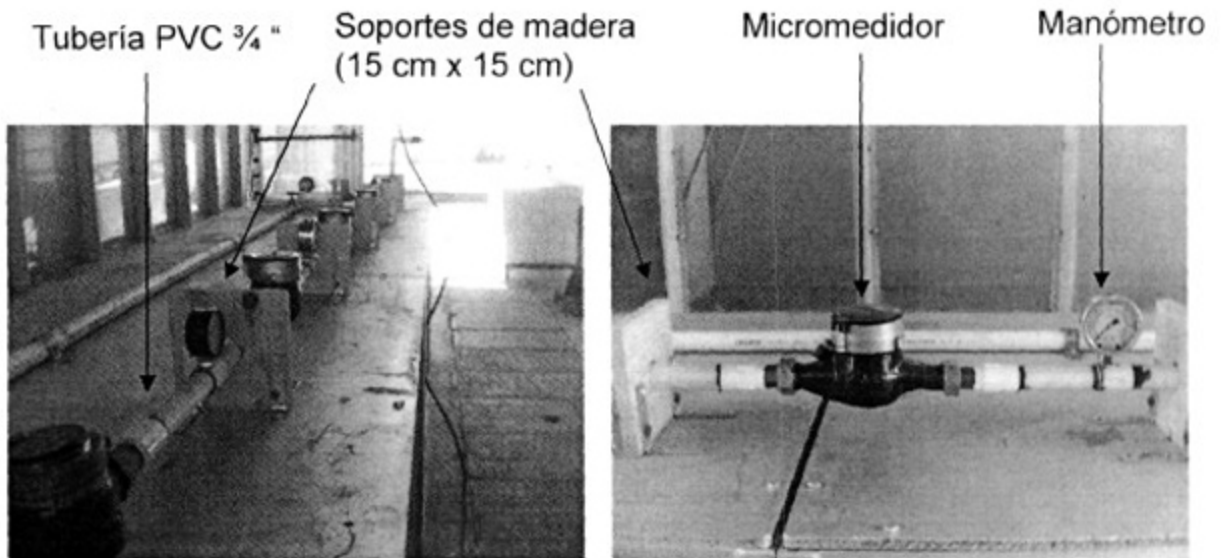


Lámina G.4 Colocación micromedidores.

Para poder medir la cantidad de gasto aproximado que circula por los micromedidores se instaló un rotámetro con un rango de 2 a 20 lts/min al final del recorrido que lleva al tanque de aforo. Para poder regular la presión del agua dentro de los medidores se instaló una válvula de globo de 1 pulgada de diámetro antes del rotámetro (lámina G.5).

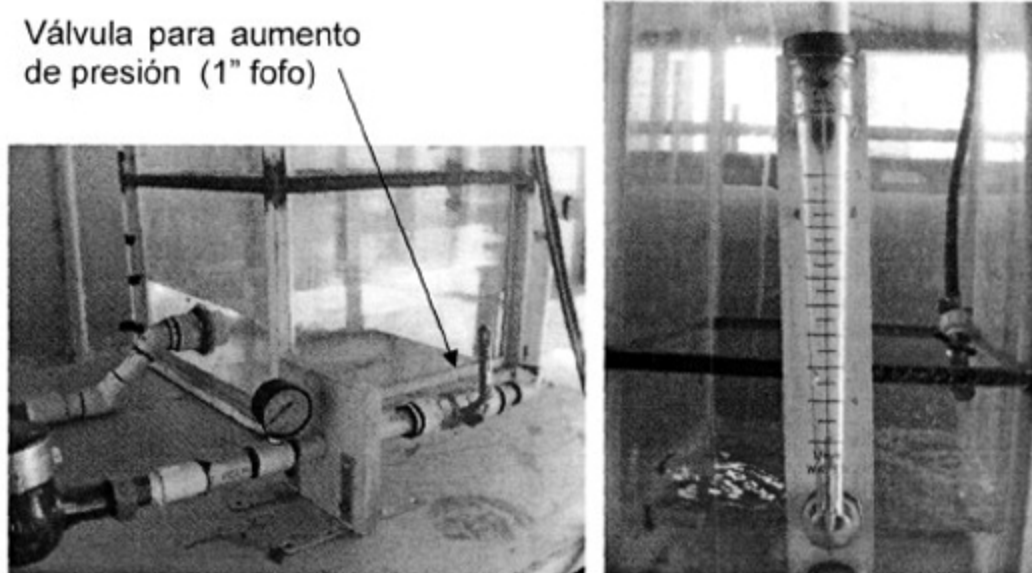


Lámina G.5 Detalle válvula para aumento de presión y rotámetro.

