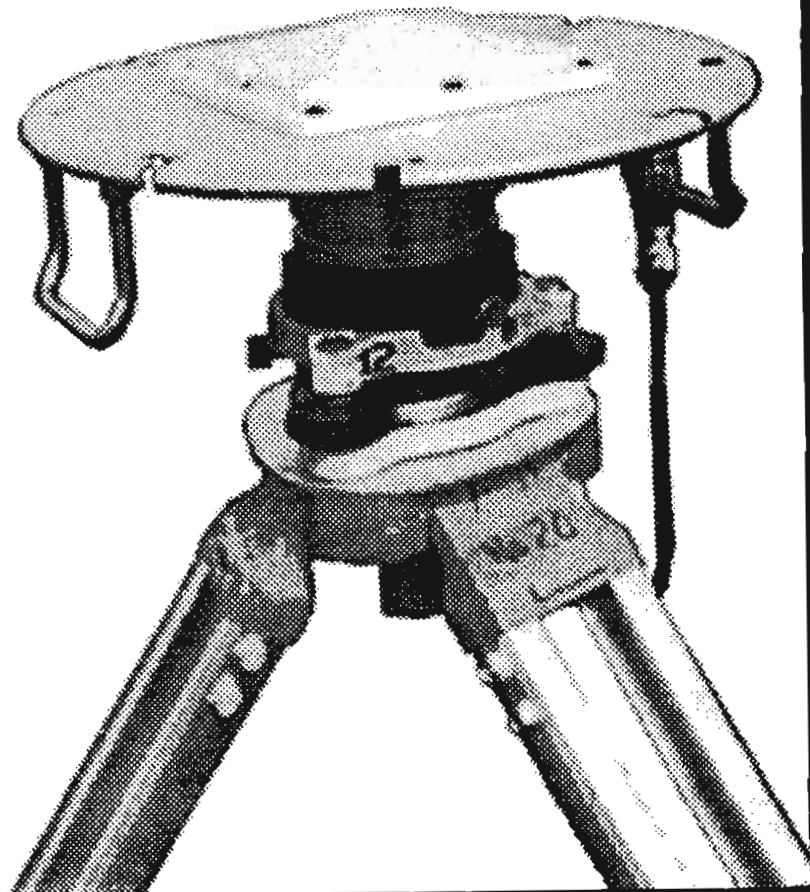


**NAVSTAR**  
**TIEMPO Y DISTANCIA DE NAVEGACION POR**  
**SATELITE**

**TRABAJO RECEPCIONAL**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO TOPOGRAFO HIDROLOGO**  
**PRESENTA**  
**GUILBERMO VELAZQUEZ FERNANDEZ**





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

**FACULTAD DE INGENIERIA**

Dr. Manuel Nava No. 8 Zona Universitaria

Teléfonos: 13-11 86, 13 52-38, 13 63-35 y 13 82-22

Fax: (48) 13-09-24

78290, San Luis Potosí, S. L. P., México

SEPTIEMBRE 29, 1994.

Al Pasante Señor Guillermo Velázquez Fernández  
P r e s e n t e.-

En atención a su solicitud de autorización de Temario, presentada por el Ing. Juan Reyes Alcantara, Asesor del Trabajo Recepcional que desarrollará Usted, con el objeto de sustentar Examen Profesional en la Licenciatura de Ingeniero Topógrafo Hidrólogo. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 29 de Septiembre del presente año, fué aprobado el Temario propuesto:

**"NAVSTAR TIEMPO Y DISTANCIA DE NAVEGACION POR SATELITE"**

**TEMARIO:**

- I.- INTRODUCCION "EL SISTEMA TRANSIT"
  - II.- "NAVSTAR" TIEMPO Y DISTANCIA DE NAVEGACION POR SATELITE, SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL
  - III.- LAS ORBITAS DE LOS SATELITES
  - IV.- EL RECEPTOR GPS
  - V.- MATEMATICAS DEL GPS
  - VI.- ¿POR QUE ES LA SEÑAL GPS TAN COMPLEJA?
  - VII.- LAS LIMITACIONES DEL GPS
  - VIII.- COMPARANDO GPS Y GLONASS
  - IX.- LA RED GEODESIA NACIONAL ACTIVA
  - X.- MISSION PLANNING (PLANEACION DE LA MISION)
  - XI.- USO Y MANEJO DEL EQUIPO GPS
  - XII.- DESCARGA DE DATOS Y PROCESAMIENTO CON GPPS
  - XIII.- PROCEDIMIENTO PARA EL USO DEL EQUIPO GPS
  - XIV.- COMO SE DESARROLLAN LAS ACTIVIDADES DE MEDICION EN EL -- CAMPO
  - XV.- MANTENIMIENTO DE LOS RECEPTORES
  - XVI.- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA.

Ruego a Usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, debe prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

" MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAZ AUDIBO

  
ING. DAVID ATISHA CASTILLO  
DIRECTOR DE LA FACULTAD



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTAD DE INGENIERIA

## **DEDICATORIA**

**A M. ISABEL  
MI ESPOSA**

**QUIEN CON TERNURA SIEMPRE ME AMPARA, PARA QUE CUMPLA CON LAS LABORES QUE LA EXISTENCIA ME HA IMPUESTO, Y LAS QUE CASI SIEMPRE HAN SIDO DIFICILES.**

**A ANDRES GUILLERMO Y ARMANDO  
MIS HIJOS**

**QUIENES ALGUNAS VECES HAN TENIDO QUE PALADEAR LA SEVERIDAD DE LA VIDA, EN ARAS DE QUE PUEDA YO CUMPLIR LAS METAS, QUE EN CIERTAS OCASIONES POR MI LIBRE ALBEDRIO ME HE IMPUESTO, Y NO OBSTANTE, SIEMPRE HAN ESTADO JUNTO A MI ALENTANDOME A CUMPLIRLAS.**

**AL HEROICO COLEGIO MILITAR**

**QUE EN LA PLENITUD DE MI NUBILIDAD, ME DIO ASILO EN SUS AULAS Y ME PREPARO PARA ENFRENTAR LOS RETOS QUE IMPONE EL CAMINO DEL DEBER.**

## TEMARIO

	Página
I. INTRODUCCION "EL SISTEMA TRANSIT	1
II. "NAVSTAR" TIEMPO Y DISTANCIA DE NAVEGACION POR SATELITE, SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	29
III. LAS ORBITAS DE LOS SATELITES	47
IV. EL RECEPTOR GPS	66
V. MATEMATICAS DEL GPS	73
VI. ¿POR QUE ES LA SEÑAL GPS TAN COMPLEJA?	84
VII. LAS LIMITACIONES DEL GPS	95
VIII. COMPARANDO GPS Y GLONASS	101
IX. LA RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA	107
X. MISSION PLANNING (PLANEACION DE LA MISION)	120
XI. USO Y MANEJO DEL EQUIPO GPS	132
XII. DESCARGA DE DATOS Y PROCESAMIENTO CON GPPS	170
XIII. PROCEDIMIENTO PARA EL USO DEL EQUIPO GPS	188
XIV. COMO SE DESARROLLAN LAS ACTIVIDADES DE MEDICION EN EL CAMPO	217
XV. MANTENIMIENTO DE LOS RECEPTORES	239
APENDICE	252
CONCLUSIONES	256
BIBLIOGRAFIA	271

## INDICE

		Página
CAPITULO I	<b>INTRODUCCION El Sistema Transit</b>	1
	Aplicaciones del Transit	5
	Necesidad de la Integración	7
	Sonar Doppler y Girocompás	7
	Transpondedores acústicos	8
	Funciones del Sistema Integrado de Navegación	9
	Posicionamiento por Puntos Fijos	9
	Estado Actual y Vitalidad del Transit	9
	La Nueva Generación de Satélites	10
	Las Señales del Satélite	12
	Interpretación del Mensaje del Satélite	13
	La Medición Doppler	16
	Consideración del Movimiento	16
	Consideraciones Sobre la Precisión	18
	Errores del Sistema Estático	18
	Errores de Refracción	19
	Error de Altitud	20
	Precisión Bajo Movimiento	23
	Dátum de Referencia	23
	Exégesis	28
CAPITULO II	<b>Sistema de Posicionamiento Global</b>	29
	Componentes del Equipo GPS	30
	1. Antena	30
	2. Receptor	31
	3. Software Programas de Cómputo	32
	Ventajas y Desventajas	33
	Tiempo y Distancia de Navegación por Satélite	34
	Segmento de Control	35
	Segmento de Espacio	37
	Segmento de Usuario	40
	Principio de Medición del GPS	42
	Interferometría	42
	Medidas de Pseudo-Distancia	42
	Doppler Integrado	43
	Onda Portadora	44
	Ciclos Ambiguos de la Portadora	44
	Sistema Espacial de Coordenadas	44
	El Elipsoide de Referencia	45
	Cálculo de la Posición del Receptor	45
	Dilución de la Precisión	46
CAPITULO III	<b>Las Orbitas de los Satélites</b>	47
	Leyes de Kepler	47
	Orientación Astronómica	52
	Coordenadas Celestes	54
	Sistema Ecuatorial	55
	Los Elementos Keplerianos	57
	Perturbaciones de laOrbita	58
	Lanzamiento de Satélites GPS	60
	Datos de la Orbita	60

CAPITULO IV	<b>El Receptor GPS</b>	66
	La Antena	66
	La Sección de Radiofrecuencia	67
	El Rastreador de Señales	68
	El Microprocesador	70
	Interfase para el Usuario	71
	Información, Almacenamiento y Salida	71
	Fuente de Poder	71
CAPITULO V	<b>Matemáticas del GPS</b>	73
	Determinando Posiciones de Pseudorange	73
	Ecuaciones Inconsistentes	76
	Precisión en las Medidas de Posición	77
	Error por Alcance	77
	Dilución de la Precisión	78
	Otras Medidas de Precisión	80
CAPITULO VI	<b>¿Por qué es la Señal GPS tan Compleja?</b>	84
	Las Ondas de la Portadora	84
	Los Códigos	85
	La Emisión de la Señal	88
	Ingredientes de las Señales GPS	89
	Formatos del Mensaje de Navegación	91
	Contenido del Mensaje de Navegación	92
	Escalas de Tiempo	94
CAPITULO VII	<b>Las Limitaciones del GPS</b>	95
	Tres Limitaciones	95
	- La Recepción de la Señal GPS	95
	- Integridad de la Señal GPS	96
	- Precisión de la Señal GPS	96
	Tipos de Errores	97
	Errores de los Satélites	97
	Errores en la Propagación de la Señal	97
	Errores en el Receptor	98
	Geometría GPS	99
	Mejorando la Precisión GPS	99
	Diferenciación	99
CAPITULO VIII	<b>Comparando GPS y GLONASS</b>	101
	Comparando Sistemas	101
	Orbitas de los Satélites	102
	Señales de los Satélites	103
	Comparando los Sistemas	105
	Problemas	105
	Ventajas	106
CAPITULO IX	<b>La Red Geodésica Nacional Activa</b>	107
	Conceptos Básicos	107
	Antecedentes Históricos	108
	Red Geodésica Nacional	110
	Importancia de la RGN para la Delimitación de Propiedades	111
	La Situación Actual de la RGN	112
	Ventajas para las Instituciones de los Sectores	

Público y Privado que Aporta la Precisión de la Nueva Información de la RGN	112
La Importancia de Normas Técnicas	113
La Manera en que se Complementará el Sistema de Posicionamiento Global con los Métodos de Levantamiento Clásicos	113
La Nueva Red Dinámica	114
Las Observaciones Realizadas Diariamente por las Estaciones Fijas de la RGNA	115
La Manera en que se Integró la RGNA con la Información de los Vértices ya Establecidos	115
La Manera en que se Efectúa el Proceso de Conversión que Permite el Manejo Simultáneo de Posiciones en el Sistema Geodésico de Referencia Vigente NAD 27 y el NAD 83	116
Grado de Precisión de la Información que Aportan las Estaciones Fijas	116
Ventajas que Aporta la RGNA, en términos de Costos y Tiempos	116
El Modelo de Equipo Tecnológico que se Usó para el Levantamiento de la RGNA	117
El Mantenimiento que Precisa la RGNA	117
Forma en que Ligará la RGNA con las Malla Geodésicas de las Naciones Geográficamente Vecinas	117

## CAPITULO X

<b>Mission Planning (Planeación de la Misión)</b>	120
Actualización del Almanaque	120
Acceso al Programa Mission Planning	121
Project Manager (administrador de Proyectos)	123
Site Editor (Editor de Sitio)	124
Site Obstruction Editor (Editor de Obstrucciones en el Sitio)	125
Satellite Sky Plot (Trayectoria de Satélites)	126
Site Location on the Map (Localizar un Sitio en el Mapa)	127
Setup (Configuración)	128
Satellite Availability (Disponibilidad de Satélites)	129
Geometric Dilution of Precision (Dilución de Precisión Geométrica)	130
Salida del Programa	131

## CAPITULO XI

<b>Uso y Manejo del Equipo GPS</b>	132
Información General	132
Plataforma de la Antena	135
Ubicación e Instalación del Equipo (PXII)	136
Inicialización del Receptor GPS PXII	137
Pantalla 0 (Cero)	138
Pantalla 4	139
Pantalla 9	140
Verificación de Pantallas	144
- Pantalla 1 Verificación Orbital	144
- Pantalla 2 Información Navegacional	146
- Pantalla 3 Información Sobre Rastreo	146
- Pantalla 10 Información de Visión total	147
- Pantalla 8 Control del sistema	148
Ubicación e Instalación del Equipo Dimensión	149
Inicialización del Receptor Dimensión	153
- Verificación de Pantallas	162