Además de contar con un rotámetro que mide aproximadamente el gasto que pasa por el sistema, se cuenta con un tanque de aforo con un volumen de 250 lt que nos va a ser útil para encontrar el gasto que paso por el sistema y compararlo con el gasto obtenido por los micromedidores en un tiempo determinado (lámina G.6). Para evitar el pandeo de las paredes de acrílico a causa de la carga del agua, el tanque se rodeó a 1/3 de su altura por una estructura metálica de solera que evita la deformación del acrílico.

Solera a 1/3 de altura

Tanque de aforo

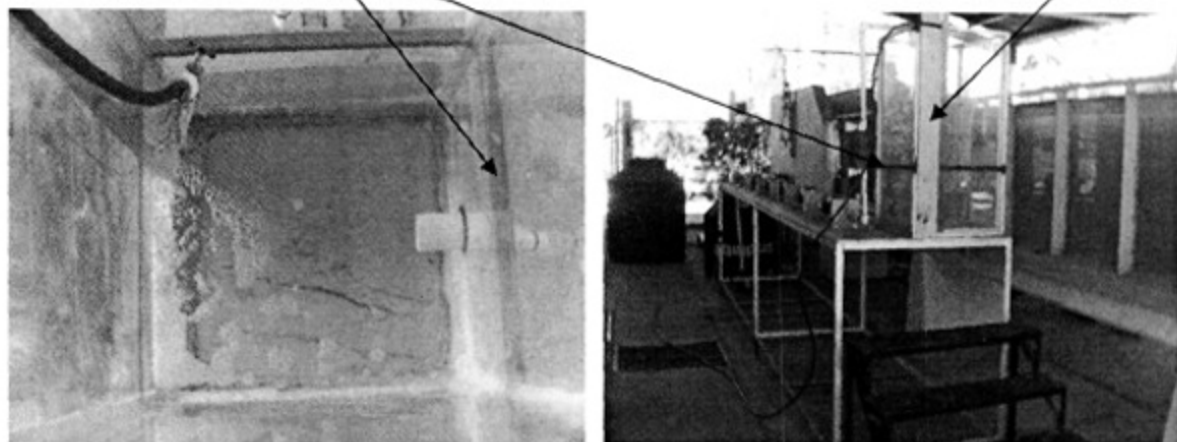


Lámina G.6 Tanque de aforo.

Para regresar el agua del tanque de aforo al tinaco, se utilizó un sistema de retorno por gravedad con tuberías de PVC de 1 pulgada de diámetro, en éste retorno se colocó una válvula para impedir el paso del agua del tanque al tinaco al instante de realizar las pruebas y así mantener sellado el tanque de aforo (lámina G.7).



Línea de retorno por gravedad.

Lámina G.7 Línea de retorno.