	- Reestablecer el Programa (Resetear)	167
	- Maneras de cerrar un Archivo	168
<b>CAPITULO XII</b>	<b>Descarga de Datos y Procesamiento con GPPS</b>	<b>170</b>
	Descarga de Datos: Del Receptor al Computador	170
	Conexión del Receptor al Computador	171
	Modificación de los Parámetros de Comunicación	173
	Modificación del Drive y/o Directorio Actual	174
	Pasos en la Descarga de Datos	175
	Problemas	176
	La Descarga es Lenta	176
	No es Posible Descargar los Datos	176
	Procesamiento de Datos	176
	- Uso de Utilería Filetool	183
	Guía de Etiquetación para GPS	185
	- Etiquetación Interna (Discos Duros y diskettes)	185
	- Etiquetación Externa de Diskettes	186
<b>CAPITULO XIII</b>	<b>Procedimiento para el Uso del Equipo GPS</b>	<b>188</b>
	Análisis del Anteproyecto de Medición	188
	Organización de los Materiales	189
	Asignación de Carga de Trabajo	189
	Recorrido de Reconocimiento	189
	Llenado de Formatos	190
	Establecimiento del Control Geodésico	190
	Ubicación de Marcas de Referencia	193
	Elaboración del Programa de Posicionamiento	193
	Procedimiento para el Posicionamiento de Puntos GPS	194
	Recomendaciones	195
	Respaldo de la Información y Control de Calidad	195
	Anexo	197
	-Formato de Ubicación de Obstáculos	197
	-Instructivo de Llenado del Formato Ubicación de Obstáculos	198
	-Programa de Cobertura	200
	Instructivo de Llenado del Programa de Cobertura	201
	-Asignación de Carga de Trabajo a Brigadistas	203
	-Cédula de Información de Vértices Geodésicos	204
	Instrucciones de Llenado de la Cédula de Información de Vértices Geodésicos	206
	-Cédula de Registro de Observaciones	208
	Instrucciones de Llenado de la Cédula Registro de Observaciones	210
	-Cédula de Registro de Observaciones para Métodos Estático Rápido, Cinemático y Pseudocinemático	213
	-Instrucciones de Llenado de la Cédula de Registro de Observaciones para Métodos Estático Rápido, Cinemático y Pseudocinemático	215
<b>CAPITULO XIV</b>	<b>Como se Desarrollan las Actividades de Medición en el Campo</b>	<b>216</b>
	Métodos de Levantamiento con Equipos GPS	216
	Método Estático	219
	Método Estático Rápido	222
	Método Cinemático	222



	Método Pseudocinemático	232
	-Recomendaciones	235
CAPITULO XV	<b>Mantenimiento de los Receptores</b>	239
	- Receptor PXII	239
	Borrado de la Memoria	239
	Prueba de Pérdida de la Memoria	242
	Bloqueo del Receptor	243
	El Receptor no Engancha Satélites	243
	- Receptor Modelo Dimensión	243
	Borrado de la Memoria	243
	Prueba de Pérdida de la Memoria	243
APENDICE		245
	ITRF VS NAD 27	245
	NAD 27	245
	ITRF	246
	Diferencias NAD 83 VS ITRF	248
	El GPS Empleado por el Ejército Mexicano	252
CONCLUSIONES		256
BIBLIOGRAFIA		271

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA	NOMBRE	PAGINA.
1	Orbitas Polares Circulares de los Satélites Transit	2
2	Geometría de una Pasada de Satélite	3
3	Error Aproximado de las Coordenadas de Posición	4
4	Error por Rumbo Directo	5
5	Nueva Generación de Satélites Transit Nova	11
6	Diagrama de Bloques del Satélite Transit	12
7	Modulación de Fase de la Información del Satélite	13
8	El Mensaje del Satélite Describe la Posición Orbital	14
9	Interpretación de los Parámetros del Mensaje del Transit	14A
10	Las Coordenadas u,v,w del Satélite	15
11	Las Coordenadas x', y', z' del Satélite	16
12	Las Coordenadas X, Y, Z del Satélite	16
13	Cada Conteo Doppler Mide el Cambio en el Rango de Declive	17
14	La Refracción Ionosférica Alarga la Longitud de Onda	19
15	Error Típico de la Medición Telemétrica Debido a la Refracción	20
16	Efecto de la Altitud Estimada en las Coordenadas de Posición	21
17	Sensitividad de la Posición del Satélite con Respecto al Error Estimado	21
18	Relaciones entre las Superficies Geodésicas	22
19	Efecto del Error de Velocidad	23
20 y 21	Errores Causados por un Error de Velocidad de un Nudo	23
22	Desarrollo y Relaciones de Datums de Referencia Locales y Globales	25
23	Los seis Planos Orbitales de los Satélites GPS	30
24	Antena con Preamplificador Integrado	30
25	Antena con Preamplificador Integrado (vistas de perfil y por abajo)	31
26	Receptor GPS (vista de frente)	31
27	Receptor GPS (vista posterior)	32
28	La Antena no Debe Tener Obstáculos que Impidan la Recepción	32
29	Geometría Adecuada en el Plano Orbital	33
30 y 31	La Medición de Distancias por Interferometría	34
32	Estaciones de Rastreo GPS	36
33	Red Internacional de Rastreo GPS	36
34	Diagrama Desplegado de las Orbitas de los Satélites	37
35	Segmento de Espacio	38
36	Representación Gráfica de las Orbitas del Primer Bloque de Satélites	38
37	Representación Gráfica de las Orbitas del Segundo Bloque de Satélites	39
38	Receptor y Antena GPS	40
39	4 Satélites para Resolver 4 Incógnitas	41
40	Número de Ciclos Completos no Conocido (Ambigüedades)	41
41	Retardo de la Señal GPS del Satélite al Receptor	42
42	Código C/A Precisión en la Posición +/- 3 metros	43
43	El Efecto Doppler es Usado para Suavizar el Ruido	44
44	Sistema de Coordenadas Cartesianas	45
45	PDOP Pobre y Buén PDOP	46
46	Una Elipse se Puede Dibujar con dos alfileres y un lápiz	48
47	Orbita Elíptica con Excentricidad e = 0.5	48
48	Orbita Elíptica de un Planeta o Satélite	49
49	La Fuerza Gravitatoria de Atracción	51
50 y 51	Principales Elementos en la Esfera Celeste	52
52	Coordenadas Horizontales: Azimut y Altura	55
53	Coordenadas Ecuatoriales	56
54	Las Efemérides de Una Orbita Kepleriana	57
55	Los Parámetros de las Efemérides del GPS	62
56	Los Componentes Genéricos de un Receptor GPS de un Canal	67

57	Determinar con Precisión la Posición de un Receptor con la Sincronización de los Relojes de los Satélites, Simultáneamente con el Rango de Medición de 3 Satélites GPS	74
58	Determinación de un Reloj Receptor y la Verdadera Posición del Usuario desde la Intersección de Esferas Centradas en los Satélites	75
59	El Conjunto de Ecuaciones Básicas para Determinar la Posición del Usuario	76
60	La Función de Distribución Probable de Gauss	78
61	GDOP Global al Presente	79
62	Una Muestra de 100 Errores de Posición Tridimensionales	81
63	Una Muestra de errores de Posición Horizontal	82
64	La Forma en que los Componentes GPS son Combinados	88
65	Los Sub - bloques 1, 2 y 3 se Repiten en los 25 Bloques del Mensaje	93
66	La Red Geodésica Nacional Activa	119
66A	Pantalla Principal de Opciones MP	122
67	Administrador de Proyectos	123
68	Editor de Sitios	125
69	Editor de Obstrucciones en el Sitio	126
70	Trayectoria de Satélites	127
71	Localizar un Sitio en el Mapa	127
72	Configuración	128
73	Visibilidad de Satélites	129
74	Disponibilidad de Satélites	130
75	Dilución de la Precisión	131
76	Receptor GPS Vista de Frente	132
77	Receptor GPS Vista Posterior	134
78	Plataforma de la Antena GPS	135
79	Tripié con Extensión	137
80	Pantalla que Aparece al Encender el Receptor GPS PXII	138
81	Pantalla 0 (cero) del Receptor GPS PXII	138
82	Pantalla 4	139
83	Pantalla 9	140
84	Uso de las Teclas Marcadas con Flechas en la Pantalla 9	142
85	Datos a Obtener de la Pantalla 0	143
86	Datos a Obtener de la Pantalla 1	143
87	Datos a Obtener de la Pantalla 2	144
88	Verificación de la Pantalla 1 "Información Orbital"	145
89	Verificación de la Pantalla 2 "Información Navegacional"	146
90	Verificación de la Pantalla 3 "Información Sobre Rastreo"	146
91	Verificación de la Pantalla 10 "Información deVisión Total"	147
92	Pantalla 10 "Para Ver en Forma Individual el Desplazamiento de Cada Uno de los Satélites	147
93	Verificación de la Pantalla 8 "Control del Sistema"	148
94	Forma de Conectar las Baterías en el Equipo Dimensión	149
95	Conectando la Batería a Través del Cable de Poder	150
96	Conectando las Baterías por Combinación de Métodos	150
97	Antena Receptor Colocado en el Tripié	151
98	Antena Receptor Orientada (Vista de Arriba)	151
99	Forma de Conectar el Cable de Hose	152
100	Medición de la Altura de la Antena	152
101	Nomenclatura de la Antena Receptor Dimensión	153
102	Unidad de Control CMT	154
103	Pantalla en F de la Unidad de Control	155
104	Pantalla en B de la Unidad de Control	155
105	Como Cambiar del Disco F al B	156
106	Pantalla para Correr el Programa	157
107	Pantalla para Definir Datos del Sitio	158

108	Pantalla para Identificación del Sitio	158
109	Pantalla para Introducir el Intervalo de Registros	159
110	Pantalla para Introducir la Altura de Antena	159
111	Pantalla del Menú Principal	160
112	Pantalla que Aparece al Seleccionar la Opción 3 "Operation Status"	160
113	Pantalla que Aparece al Seleccionar la Opción 1 "Currente Position"	161
114	Pantalla para Obtener los Datos de PRN, Azimut y Elevación	162
115	Opción 3 del Menú Principal "Operation Status"	163
116	Opciones de la Pantalla "Operation Status"	163
117	Pantalla 1 de la Opción "Operation Status"	164
118	Pantalla 2 de la Opción "Operation Status"	164
119	Pantalla 3 de la Opción "Operation Status"	165
120	Como Desplegar las Pantallas 2 y 3	165
121	Pantalla de Verificación de Datos que Está Midiendo el Punto	166
122	Número de Datos Continuos Colectados por Cada Satélite	167
123	Pantalla que Aparece al Reestablecer el Programa	168
124	Pantalla para Cerrar un Archivo Durante la Medición	169
125	Conexión del Receptor al Computador	171
126	Monumentos para Terrenos Compactos	191
127	Placa Metálica Empotrada en Roca Sana	192
128	Datos de la Placa Metálica	192
129	Ubicación de Marcas de Referencia	193
130	Vértices de un Polígono que Serán Medidos con GPS	219
131	Líneas Obtenidas Durante la Medición de un Polígono	220
132	Croquis del Area a medir usando 4 Equios GPS	221
133	Pantalla 4 Equipo PXII para Introducción de Datos	225
134	Pantalla 9 Equipo PXII para Introducción de Datos	225
135	Pantalla del Menú Principal del Equipo Dimensión	226
136	Pantalla del Menú 1 Survey Setup	227
137	Pantalla Select Kinemat Opt.	228
138	Instalación de dos Equipos fijos en Puntos de Coordenadas Conocidas	229
139	Ejemplo de una Ruta de Recorrido a Seguir Durante la Medición	230
140	Método Cinemático con Inicialización a Partir de Una Base Conocida Usando 4 Equipos GPS	231
140A	Disponibilidad de Satélites Durante un Levantamiento con Método Pseudocinemático	233
141	Se Debe Usar Tripié para Equipo fijo y Bípode para Equipo Móvil	235
142	Posicionamientos Correcto e Incorrecto del Equipo Móvil	237
143	Para Borrar la Memoria Interna del Receptor GPS PXII	239
144	Pantalla que Aparece al Inicio del Borrado de la Memoria Interna	240
145	Pantalla que Aparece Cuando el Proceso de Borrado se ha Completado	240
146	Pantalla que Aparece al Realizar el Borrado de la Memoria Externa	241
147	Mensaje que Despliega la Pantalla al Completarse el Borrado	242
148	El Receptor NAV 1000 M <sup>5</sup> Usado por el Ejército Mexicano	252
149	Ondas Electromagnéticas Radiadas en una Antena	259
150	Onda Portadora	262
151	Modulación de Amplitud y Modulación de Frecuencia	262
152	Detección o demodulación	264

## INDICE DE TABLAS

TABLA	NOMBRE	PAGINA
1	Constantes de Cambio de Datos	27
2	Características Medidas de los Planetas	50
3	Parámetros de las Efemérides	61
4	Fecha de Lanzamiento de los Satélites GPS	64
5	Orbitas Nominales de los Satélites	102
6	Modos Precisos de Operación Usando Código P y C/A de GPS Y GLONASS	104
7	Coordenadas Publicadas de las Estaciones Fijas de la Red Geodésica Nacional Activa	118

# GLOBAL POSITIONING SYSTEM GPS

## CAPITULO I

### INTRODUCCION EL SISTEMA TRANSIT

04 de octubre de 1957.- Una de las fechas que marcan la historia de mayor desarrollo tecnológico de la humanidad, ¡ Se lanza al espacio el primer satélite artificial !, orbita el SPUTNIK I alrededor de la tierra, y, se abre un campo ilimitado para el estudio de muchas ciencias entre ellas, la Geodesia y la cartografía y un sin número de actividades y sistemas afines.

Dentro de los sistemas que se desarrollaron con base a satélites artificiales, se encuentra el (GPS) Global Positioning System por sus siglas en el idioma Inglés, y que significa Sistema Global de Posicionamiento; la base de este sistema como hoy se conoce, fué un sistema anterior, llamado "TRANSIT", que en su tiempo se le calificó como excepcionalmente confiable y fidedigno, el que despues fué mejorado con una nueva generacion de satélites NOVA.

En el año de 1958 se cimentó el desarrollo del TRANSIT, tocó la parte principal de su explanación al Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad de Johns Hopkins, en donde también se concibió la idea original, se realizó la experimentación, se continuaron las investigaciones que proveyeron el apoyo técnico de mantenimiento y mejoras del sistema.

El sistema TRANSIT creció como resultado de combinarse una necesidad vital con la tecnología moderna. La necesidad fué el tener información renovada con precisión para los equipos de navegación por inercia a bordo de los submarinos polaris.

Fué la Desviación Doppler de frecuencias en las señales de radio del primer satélite artificial, lo que llamó la atención de los Doctores WILLIAM H.GULLER y GEORGE C.WEFFEINBACK del Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad de Johns Hopkins. Esto les guió a desarrollar algoritmos para determinar la órbita completa del satélite por medio de cuidadosas Mediciones Doppler desde una sola estación terrestre. En base a estos logros, los Doctores FRANK T.MCCLURE y RICHARD B.KESHNER, también del mismo Laboratorio, sugirieron la posibilidad de invertir el proceso, es decir la posición de un navegador podría determinarse con mediciones doppler desde un satélite cuya órbita se conoce con precisión.

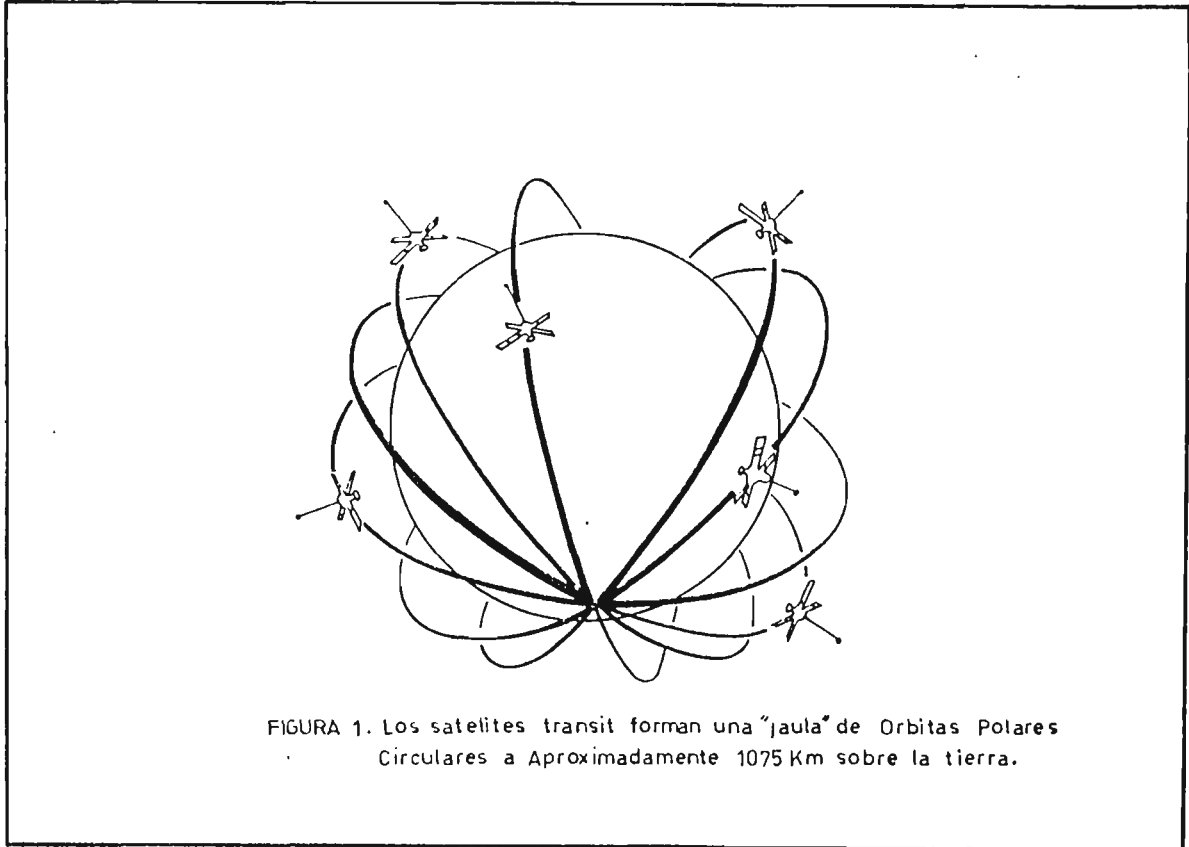
Fué responsabilidad del Doctor KESHNER el establecer tres tareas básicas:

1. El desarrollo de satélites apropiados.
2. La formulación de un modelo del campo gravitacional terrestre que permitiese determinar con precisión las órbitas de estos satélites.
- 3.El desarrollo de equipos capaces de presentar resultados de utilidad práctica para la navegación.

El transit se convirtió en un sistema operacional en enero de 1964, y fué autorizado para usos comerciales en julio de 1967. El número de usuarios creció rápidamente, tan es así que en el año de 1980 la cantidad de usuarios comerciales sobrepasaba ampliamente las aplicaciones gubernamentales y militares.

Los satélites del transit, siguen órbitas polares circulares, de unos mil setenta y cinco kilómetros de distancia, y describen un giro completo cada 107 minutos, ( 1 hora, 47 minutos ), esta

constelación de órbitas constituyen una "jaula" dentro de la cual gira la tierra, llevándonos a su vez a pasar debajo de cada órbita . Cada vez que un satélite pasa por encima del horizonte tenemos la oportunidad de obtener una coordenada de posición. El intervalo promedio entre estas coordenadas con cinco satélites varía de 35 a 100 minutos según la Latitud . Figura 1.



El transit está operado por el Grupo Astronáutico de la Marina de los Estados Unidos de Norte América, con Base en Point Mugu, California, con estaciones de rastreo en Prospect Harbor, Maine; Rosemount, Minnesota; Wahiawa, Hawaii;

Cada vez que un satélite Transit pasa dentro de la línea de mira de una estación de rastreo, le envía a ésta señales de 150 y 400 MHz; la estación las recibe, mide la desviación Doppler de frecuencia causada por el movimiento del satélite, y registra la frecuencia Doppler en función del tiempo. Los datos son usados para determinar la órbita de cada satélite y para predecir cada órbita con varias horas de anticipación.

El centro de computación forma un mensaje navegacional de la órbita predicha, el cual es suministrado a las estaciones de entrada de Point Mugu y Rosemount. En el momento apropiado, una de estas estaciones transmite el mensaje navegacional al satélite que corresponda. Cada satélite recibe un mensaje nuevo cada 12 horas, pero la capacidad de su memoria es de 16 horas.

Al contrario de los sistemas terrestres de radioposicionamiento, los cuales determinan posiciones secuenciales a medida que pasa el satélite, Figura 2.

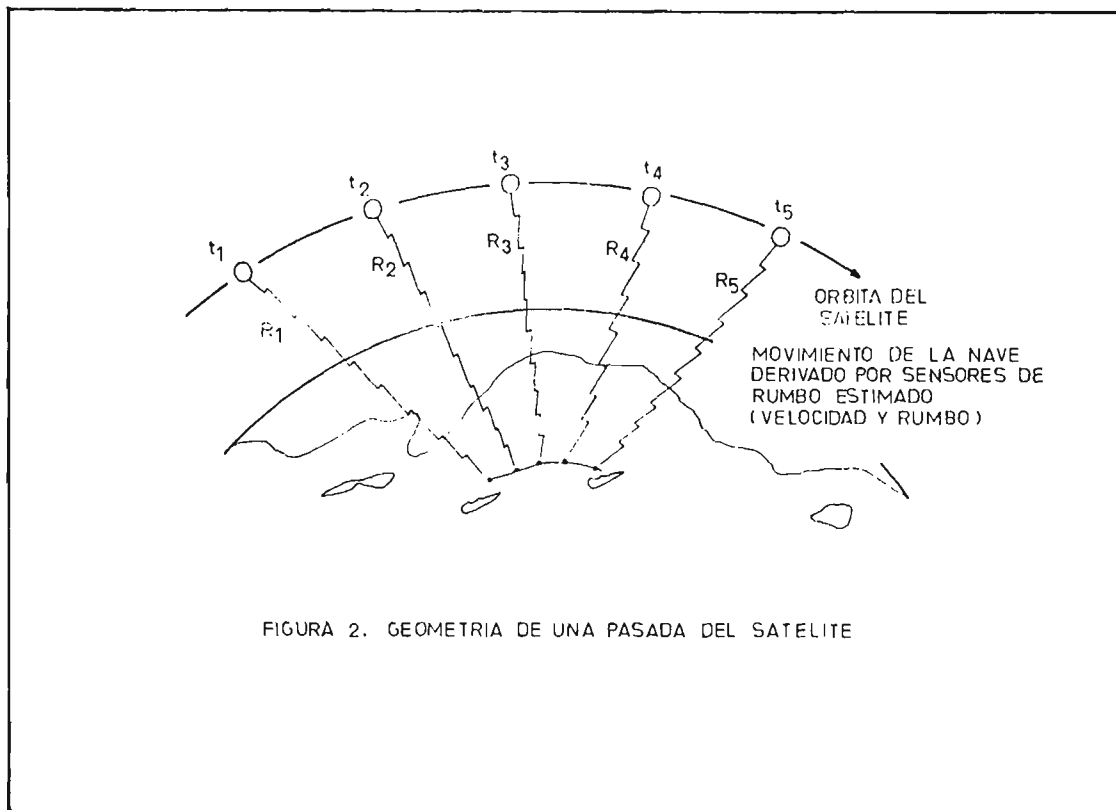


FIGURA 2. GEOMETRIA DE UNA PASADA DEL SATELITE

Este proceso lleva de 10 a 16 minutos, lapso en el cual el satélite se traslada entre 4,400 y 7,000 kilómetros, dando así una excelente línea base.

Como las mediciones Transit no son instantáneas, al calcular la posición de una nave se debe considerar su movimiento durante la pasada del satélite. Además, como los satélites se hallan constantemente en movimiento con respecto a la tierra, no es posible generar cartas simples con líneas de posición. En cambio cada satélite transmite un mensaje que permite que su posición sea calculada con bastante precisión en función del tiempo. Combinando las posiciones calculadas del satélite con mediciones telemétricas diferenciales entre estas posiciones ( cómputos Doppler ) y datos acerca del movimiento de la nave, se puede obtener una coordenada precisa de posición.

Estos cálculos son tanto complejos como extensos, y requieren el uso de ordenadores de gran capacidad.

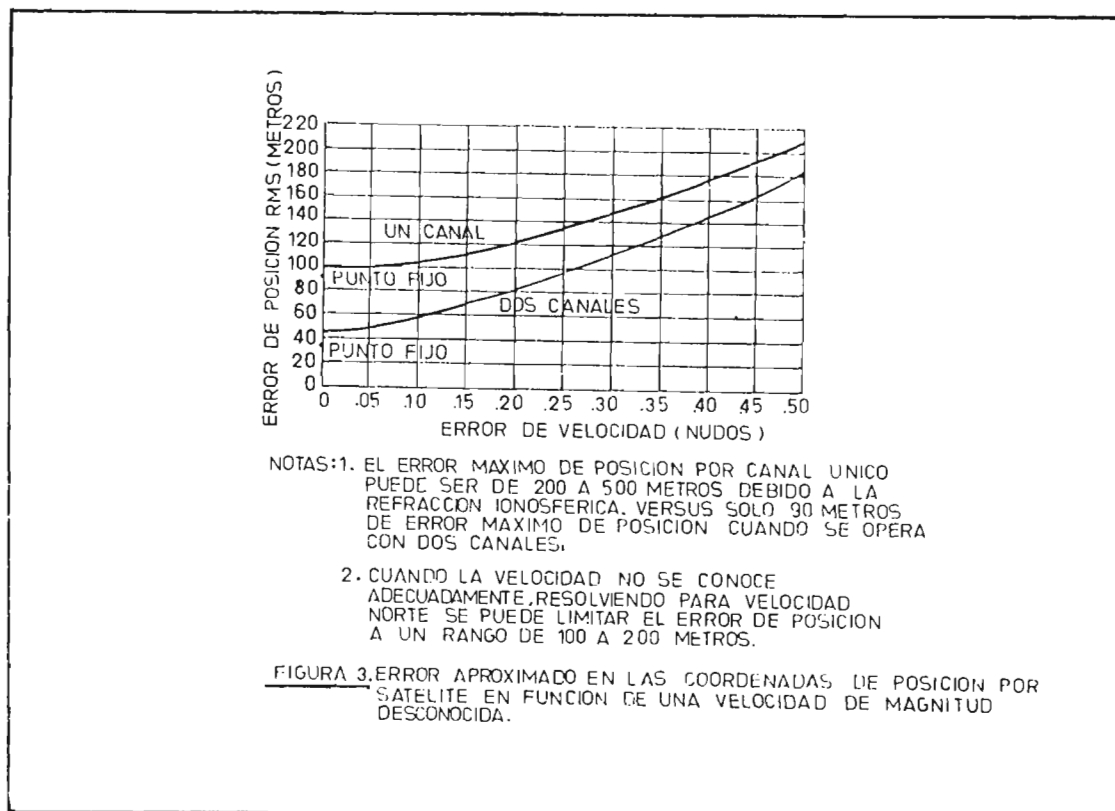
El transit en su tiempo, cuando era la única ayuda de navegación disponible en todo el mundo, en su momento fué el único sistema que no era afectado por las condiciones atmosféricas y sus coordenadas de posición tenían una precisión compatible con las obtenidas por sistemas de radiogonometría de corto alcance. En este sistema cada satélite es una guía de navegación autocontenida que transmite en dos frecuencias estables ( 150 y 400 Mhz ) pulsos de tiempo y un mensaje navegacional. Al recibir estas señales durante una sola pasada, el usuario del sistema puede calcular con exactitud su posición.