### G.3 Esquema de la mesa de muestreo.

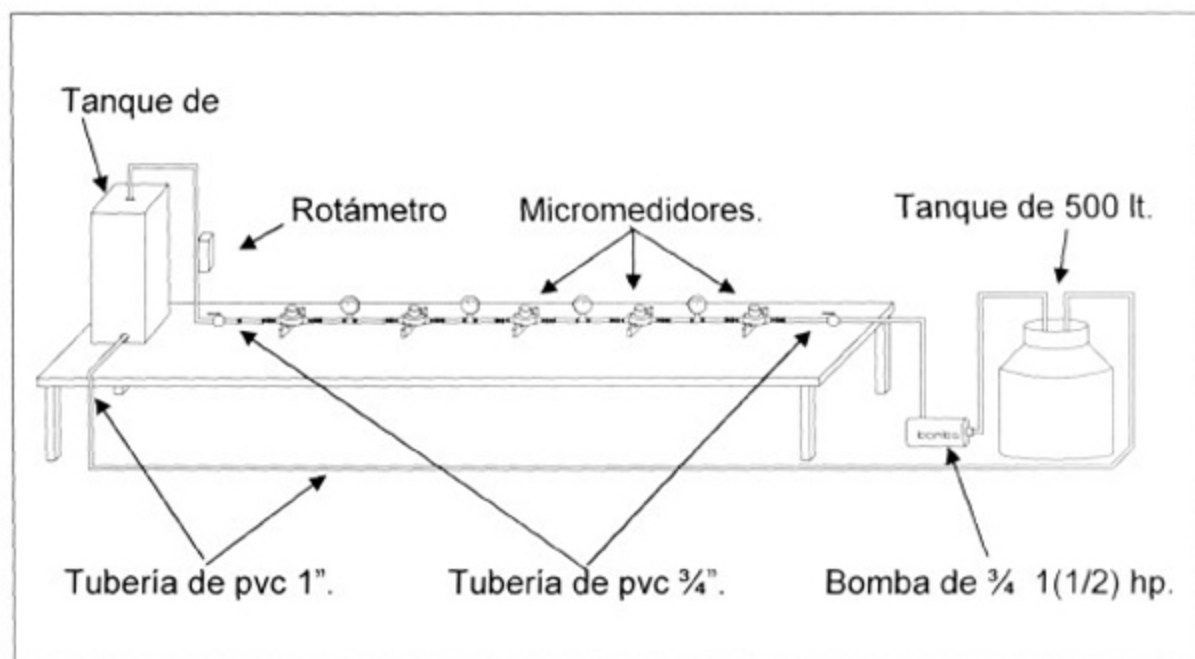


Lámina G.8 Esquema de la mesa de pruebas.

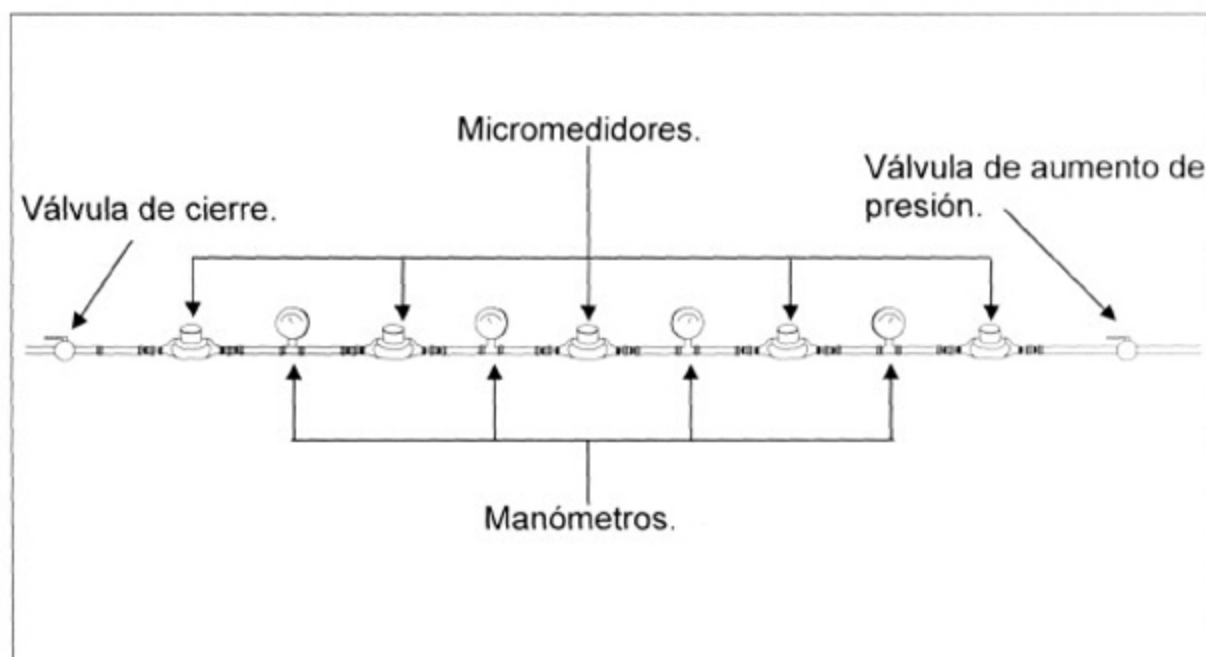


Lámina G.9 Esquema de colocación micromedidores sobre la mesa de pruebas.