En la coordenada de posición Transit hay dos componentes principales de error. El primero es el error inherente en el sistema, y el segundo es aquel introducido por el movimiento desconocido de la nave durante la pasada del satélite. El error inherente se puede medir operando un Transit ajustado a una posición fija y observando la posición de los resultados de navegación . Por ejemplo un receptor Transit de dos canales, mostraba una dispersión radial de 32 metros RMS.



Por lo general, los resultados de mediciones de dos canales están en un rango de 27 a 37 metros. Los receptores más económicos de un solo canal, que no miden ni compensan los errores de refracción ionosférica, por lo general están dentro del rango de los 80 a los 100 metros RMS. Rango que se considera adecuado para usos en navegación marítima.

La segunda fuente de errores en las coordenadas de posición la constituye el movimiento desconocido de la nave durante la pasada del satélite. El error exacto es una función compleja de la geometría de la pasada del satélite y de la dirección del error de velocidad. No obstante, se puede usar como regla razonable que por cada nudo que se desconoce en la velocidad de la nave se tendrá un error de posición de 0.2 millas náuticas ( 370 metros ) Figura 3.

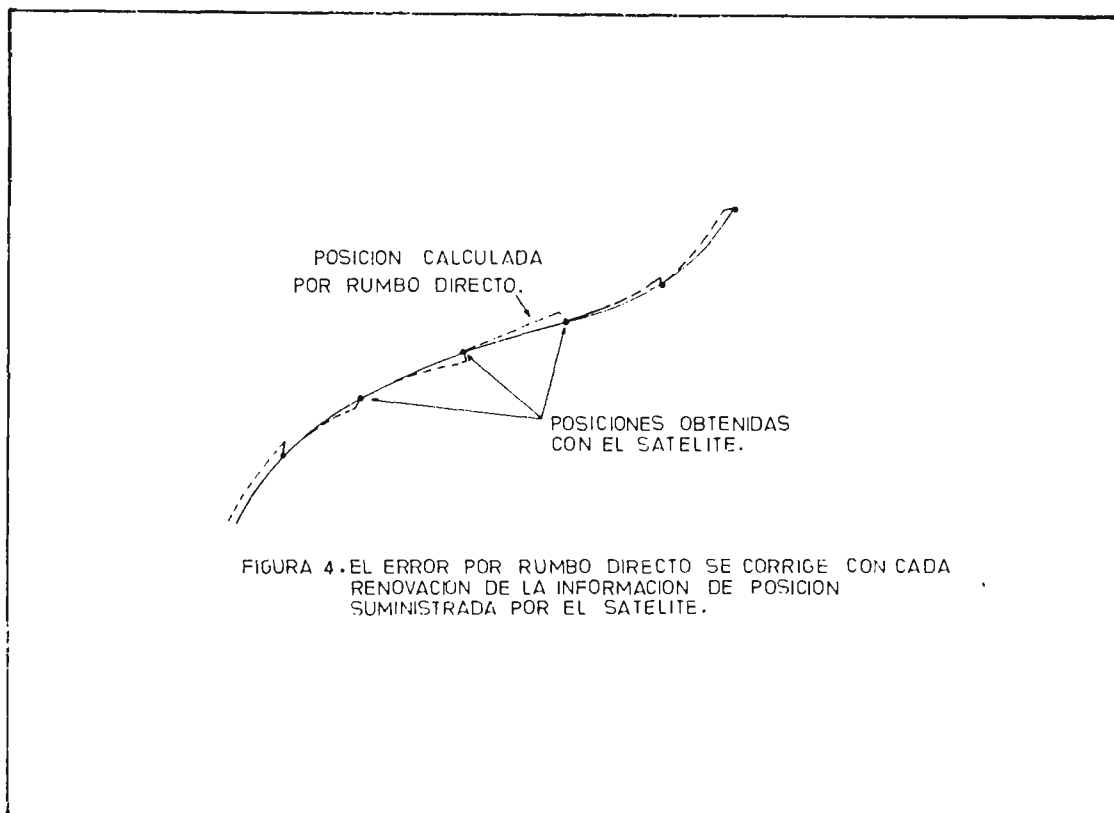


NOTAS: 1.El error máximo de posición por canal único puede ser de 200 a 600 metros debido a la refracción ionosférica, versus solo 90 metros de error máximo de posición cuando se operan dos canales.

2.Cuando la velocidad no se conoce adecuadamente, resolviendo para velocidad norte se puede limitar el error de posición a un rango de 100 - 200 metros.

**Figura 3. Error aproximado en las coordenadas de Posición por Satélite en función de una Velocidad de Magnitud Desconocida.**

Aquí se muestra gráficamente el error aproximado de posición en función de la velocidad de magnitud desconocida para receptores Transit de uno y dos canales. En esta curva se han incluido los errores típicos de altitud, y el balanceo y cabeceo de la nave.



La figura 4 muestra el modo de operación preferido para un navegador en movimiento. Entre las posiciones por satélite, la computadora calcula automáticamente la situación en base a los datos de velocidad y rumbo. El proceso por rumbo directo se usa también para describir el movimiento de la nave durante cada pasada de satélite. Una vez computada la coordenada de posición se hacen los ajustes necesarios de latitud y longitud, corrigiéndose así el error acumulado por rumbo directo.

#### APLICACIONES DEL TRANSIT

El sistema Transit ofrecía una combinación de capacidades que, hasta antes del año 1972 no se podían obtener con ningún otro sistema. Estas eran:

- Cubrimiento mundial
- Operación bajo todas las condiciones atmosféricas
- Precisión compatible con la de los sistemas de radiogonometría de corto alcance
- Independencia de transmisores costeros
- Confiabilidad sin igual

El resultado natural fué un aumento continuo y dramático tanto en el número de sus aplicaciones como en los tipos de equipos disponibles. El rango de aplicaciones es verdaderamente asombroso. Los equipos Transit se usan a bordo y/o para:

- Levantamientos topográficos
- Embarcaciones pesqueras
- Yates privados
- Buques comerciales
- Buques de guerra
- Submarinos
- Plataformas oceánicas de perforación
- Buques de exploración petrolífera
- Buques para investigación oceanográfica
- Embarcaciones para estudios hidrográficos
- Boyas

Las aplicaciones generales del Transit para navegación crecieron dramáticamente durante y después del año de 1980.

Estos instrumentos proveen una continua presentación de la latitud, la longitud y el tiempo medio de Greenwich a través de una continua estimación de posiciones entre precisas lecturas de coordenadas de posición obtenidas con el Transit, con la entrada automática de velocidad y rumbo. Además de las funciones básicas de navegación, estos sistemas determinan y compensan dirección y deriva desconocidas, proveen distancia y rumbo a cualquier punto seleccionado con referencia a cualquier punto seleccionado con referencia al gran círculo o línea de rumbo, determinan el rumbo de gobierno para dirigirse a estos puntos y, en caso de fallas, identifican el módulo de problemas.

Entre sus aplicaciones típicas se halla su uso a bordo de grandes embarcaciones de pesca. Por ejemplo, al maniobrar para la pesca del atún en el hemisferio Sur, ningún otro sistema era capaz de dar la cantidad de información, o la confiabilidad necesaria para maximizar los resultados del viaje y a la vez evitar la pesca dentro del límite de las 200 millas. En estos casos, el éxito de un viaje se juzga regresando primero con las cámaras frigoríficas llenas, y la navegación por Tránsit ha producido comprobados resultados en el grado de éxito, obtenido.

Varias compañías de embarques de importancia efectuaron en 1977 evaluaciones competitivas de algunos equipos de navegación ( Loran, Omega y Transit, fabricados por varias compañías ). En todos los casos, el sistema Transit estuvo siempre primero en estas evaluaciones, y como resultado flotas comerciales enteras fueron equipadas con navegadores Transit. Y esta tendencia también creció a medida que las múltiples ventajas económicas y funcionales de estos equipos se reafirmaron en la práctica. Un factor importante en crear interés en los armadores de flotas pesqueras de importancia fué la disponibilidad de instrumentos con un bajo costo inicial y sorprendente confiabilidad en uso, de manera que los costos de operación a través de la vida útil de la unidad son mínimos.

La necesidad de disponer de elementos de navegación precisos y confiables en todo el mundo es un hecho. Por ejemplo, los buques petroleros que pasan por el estrecho de Málaga verdaderamente dependen de estas características. Muchas veces una nave espera antes de entrar en estas peligrosas aguas hasta tener su posición, con precisión, por medio de los satélites.

Después de sus originales objetivos de uso militar, la primera aplicación comercial del Sistema Transit en la navegación fue en la exploración oceanográfica. Por primera vez se pudieron

relacionar mediciones científicas de alta mar con las coordenadas de origen, con un alto grado de precisión.

En 1967, cuando se autorizó el uso del Transit en aplicaciones civiles se tuvieron dos respuestas positivas inmediatas. Una de ellas vino de aquellas personas relacionadas con la exploración oceanográfica, la otra de quienes se dedicaban a la exploración petrolífera en alta mar.

Los oceanógrafos se encontraron entre los primeros usuarios civiles, pero sus necesidades quedaron esencialmente satisfechas al adquirir los equipos más primitivos. Las necesidades de los profesionales en la exploración petrolífera en alta mar, por el contrario, no han dejado de crecer en cuanto a número de aplicaciones y complejidad.

Con anterioridad a 1967, la exploración petrolífera en alta mar se condujo con sistemas de radiogonometría de base terrestre, tales como el Raydist, Hi Fix y otros. Estos sistemas tienen sus ventajas pero también adolecen de serios problemas:

- Su alcance es limitado, especialmente de noche.

- Los costos administrativos y logísticos asociados con la adquisición de permisos gubernamentales, el transporte del equipo, la instalación de estaciones terrestres, y con la operación de las mismas en regiones a veces inhóspitas son verdaderamente demasiado altos.

- La mayoría de estos sistemas requieren el conteo de zonas y el potencial de error en el conteo es alto. Naturalmente, esto requiere el uso de medios caros de verificación y corrección del conteo.

Al autorizarse el Transit se creyó que se tendrían mediciones globales precisas en toda condición atmosférica, sin los gastos de tiempo y dinero asociados con los sistemas de radiolocalización terrestres. Desafortunadamente, la simple compra de un sistema Transit de navegación no cumplió con estas expectativas.

### **Necesidad de la Integración**

El Transit suministra coordenadas de posición de manera intermitente, con una precisión individual de 27 a 37 metros, pero con un error adicional de aproximadamente 0.2 millas náuticas por cada nudo de velocidad desconocido. El estudio y medición de estas áreas requiere de alta precisión, pero en forma continua. Por tal razón, la única manera de tener navegación precisa y continua sin estaciones de costa fué combinando la capacidad del sistema Transit de proveer coordenadas precisas con sensores de velocidad de precisión compatible en un sistema integrado. Los primeros sistemas fueron diseñados sin demasiados refinamientos, pero de ellos se partió para eventualmente producir unidades áltamente capaces.

### **Sonar Doppler y Girocompás**

Los primeros elementos integrados al sistema fueron un Sonar Doppler y un Girocompás. El Sonar Doppler transmite pulsos de energía acústica a la plataforma submarina y evalúa las señales reflejadas. La desviación en la frecuencia ( efecto Doppler ) da una idea precisa de la velocidad de movimiento de la nave con respecto al fondo del océano en la dirección de cada haz del sonar. Para determinar los componentes del vector de velocidad según proa-popa y babor-estribor se usan de tres a cuatro haces. También es necesario saber la velocidad de propagación

del sonido en el agua en las inmediaciones del transductor del sonar. En la mayoría de los casos esto se puede saber con una precisión satisfactoria midiendo la temperatura del agua, pero si la salinidad del agua puede llegar a cambiar drásticamente, será necesario el uso de un velocímetro.

Las primeras unidades de sonar por efecto Doppler limitaban su capacidad a unos 200 metros de profundidad, pasados los cuales no podían ya rastrear el fondo, y debían entonces cambiar el modo de operación por referencia con la corriente, el cual es mucho menos preciso. Las unidades de sonar de efecto Doppler de hoy son capaces de rastrear a profundidades de 300 a 400 metros, y también es posible tener algunos modelos con alcances de 1,000 metros y más también; así como ya hay sistemas en desarrollo que se cree pueden tener alcances hasta la máxima profundidad del océano. ( Nota: No perder de vista que, aquí se habla del año de 1967 ).

### **Transpondedores Acústicos**

Una de las versiones más avanzadas de un sistema integrado emplea transpondedores acústicos. La nave viene equipada con una unidad interrogadora/receptora. Cada unos pocos segundos el interrogador envía un pulso acústico de una frecuencia específica. Los transpondedores que se hallan ubicados en el fondo y dentro del rango de operación, reciben el pulso de interrogación y responden enviando un pulso propio de una frecuencia individual. El receptor a bordo recibe e identifica estas respuestas, y mide el tiempo total entre interrogación y respuesta. Estas mediciones, proporcionalizadas con una estimación adecuada de la velocidad de propagación del sonido en el agua, definen la distancia a cada transpondedor. Si se conoce con exactitud la posición de cada transpondedor, entonces es posible tener una precisión de navegación de 2 a 10 metros, como caso típico, en un área de 3 a 10 kilómetros cuadrados y con solo unos pocos transpondedores de profundidad. Estos sistemas se usan para posicionar estructuras de perforación petrolífera asentadas en el fondo del mar, especialmente en las etapas finales de asentamiento de la estructura. Si bien puede llegar a ser costoso, es probable que ésta sea la única forma de obtener la precisión tridimensional necesaria en investigaciones sísmográficas.

En el párrafo precedente se hace notar una acotación condicional muy importante: " **si se conoce con exactitud la posición de cada transpondedor** ". Esto es algo difícil, y por ello se ha preparado programación que ayude a determinar la posición de cada transpondedor con máxima precisión y mínimo tiempo. El primer paso es acumular lecturas recibidas de los transpondedores según un diagrama específico de ubicación alrededor de cada uno de ellos. Como las ecuaciones se deben resolver por iteración, estos datos se almacenan en la memoria y se usan repetidamente hasta que se tiene la convergencia en la solución y la posición relativa de cada transpondedor se conoce exactamente. Esta es una técnica que ahorra tiempo, pues la nave solo tiene que recorrer el área una vez; la computadora se encarga luego de hacer el trabajo.

Una vez que se saben las posiciones relativas de los transpondedores, es común tener que determinar también su verdadera longitud y latitud. Esto se obtiene por medio de múltiples coordenadas de posición suministradas por el satélite. Los movimientos de la nave con respecto a la red de transpondedores se pueden determinar con precisión, pero la posición (traslación) y el azimut (rotación) de la red se desconocen. Aquí también se usa el cálculo por iteración mediante el cual se determina la posición y el azimut de la red en base a las coordenadas de posición del satélite. A medida que el azimut de la red es más preciso, también lo será la medición de los movimientos de la nave. Estos cálculos por iteración se hacen mejor poniendo toda la información sin procesar del satélite y de los transpondedores en cinta magnética, y procesándola luego. Este método ha probado ser tanto efectivo como preciso.

### **Funciones del Sistema Integrado de Navegación**

Para asistir al profesional en la exploración petrolífera se han desarrollado muchos sistemas integrados de navegación. No obstante la navegación es una de las tres funciones principales de un sistema integrado. Las otras dos funciones son el control de las mediciones y el registro de datos.

El sistema, por ejemplo, contribuye a controlar las mediciones emitiendo pulsos sísmicos a incrementos definidos de tiempo, o de distancia recorrida. En algunas instalaciones, el sistema hasta controla los movimientos de la embarcación según un rumbo preestablecido de medición.

El registro de datos es el tercer ingrediente necesario. La información carecerá de validez si no se sabe donde se tomó. Consecuentemente, el registro de datos debe ser extremadamente confiable, con verificaciones adecuadas que aseguren un registro preciso de las mediciones.

## **POSICIONAMIENTO POR PUNTOS FIJOS**

Hasta ahora se describió solamente el equipo para la navegación de naves en movimiento. Sin embargo, las señales del satélite también son muy útiles para operaciones de levantamiento de puntos fijos. Por ejemplo, una vez que una plataforma de perforación se ha instalado y anclado firmemente, su posición geográfica se debe de saber con la mayor exactitud posible.

Como se habrá supuesto, los satélites se emplean para estas funciones solo cuando son económicamente convenientes. Y como el precio de venta de estos equipos es ahora menor, y además el conocimiento público de sus múltiples ventajas ha aumentado, en los últimos años ha habido un dramático aumento en el número de sus aplicaciones.

Una de las primeras aplicaciones fué la necesidad de establecer puntos fijos de referencia para la aerofotogrametría. Por ejemplo, el mapeo aéreo de la cuenca del Amazonas con radar de exploración lateral se ha relacionado con coordenadas geográficas por medio de torres con antenas reflectoras ubicadas a distancias conocidas. Para establecer la posición de estas torres se usó equipo de levantamiento por satélite.

En general, el levantamiento por satélite se usa en lugares de difícil acceso, y donde las técnicas convencionales de agrimensura resultan demasiado lentas o demasiado costosas, o donde no se tiene un control local de precisión conocida. Para áreas extensas, sin control adecuado, el levantamiento por satélite es ideal. Tanto los gobiernos de Australia como de Canadá en ese tiempo se hallaban activamente avocados a la tarea de establecer puntos fijos de referencia por medio de equipos de levantamiento por satélite.

## **ESTADO ACTUAL Y VITALIDAD DEL TRANSIT**

### **HISTORIA Y FUTURO.**

El desarrollo del Transit comenzó a fines de 1958, y el sistema se puso en operación por primera vez en enero de 1964. El 29 de julio de 1967, el entonces vicepresidente de los EE.UU. Hubert H. Humphrey hizo un anuncio importante en un discurso que dió en Bowdoin College. El párrafo clave de ese discurso fué:

..."Esta semana, el Presidente aprobó una recomendación de que el Sistema de Navegación por Satélite de la Marina se pusiese a disposición de nuestras naves civiles, y que se le diese impulso a la fabricación de los equipos necesarios para su uso a bordo. Esta recomendación fué

iniciada por el Departamento de Marina en soporte de sugerencias del Consejo de Ciencias Marinas de que se debe reforzar el uso de auxiliares de navegación por todo el mundo. Nuestro sistema de satélites para operación en todas las condiciones atmosféricas ha sido usado por la Marina desde 1964, y le ha permitido a la flota saber su posición en cualquier lugar del globo. Este mismo grado de precisión navegacional estará ahora disponible en nuestros barcos de uso civil"...

Desde su introducción el uso del Transit se ha expandido enormemente. Por todo el mundo, los fabricantes de estos equipos han tomado el respaldo presidencial literalmente, y desde 1968, cuando se vendieron las primeras unidades, el incremento acelerado y sin pausa en el número de equipos ha sido dramático en todo el orbe.

A pesar de sus pasados logros, hoy nos debemos hacer algunas preguntas acerca del futuro del Transit, especialmente en vista de la aparición del **NAVSTAR** (Navigation by Satellite Timing And Ranging) como resultado del desarrollo del **Sistema Global de Posicionamiento** (Global Positioning System = GPS). Si el GPS llega a cumplir con sus objetivos y el Congreso de los EE.UU. aprueba los fondos para su operación, entonces es razonable suponer que el sistema Transit será puesto fuera de servicio luego de un tiempo prudencial que les permita a los usuarios amortizar sus equipos y elegir unidades GPS que sean adecuadas como reemplazantes. Probablemente el Sistema Transit estará disponible hasta el año de 1995.

### **LA NUEVA GENERACION DE SATELITES**

Como se ilustra en la Figura 5, el Laboratorio de Física aplicada desarrolló una nueva generación de satélites Transit, a los cuales se les llamó TIP (TIP = Transit Improvement Program). Como parte del programa de desarrollo se lanzaron dos satélites prototipo.

La Marina de los EE.UU. decidió producir un número limitado de estos nuevos satélites que ahora se llaman NOVA. la compañía RCA construyó los primeros tres, aunque posteriormente se construyeron por lo menos dos más. Se anticipó que el primer NOVA sería lanzado en el tercer trimestre de 1979. Este nuevo satélite fué especialmente útil para llenar el vacío orbital que existía entre el satélite 30120 y el 30200.

Las señales de los satélites NOVA son totalmente compatibles con las de los satélites Transit existentes. Por lo tanto, todos los usuarios tienen acceso a esta nueva astronave. Sin embargo, los satélites NOVA ofrecen muchas capacidades nuevas, cada una de las cuales se ha verificado con los satélites TIP. De particular interés son las siguientes características:

-DISCOS (**DIS**turbance **CO**mensation **S**ystem = sistema compensador de perturbaciones) para eliminar los efectos de fricción atmosférica. Como resultado, cada determinación de órbita retendrá su exactitud por espacio de una semana en lugar de 24 horas como en los pasados Transit. Con NOVA se espera que la convergencia de resultados en mediciones de navegación sea más rápida y más precisa.

-NOVA está comandado por una computadora digital de propósitos generales a bordo, la cual se puede programar desde tierra. Junto con su memoria de mayor capacidad la computadora es capaz de suministrar parámetros orbitales por espacio de 10 días sin que haga falta inyectarle nueva información.

\* - La nueva modulación de datos, invisible para los sistemas existentes, podrá activarse. Aún no se han anunciado los planes para esta modulación, pero podría usarse para obtener parámetros orbitales más precisos.

\* No perder de vista que se habla de los años 1964-1968

-La señal recibida de los satélites NOVA será el doble de intensa (3 dB). La polarización de antena será circular levógira sobre ambos canales en lugar de izquierda a 150 MHz y derecha a 400 MHz como ahora.

-Se ha podido obtener un preciso reloj patrón al hacer que la computadora a bordo ajuste la frecuencia del oscilador con una resolución de  $1 \times 10^{-12}$ . (Para hacer que la portadora y la información de modulación sean coherentes, el grado de compensación de la frecuencia nominal se ha cambiado de 80 ppm a 84.48 ppm, lo cual no deberá causar problemas de compatibilidad.)

-Para transmitir información precisa de tiempo se le ha agregado una modulación de ruido pseudo aleatorio (Pseudo Random Noise = PRN) tanto a la señal de 150 MHz como a la de 400 MHz. Esto también será útil para tener coordenadas con corrección de refracción en unidades de un solo canal por la detección de la diferencia de los efectos de retardo de grupo y retardo de fase), y un receptor adecuadamente equipado podrá también bloquear las señales de cualquier otro satélite, eliminando la interferencia potencial entre sí.

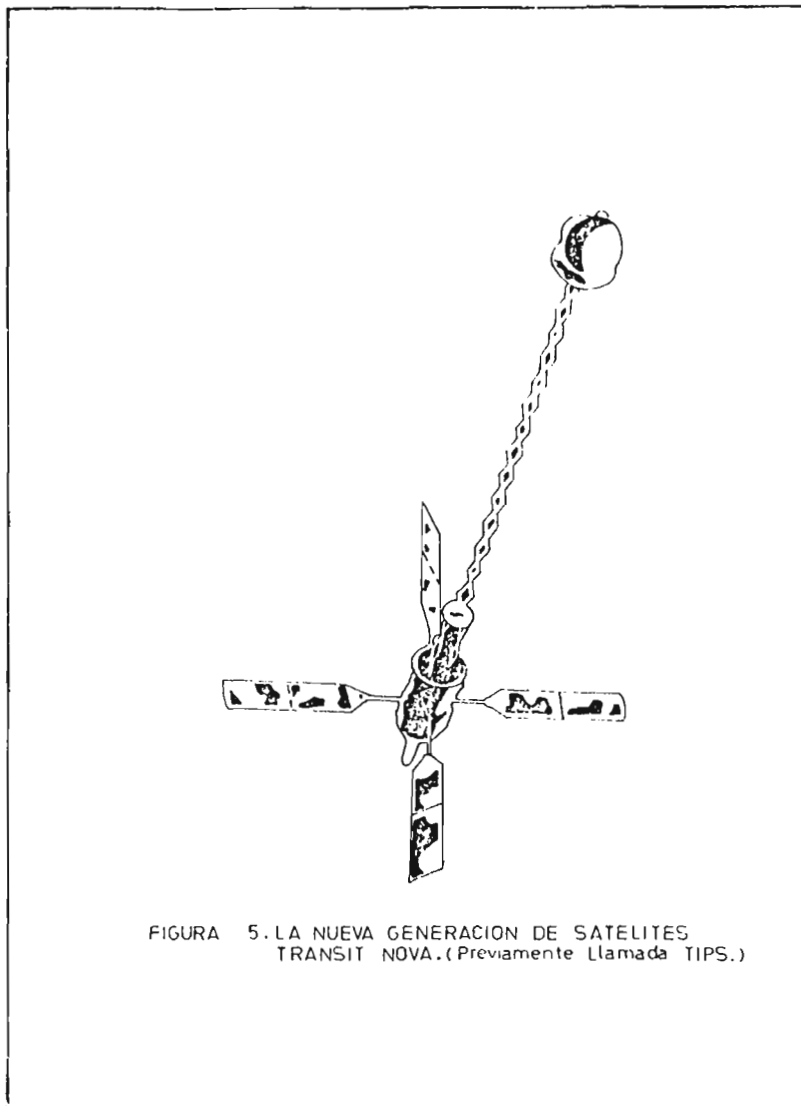


FIGURA 5. LA NUEVA GENERACION DE SATELITES  
TRANSIT NOVA. (Previamente Llamada TIPS.)



## TECNICA DE LAS COORDENADAS DE POSICION

### LAS SEÑALES DEL SATELITE

La Figura 6 muestra un diagrama en bloque de la configuración electrónica del satélite Transit. Los satélites transmiten frecuencias coherentes aproximadamente a 150 y 400 MHz. Como ambas señales se derivan por multiplicación directa de la salida de referencia del oscilador, la frecuencia transmitida es muy estable, y tiene variaciones que no exceden mas de 1 parte en  $10^{11}$  durante la pasada del satélite. Por tanto, es posible considerarlas como constantes, con un error insignificante.