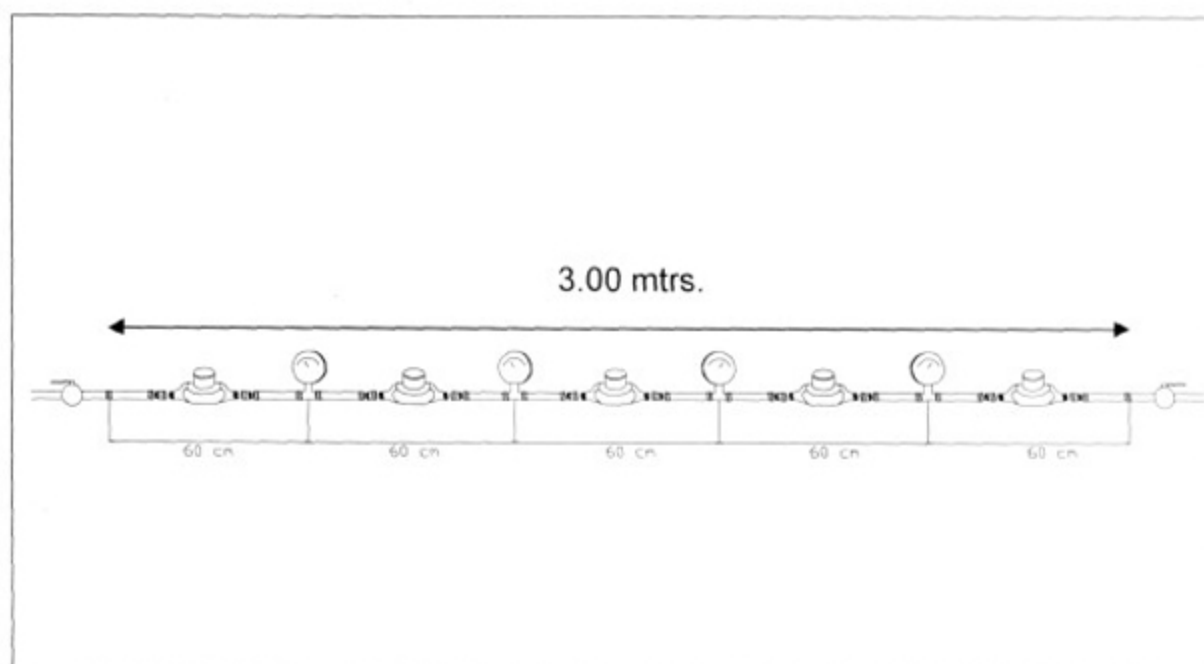
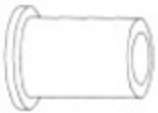
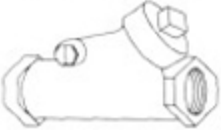
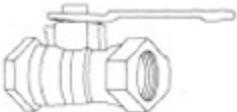






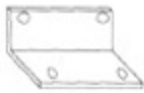





Lámina G.10 Distancias entre medidores.

#### G.4 Despiece de la mesa de muestreo

	<p>5 Codos de 3/4" de pvc hidráulico. 3 Codos de 1" de pvc hidráulico.</p>
	<p>6 Coples de 3/4" de pvc hidráulico. 3 Coples de 1" de pvc hidráulico.</p>
	<p>10 Conectores macho de 1 " de pvc hidráulico.</p>
	<p>10 Conectores macho de 3/4" de pvc hidráulico.</p>



	<p>3 Reducciones de 1" a 3/4" de pvc hidráulico.</p>
	<p>1 Válvula check de 1".</p>
	<p>2 Válvulas de esfera de 1" 4 Válvulas de globo de 1 "</p>
	<p>1 Manómetro de glicerina de 0 a 1 kg/cm<sup>2</sup>. 2 Manómetro de glicerina de 0 a 2 kg/cm<sup>2</sup>. 3 Manómetros normales propiedad del laboratorio de hidráulica.</p>
	<p>1 Tinaco de 750 lt. 1 Tinaco de 1000 lt. (Reserva)</p>
	<p>10 Metros de tubería de 3/4 " de pvc hidráulico. 10 Metros de tubería de 1 " de pvc hidráulico.</p>
	<p>10 Adaptadores de madera para tubería de 15*15 cm madera</p>

	20	Ángulos. (para fijar los adaptadores de madera a la mesa).
	1	Bote de pegamento pvc hidráulico de alta resistencia.
	60	Tornillos con tuerca.
	3 2 3	Conexiones espiga de 1 1/2". Conexiones espiga de 3/4". Conexiones espiga de 1".
	2	Botes de silicona transparente.
	1	Pistola de silicona.