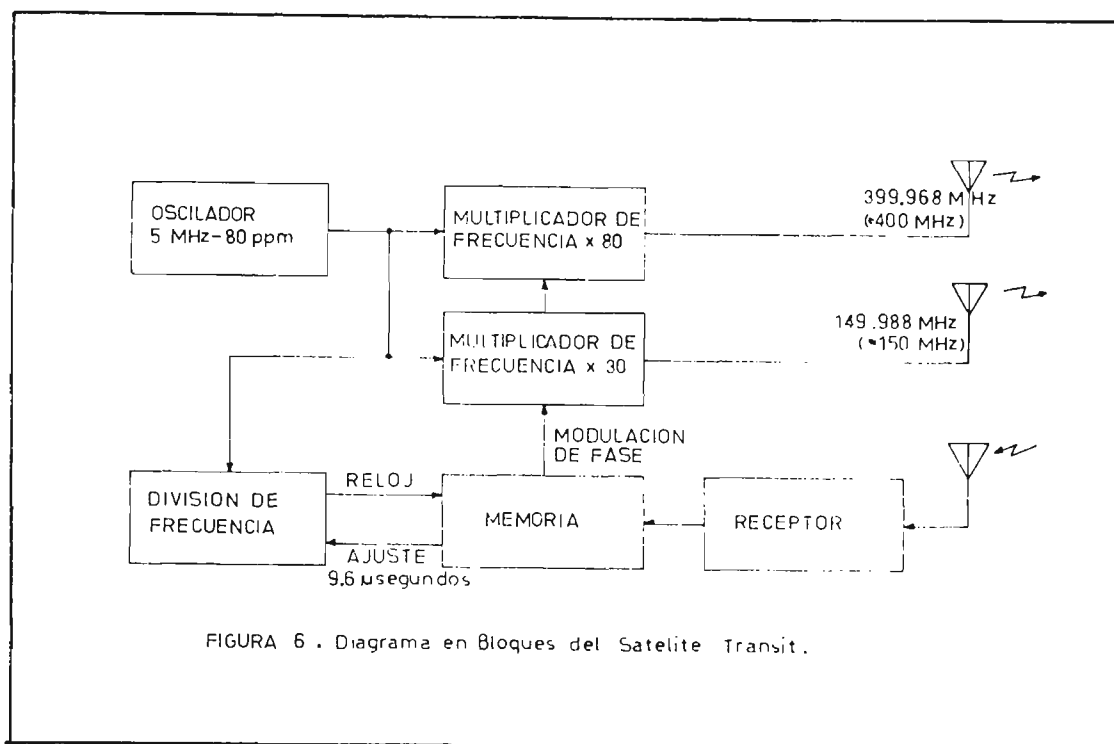
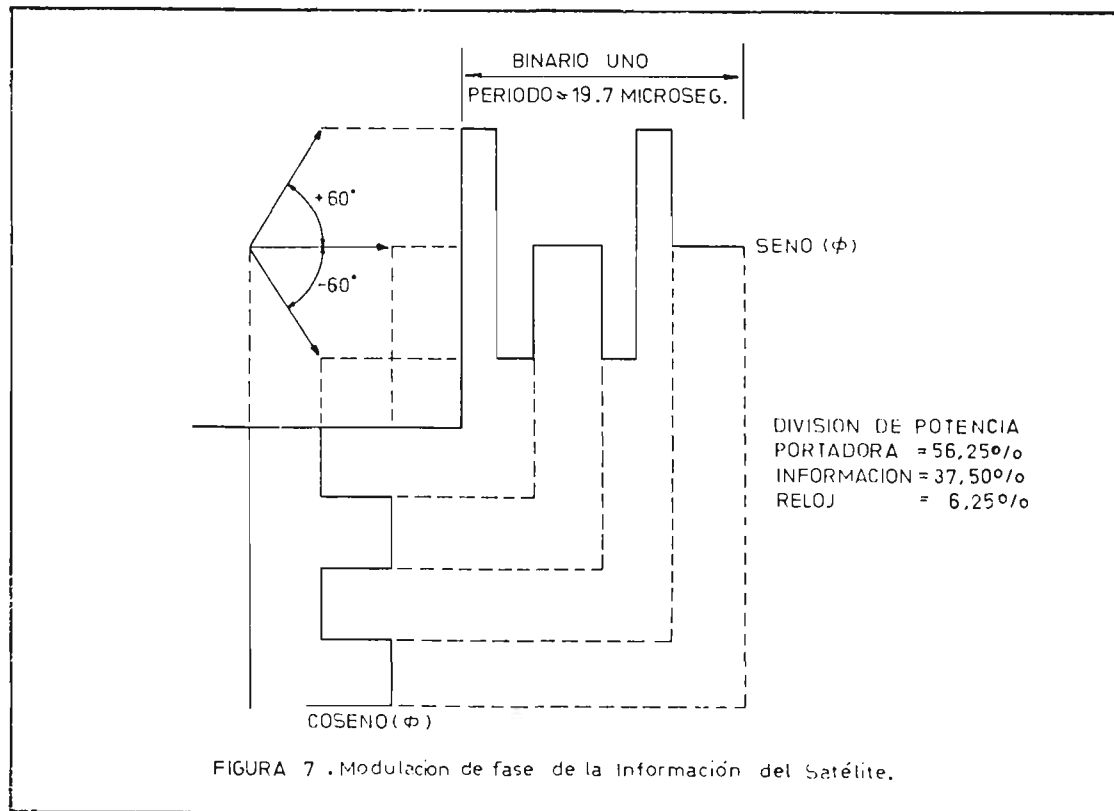


FIGURA 6 . Diagrama en Bloques del Satelite Transit .

La salida de referencia del oscilador se divide también en frecuencia para activar el sistema de la memoria. De esta forma, el mensaje navegacional almacenado se lee y se codifica por modulación de fase en las señales de 150 y 400 MHz de un modo constante y cuidadosamente controlado. así, las señales transmitidas suministran no solo una frecuencia constante de referencia y el mensaje navegacional, sino que también señales con pulsos de tiempo; porque el mensaje navegacional se controla al principio y al final de cada lapso correspondiente a minutos pares. La renovación de la información del mensaje navegacional y del pulso de tiempo se obtiene periódicamente desde la tierra por medio del receptor de inyección del satélite. Los datos de corrección de tiempo se almacenan en la memoria y se aplican en incrementos de 9.6 microsegundos cada uno.

Cada dígito binario del mensaje se transmite por modulación de fase de las señales de 150 y 400 MHz. El formato de modulación para el binario 1 se da en la Figura 7, y para el binario 0 se transmite con la forma invertida. Como se mostró, este formato suministra un pulso de tiempo al doble de la velocidad del dígito binario, y este pulso de tiempo se usa para sincronizar el equipo de

recepción con la información del mensaje. Como los satélites transmiten con una potencia de 1 watt, y a veces se hallan a miles de kilómetros de distancia, ello hace necesario el uso de receptores muy sensibles. Además, los parámetros orbitales se deben verificar por comparación con mensajes redundantes para detectar y eliminar errores ocasionales en la información recibida.



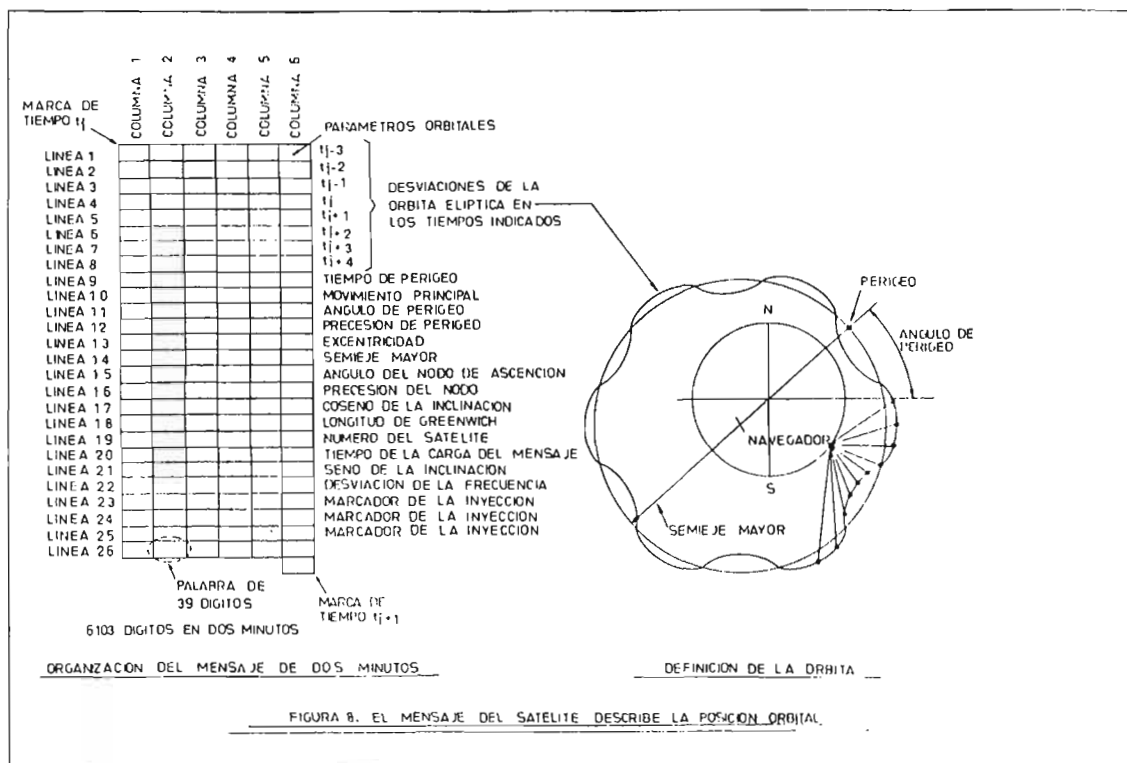
## INTERPRETACIÓN DEL MENSAJE DEL SATELITE

La Figura 8 indica como el mensaje navegacional define la posición del satélite. Durante cada intervalo de dos minutos, el satélite transmite un mensaje que consiste de 6,103 dígitos binarios de información organizados en 6 columnas y 26 líneas con palabras de 39 dígitos binarios, más 19 dígitos binarios finales. El mensaje comienza y termina en el instante correspondiente al minuto par, denotado como marcas de tiempo  $t_i$  y  $t_{i+1}$ . Los 25 dígitos binarios últimos de cada mensaje forman una palabra de sincronización (011111111111111111111110) que identifica la marca de tiempo y el comienzo del siguiente mensaje de 2 minutos. al reconocer esta palabra, el receptor navegacional establece una sincronización de tiempo y de allí en adelante puede identificar palabras específicas del mensaje.

Los parámetros orbitales están en las primeras 22 palabras de la columna 6, y aquellos en las en las líneas 9 a la 22 se cambian solo cuando se inyecta un mensaje nuevo en la memoria. Estos parámetros fijos definen la órbita elíptica suave de precesión; mientras que la posición del satélite es una función del tiempo desde un instante reciente al perigeo de la órbita.

Las palabras de la línea uno hasta la ocho se desplazan hacia arriba un lugar cada dos minutos cuando se inserta una nueva palabra en la línea ocho que queda vacía. Estos parámetros

variables describen la desviación de la elipse suave de la posición real del satélite en el momento indicado por las marcas de tiempo de los segundos pares. La posición del satélite se puede definir en cualquier momento durante su pasada por interpolación de los parámetros individuales variables.



La figura 9 asiste a la interpretación de los parámetros del mensaje del Transit. A la izquierda hay un conjunto típico de parámetros fijos y una indicación de como interpretarlos. a la derecha hay un conjunto de parámetros variables con uno de ellos interpretado. En los párrafos que siguen se describe como se usa cada uno de ellos.

El número "Q" da un indicador de tiempo por cada palabra de los parámetros variables. En el ejemplo dado, el número 07 significa que esta palabra se aplica a 7 intervalos de 2 minutos pasada la media hora; por ejemplo, 14 minutos, o 44 minutos después de la hora. Por ello es necesario iniciar el ajuste del Transit dentro de mas/menos 15 minutos de la hora correcta (GMT) si es que se requiere sincronizarlo adecuadamente. Un error de tiempo de menos de 15 minutos se resolverá por medio de los números "Q" del mensaje del satélite.