### G.5 Modo de operar la mesa de pruebas.

Para detallar la manera de cómo operar la mesa de pruebas, se optó por describir su uso mediante una serie de pasos seriados y concretos que a continuación se indican:

1. Se toman los datos de los micromedidores a probar como se indica enseguida:

Datos de los medidores:

- Modelo.
  - Tipo de medidor.
  - Marca del medidor (de volúmen o de velocidad).
  - Valor de medida en la carátula.
  - Estado del medidor.
  - Diámetro del medidor.
  - Fotografía.
2. Se obtiene la ecuación del tanque de aforo, realizando el llenado del mismo con un recipiente graduado. Cada vez que suba el espejo de agua del tanque graduado se toma la nueva altura, para así obtener una relación de valores como a continuación se muestra (cuadro G.1).

Ejemplo:

<b>Volúmen de llenado. (lt)</b>	<b>Altura alcanzada. (cm)</b>
2	1.2
4	2.4
6	3.6
8	4.8
10	5.0
12	6.2
14	7.4
16	8.6
18	9.8

Cuadro G.1 Ejemplo de valores para obtener ecuación tanque.

El llenado continúa hasta alcanzar el volúmen del tanque de aforo que se desee, de preferencia se recomienda que se alcance la mitad del tanque a efecto de obtener un mejor comportamiento de la ecuación. Los valores alcanzados se introducen a una hoja de Excel y se obtiene su ecuación a través de la curva de comportamiento binomial. Este proceso sólo se realiza una vez, ya que la formula se usará para todo el muestreo de medidores.

3. Se colocan los micromedidores a estudiar en los conectores sobre la mesa de muestreo.
4. Se prende la bomba y se abren las válvulas de cierre para dejar pasar agua dentro de las tuberías.

- Se revisa si no existen fugas entre los conectores y los micromedidores. En dado caso de que existan se procede a eliminarlas mediante el acondicionamiento de las conexiones.
- Se realiza la primera prueba mediante el uso de un gasto tipo ISO, para este ejemplo usaremos el gasto de  $(0.167 \times Q_n) = 41.67 \text{ lt/min}$ , donde  $Q_n$  es el gasto nominal.

Para calibrar el gasto se usa un recipiente con un volúmen conocido y se llena la tubería que alimenta al tanque de aforo. En el instante que empiece a caer agua dentro del recipiente se toma el tiempo hasta el instante que se llene se detiene el cronómetro. El tiempo de llenado del recipiente es el valor que nos indica si el gasto que corre dentro del sistema es el que corresponde para la prueba (lámina G.11).