PARAMETROS  
FIJOS DEL MENSAJE  
DE SATELITE

049160940	TIEMPO DE PERIGEO = 491.6094
836540260	MOVIMIENTO PRINCIPAL = 3.3654026 GRADOS/MIN
815801870	ARGUMENTO DEL PERIGEO = 158.0187 GRADOS
800196330	REL.DE CAMBIO DEL ANTERIOR = 0.0019633 GRADOS/MIN.
800022690	EXCENTRICIDAD = 0.002269
807464570	SEMI EJE MAYOR = 7 464.57 KILOMETROS
803673600	ASCENSION CORRECTA DEL NODO DE ASC. = 36.7360 G.
800002840	RELACION DE CAMBIO DEL ANTERIOR = -0.0000284 G/MIN.
800067000	COSENO DE LA INCLINACION = 0.006700
814855960	ASCENSION CORRECTA DE GREENWICH = 148.5596 GRADOS
80999978	SENO DE LA INCLINACION = 0.999978

PARAMETROS VARIABLES  
TIPICOS DEL SATELITE

250512804  
260362810  
270202748  
280062604  
090072400  
400192134  
410261836  
420321504  
438341164  
440330834  
000290534  
010220284  
020133084  
130020044

INTERPRETACION

270202748

27 10 (-+)	020	274	8
07	0020*	+2.74 Km	-08 Km *
NUMERO 0	$\Delta E_k$	$\Delta A_k$	$\eta_k$

\* SE APLICA A LA MARCA DE TIEMPO PREVIA  
CUANDO EL TIEMPO ES UN MULTIPLO ENTE-  
RO DE CUATRO MINUTOS

CODIGO BCD X S3

0011 = 0    1000 = 5  
0100 = 1    1001 = 6  
0101 = 2    1010 = 7  
0110 = 3    1011 = 8  
0111 = 4    1100 = 9

SIGNIFICADO DEL PRIMER  
DIGITO

0 = ++0    5 = +-1  
1 = +-0    6 = -+1  
2 = -+0    7 = --1  
3 = --0    8 = +  
4 = ++1    9 = -

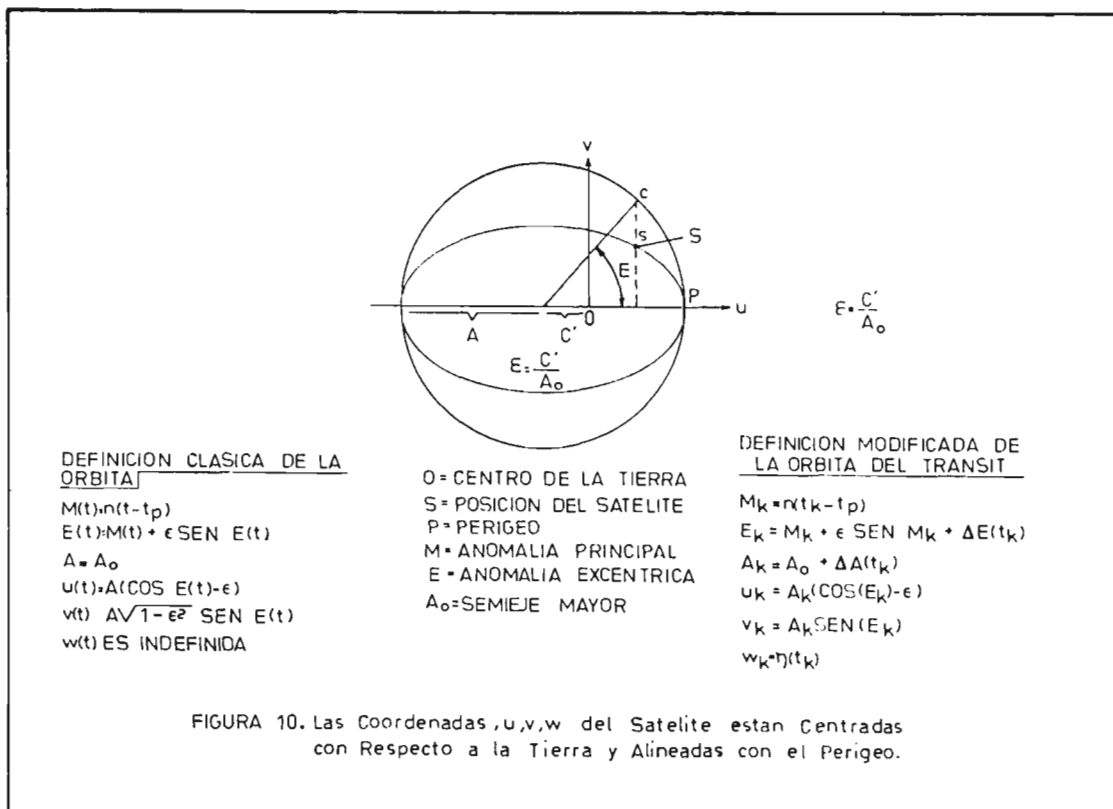
PRIMER DIGITO DE  $\eta_k$

0 = -0    5 = +0  
1 = -4    6 = +1  
2 = -3    7 = +2  
3 = -2    8 = +3  
4 = -1    9 = +4

En la Figura 9 nótese también que solo un dígito del parámetro variable  $nk$  es transmitido en cada palabra. Como se requieren dos dígitos, este parámetro viene definido solamente cada cuatro minutos. La figura también indica la interpretación del primer dígito  $nk$ .

El objetivo es definir la posición del satélite como una función del tiempo. Para lograrlo, se emplean tres sistemas diferentes de coordenadas. La figura 10 define el sistema de coordenadas,  $u, v, w$ . Estas coordenadas están centradas con respecto a la tierra,  $u$  y  $v$  yacen en el plano de la órbita del satélite, y  $u$  está a través del punto del perigeo (el punto más cercano a la tierra). a la izquierda de la figura 10 se muestran las ecuaciones clásicas de Kepler de definición de la órbita. Las ecuaciones de definición de la órbita Transit son muy similares, excepto en cuanto a las simplificaciones en las expresiones  $E_k$  y para  $V_k$ . El error inducido por estas simplificaciones se elimina aplicando los parámetros variables  $\Delta E_k$  y  $\Delta A_k$ . El parámetro  $W_k$  define el movimiento fuera del plano del satélite, y es simplemente el parámetro variable  $h_k$ .

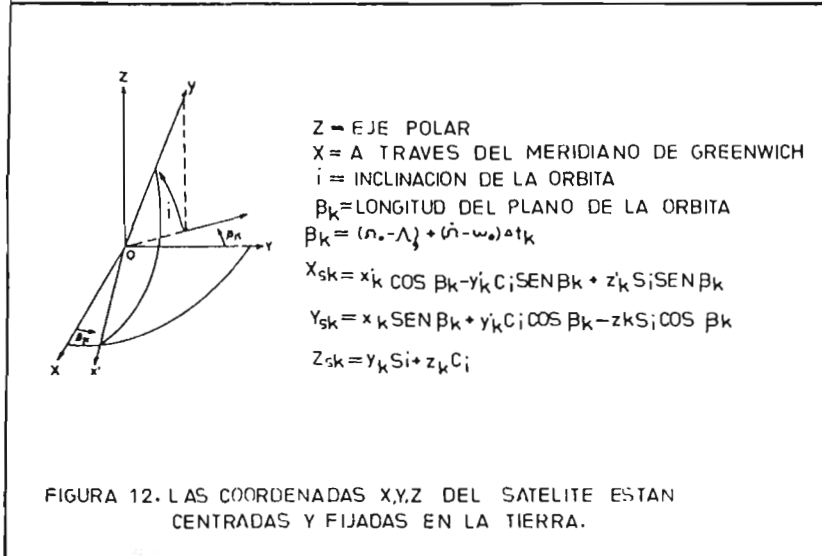
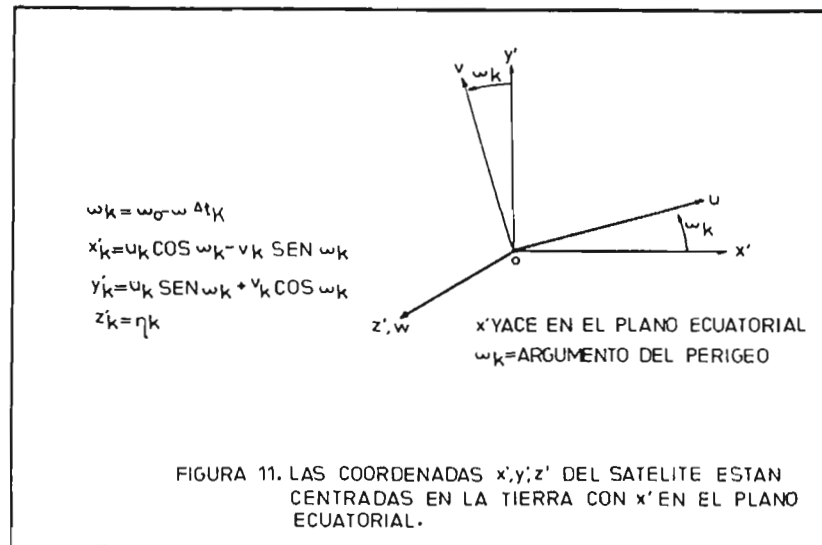
La figura 11 muestra como las coordenadas  $x', y', z'$  se obtienen por rotación de las coordenadas  $u, v, w$ . La rotación por el "argumento del perigeo" ubica  $x'$  en el plano ecuatorial de la tierra.



Finalmente, la Figura 12 muestra que con dos rotaciones se puede definir la posición del satélite en un sistema coordenado  $X, Y, Z$  centrado y fijado en la tierra, donde  $Z$  es el eje polar (polo principal de 1900-1905, u Origen Convencional Internacional) y  $X$  se halla en el plano ecuatorial a través del meridiano de Greenwich. La longitud del plano de la órbita en  $t_k$  y la inclinación de la órbita con respecto al plano ecuatorial de la tierra se deben a las dos rotaciones mencionadas.

Las Figuras 10, 11 y 12 muestran claramente como se interpretan los parámetros orbitales del Transit, y como se usan para obtener una definición de la posición del satélite en un sistema

cartesiano fijado en la tierra. Estas coordenadas se pueden computar para cualquier momento interpolando los parámetros variables del satélite.



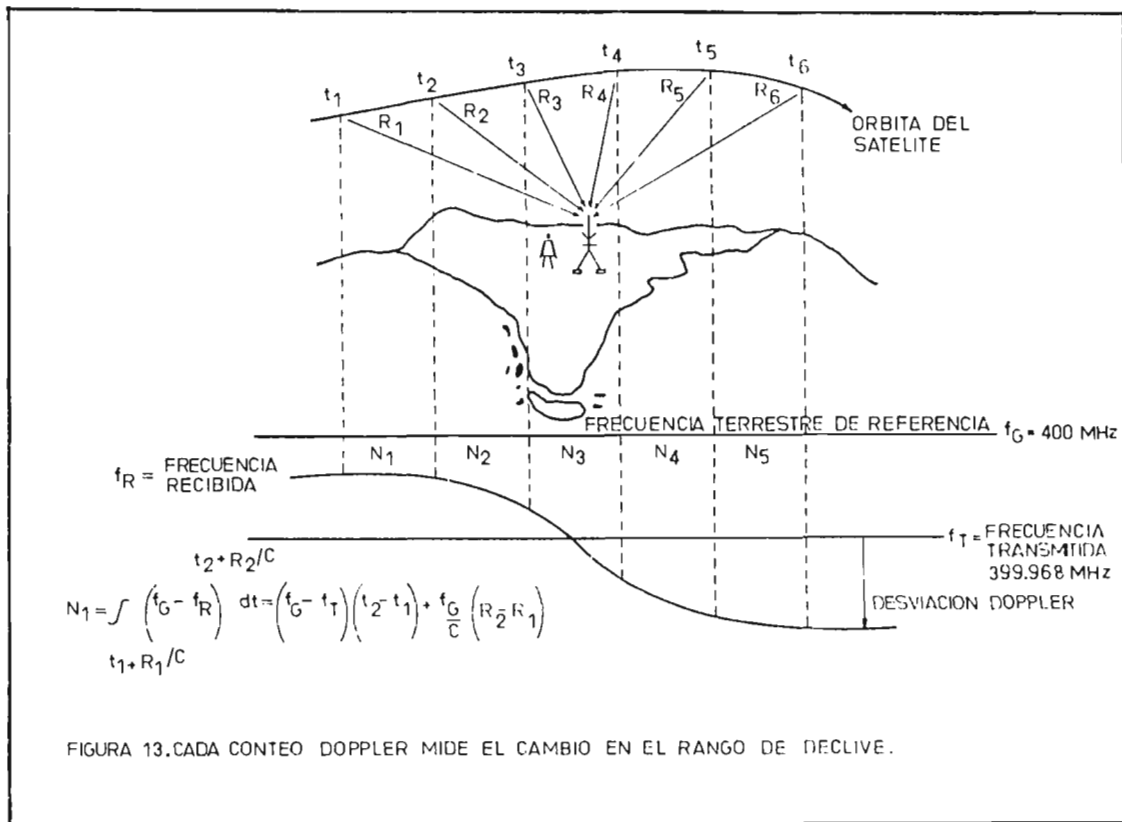
## LA MEDICION DOPPLER

Al recibir el mensaje navegacional, el usuario del sistema Transit sabe la posición del satélite **en función del tiempo**. Por lo tanto, para obtener las coordenadas de posición deberá relacionar su posición con la órbita conocida del satélite. Esta relación se establece midiendo la desviación Doppler, la cual es una función única de la posición y movimiento del observador con respecto a la órbita conocida del satélite.

La figura 13 muestra la técnica Doppler de medición. La frecuencia  $f_R$  que se recibe del satélite consiste de la frecuencia transmitida  $f_T$  mas una desviación Doppler de frecuencia de hasta mas menos 8 KHz a causa del movimiento relativo entre el satélite y el receptor. Nótese que la frecuencia transmitida se descentra hacia abajo en unas 80 ppm (32 KHz a 400 MHz) para prevenir que  $f_R$  cruce los 400 MHz.

El receptor de navegación viene equipado con un oscilador estable de referencia de donde se deriva una frecuencia  $f_G$  de referencia terrestre de 400 MHz. La estabilidad del oscilador debe ser adecuada como para que se mantenga constante durante la pasada del satélite. Como se muestra en la figura, el receptor de navegación forma la frecuencia diferencial  $f_G - f_R$ , y cada medición Doppler es una cuenta de los ciclos de diferencia de frecuencia que ocurren entre las marcas de tiempo recibidas del satélite. Como cada dígito binario del mensaje es efectivamente otra marca de tiempo, los intervalos de conteo Doppler se forman con respecto a un formato de mensaje como el mostrado en la Figura 8. Por ejemplo, cada línea del mensaje dura unos 4.6 segundos, y el intervalo Doppler de conteo comunmente usado de 23 segundos se forma iniciando un conteo nuevo al final de cada quinta línea.

Cada conteo Doppler se compone de dos partes: el conteo de una diferencia constante de frecuencias  $f_G - f_T$ , menos el conteo del número de ciclos Doppler es el que resulta físicamente útil. El conteo de la diferencia de frecuencia es una constante aditiva que se elimina en los cálculos de las coordenadas de posición.