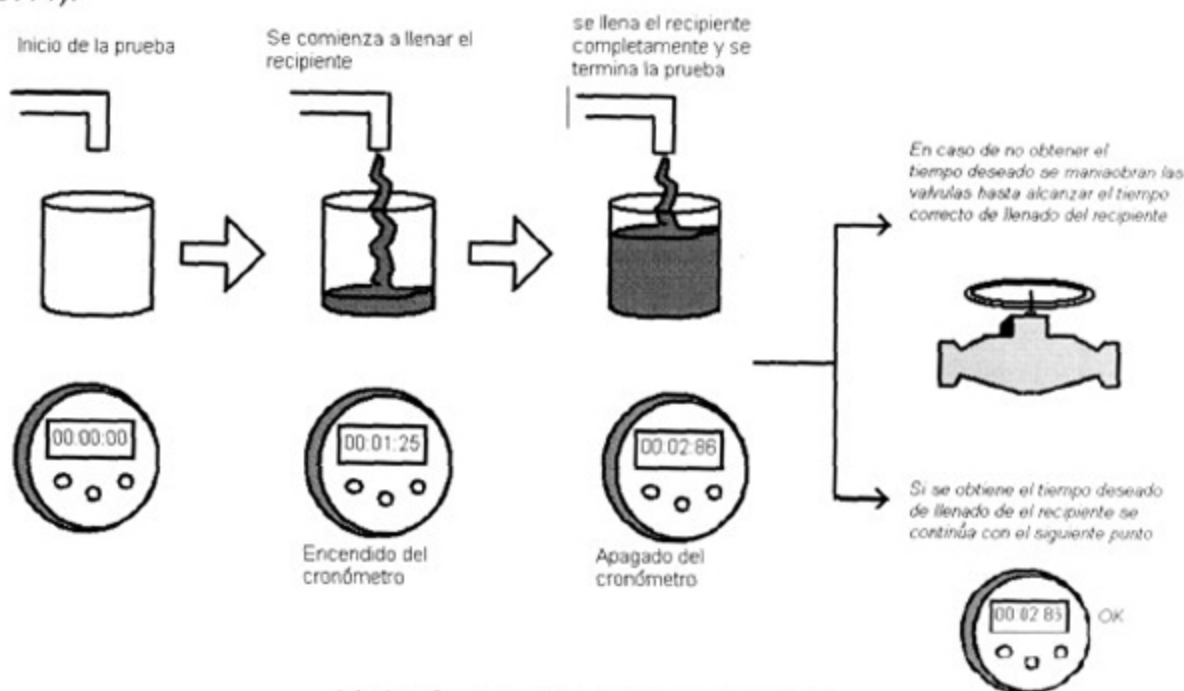


Lámina G.11 Método para encontrar el gasto.

El tiempo para obtener los gastos se obtiene con la siguiente formula:

$$Q = \text{velocidad} \times \text{Area} = \left(\frac{m^2}{s}\right) \times (m) = \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

Por lo tanto:

$$Q = \frac{\text{Volúmen}}{\text{Tiempo}}$$

Si despejo el tiempo entonces tenemos:

$$T = \frac{\text{Volúmen}}{Q} = \frac{\text{volúmen recipiente}}{\frac{(41.67 \left(\frac{\text{lt}}{\text{min}}\right))}{60 (s)}} = \frac{2 \text{ lt}}{0.6945 \left(\frac{\text{lt}}{s}\right)} = 2.87 \text{ s} \quad (\text{fórmula G.1})$$

Por lo tanto para obtener el gasto deseado, el tiempo de llenado del recipiente debe de ser de aproximadamente de 2.87 segundos. Esta prueba se efectuará cada vez que tratemos de calcular el gasto al que deseamos que trabajen los micromedidores.

Para calibrar este gasto se usarán las dos válvulas de globo colocadas tanto al inicio como al fin del sistema (lámina G.2 y G.5) procurando que las presiones en los manómetros estén entre  $.8 \text{ kg/cm}^2$  a  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ .

Para agilizar el proceso se puede usar el rotámetro, para así tener un punto de partida y acercarnos mas rápido al gasto deseado.

7. Ya que se tiene el gasto regulado, se procede a tomar los datos iniciales de medición de los micromedidores mientras no fluya el agua por las tuberías (mecanismos de medición estáticos).
8. Después de reunir los datos de la medición inicial se procede a dejar pasar el flujo abriendo la válvula de cierre que se encuentra al inicio del sistema (lámina G.3).
  - Hay que recordar que el tanque de aforo debe de estar vacío para poder iniciar en el valor desde cero.
  - Al momento de abrir la válvula se comienza a tomar un registro del lapso de tiempo que tarda en llenarse el tanque de aforo hasta el volúmen deseado.
  - En el instante que se llegue al volúmen deseado se cierra la válvula y se detiene el cronómetro.
9. Se toma la medida de los micromedidores y la altura que alcanzó la columna de agua dentro del tanque de aforo para usarla en la ecuación del tanque.
10. Se prosigue con las pruebas desde el punto #8 hasta tener 3 repeticiones por cada gasto.
  - a) Para las pruebas aplicadas a los micromedidores del Fraccionamiento Potosino de Golf, se usaron tres tipos de volúmenes con tres diferentes gastos, que son:

Gasto ISO	Tiempo llenado recipiente (s)	Número de pruebas	Volúmen tanque de aforo (lt)
<b>1er prueba</b> 0.167 x Qn = 41.67 lt/min	2.87	3	120
<b>2da prueba</b> 0.5 x Qn = 20 lt/min	6.06	3	60
<b>3er prueba</b> 0.3 x Qn = 12.5 lt/min	9.60	3	30

Cuadro G.2 Valores de gasto, tiempo y volúmen que se usaron en las pruebas a micromedidores del Fraccionamiento Potosino de Golf.

11. Al terminar las pruebas con los tres tipos diferentes de gastos se procede a cambiar de medidores para proseguir con el muestreo hasta acabar con todos los micromedidores seleccionados dentro del estudio estratificado aleatorio.