La figura 13 hace resaltar que la distancia entre el satélite y el observador cambia durante la pasada del satélite. Este es precisamente el cambio que origina la desviación Doppler de frecuencias. A medida que el satélite se acerca se reciben más ciclos que los transmitidos debido al acortamiento de las longitudes de onda a lo largo de la trayectoria de propagación. Por cada longitud de onda que el satélite se acerca se recibirá un ciclo más. Por lo tanto, el conteo de la frecuencia Doppler es una medición directa del cambio de distancia entre el receptor y el satélite durante el intervalo Doppler de conteo. En otras palabras, el conteo Doppler es una medición

geométrica de la diferencia telemétrica entre el observador y el satélite a dos puntos en el espacio, exáctamente definidos por el mensaje de navegación.

Esta es una medición sensible, porque cada cuenta representa una longitud de onda, la cual a 400 MHz es solo 0.75 metros.

### CONSIDERACION DEL MOVIMIENTO

Si el navegador se está desplazando durante la pasada del satélite, el movimiento deberá registrarse antes de que se puedan computar con precisión las coordenadas de posición. Solo cuando se conoce el movimiento será posible que las diferencias telemétricas calculadas del satélite al receptor se puedan comparar adecuadamente con las diferencias telemétricas medidas por el conteo Doppler. La medición automática de velocidad y rumbo se usa frecuentemente para este propósito. Durante la pasada del satélite, la computadora crea una tabla de la latitud y longitud estimadas por el navegador al comienzo y al final de cada intervalo de conteo Doppler. Como antes, la solución del posicionamiento da un  $\Delta$ Longitud y un  $\Delta$ Latitud que se agregan a cada punto en la tabla del navegador entre iteraciones de la solución. Por lo tanto, si bien la solución final de la posición puede estar expresada como una longitud y una latitud un momento dado, la solución de la posición es un desplazamiento de la trayectoria completa estimada.

### CONSIDERACIONES SOBRE LA PRECISION

#### ERRORES DEL SISTEMA ESTATICO

Los factores que afectan la precisión cuando el navegador no se mueve son:

Fuente		Error (metros)
1.	Efectos de propagación sin corregir (efectos ionosféricos y troposféricos)	1 - 5
2.	Ruido de instrumentos y de medición (inestabilidad de fase del oscilador local y de satélite, error en el reloj del navegador)	3 - 6
3.	Incertidumbres en el modelo geopotencial usado para generar la órbita.	10 - 20
4.	Incertidumbres en la altitud del navegador (generalmente como resultado se tienen desviaciones en la longitud)	10
5.	Movimientos polares sin modelo y efectos UT1 - UTC	0 - 10
6.	Fuerzas superficiales modeladas incorrectamente (fricciones y presiones de radiación que actúan sobre los satélites durante el intervalo de exploración)	10 - 25
7.	Errores al redondear las efemérides (se redondea el último dígito de las efemérides)	5

Desde que se publicó esta tabla en 1973, el error de movimiento polar se ha modelado y se incluye como un ajuste a los parámetros orbitales transmitidos. La raíz de la suma de los



cuadrados (Root Sum Square = RSS) de los errores remanentes yace en el rango de los 18 a los 35 metros, lo cual se cree es algo optimista debido a los estándares de laboratorio y a lo sofisticado en los modelos de corrección de la refracción empleados por el Laboratorio de Física Aplicada. Los resultados de campo yacen por lo general en el rango de los 27 a los 37 metros RSS.

### Errores de refracción

Se tienen dos fuentes para el error de refracción; la mayor se debe a la ionósfera. Como se ilustra en la Figura 14, a medida que las señales de 150 y 400 MHz pasan a través de la capa ionosférica, sus longitudes de onda se alargan debido a la interacción con electrones libres e iones. Este alargamiento representa una velocidad de fase mas grande que la velocidad de la luz lo cual es algo característico de un medio dispersante. Según una aproximación razonable de primer orden, el alargamiento de la longitud de onda es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia transmitida. Como el movimiento del satélite cambia la longitud del camino a través de la ionósfera, la relación de cambio de este alargamiento produce un desplazamiento de frecuencia como error ionosférico en la señal recibida. Se ha mostrado que se puede obtener una excelente corrección de refracción combinando mediciones Doppler hechas a dos frecuencias diferentes, y esta es la razón por la cual los satélites Transit transmiten conjuntamente las señales de 150 y 400 MHz.

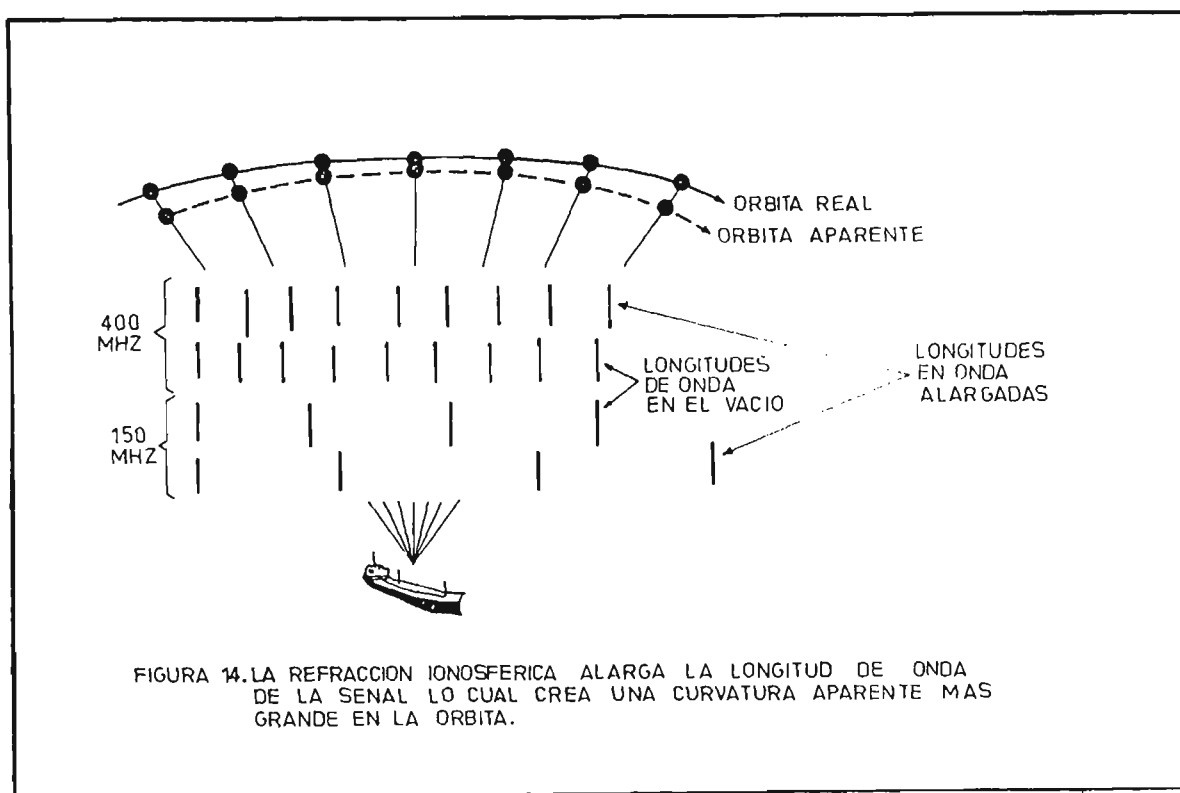
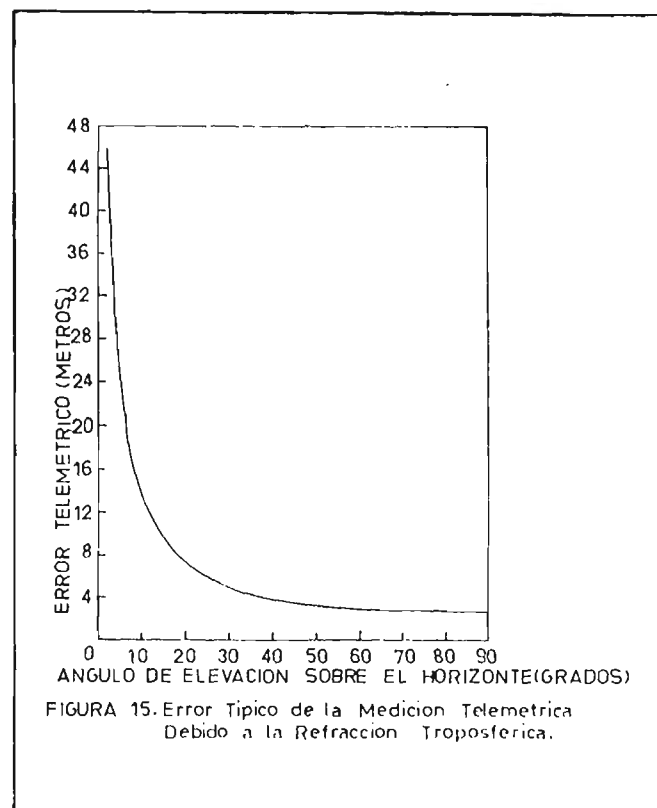


FIGURA 14. LA REFRACCION IONOSFERICA ALARGA LA LONGITUD DE ONDA DE LA SENAL LO CUAL CREA UNA CURVATURA APARENTE MAS GRANDE EN LA ORBITA.

En aplicaciones que no requieren una extrema precisión, se puede usar equipo de recepción de canal único de 400 MHz. La Figura 14 demuestra que debido al alargamiento de la longitud de onda el satélite parece seguir una trayectoria de mayor curvatura con respecto al navegador. El efecto es reducir la desviación Doppler total en alguna medida, poniendo la solución de la coordenada de posición a cierta distancia de la órbita del satélite para explicar la menor inclinación

Doppler. Como los satélites se mueven principalmente según trayectorias de norte a sur, los errores resultantes de navegación son, en su mayoría de longitud. La magnitud de estos errores varía con la densidad de la ionósfera desde muy poco de noche hasta picos de 200 a 500 metros durante el día, y dependiendo de la actividad en las manchas solares y de la posición con respecto al ecuador magnético donde la ionósfera es más densa.

La segunda fuente de error es la tropósfera. En este caso, la velocidad de propagación se atrasa a medida que la señal pasa a través de la atmósfera terrestre, la cual comprime la longitud de onda de la señal. El efecto es directamente proporcional a la frecuencia transmitida, como lo es la desviación Doppler, y por lo tanto no se puede detectar como refracción ionosférica. Hay solo dos modos de reducir el efecto de la refracción troposférica. El primero es modelando su efecto en el conteo Doppler. Se han publicado modelos muy complejos para este propósito, los cuales emplean mediciones de temperatura, presión y humedad; pero generalmente los modelos menos complicados son suficientes. Esto es especialmente cierto en relación con la segunda técnica, la cual consiste en eliminar los datos Doppler tomados cerca del horizonte, donde el error por refracción troposférica es mayor. Por encima de elevaciones entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$ , el error troposférico es muchas veces menor que en el horizonte, como se ve en la Figura 15, la cual muestra errores típicos como función de la elevación del horizonte.



### Error de Altitud

La curva específica Doppler obtenida a medida que pasa un satélite es, predominantemente, una función de la posición del navegador según la línea de movimiento del satélite, y su distancia desde el plano orbital. Como los satélites Transit se hallan en órbitas polares, la posición a lo largo

del recorrido está estrechamente relacionada con la latitud, y la distancia transversal al recorrido es una combinación de longitud y altitud.

La Figura 16 es la sección de una pasada donde el satélite se mueve en su plano orbital perpendicular a la página. Recién ha llegado al centro de la pasada con respecto a las estaciones X, Y, y Z. La figura ilustra cómo la distancia transversal al recorrido es una función tanto de la longitud como de la latitud, las cuales afectan a la curva Doppler de modo similar. Para computar la posición con precisión, es necesario por lo tanto tener un conocimiento a priori de la altitud. La Figura 17 muestra la sensibilidad del error de posición al error de altitud como función de la elevación máxima del ángulo de pasada del satélite. El ángulo de elevación se traza sobre una escala que es la probabilidad uniforme en cuanto a la ocurrencia de una pasada del satélite. En otras palabras, la mayoría de las pasadas caen entre 10° y 20°, en lugar de hacerlo entre 70° y 80°, excepto a latitudes muy altas.

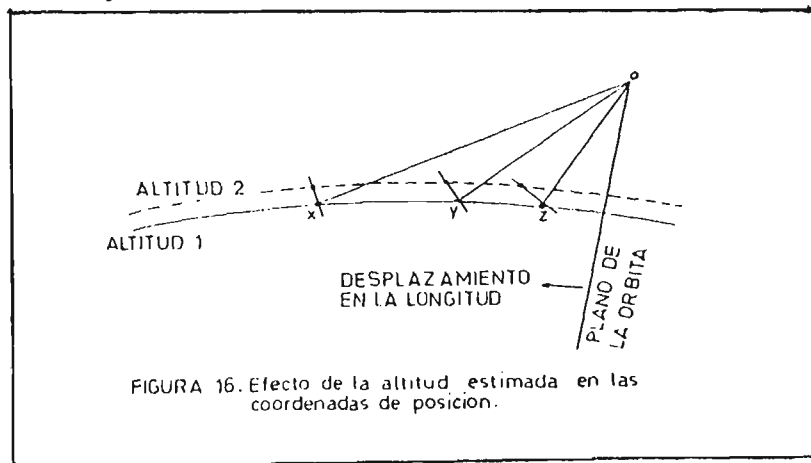


FIGURA 16. Efecto de la altitud estimada en las coordenadas de posición.

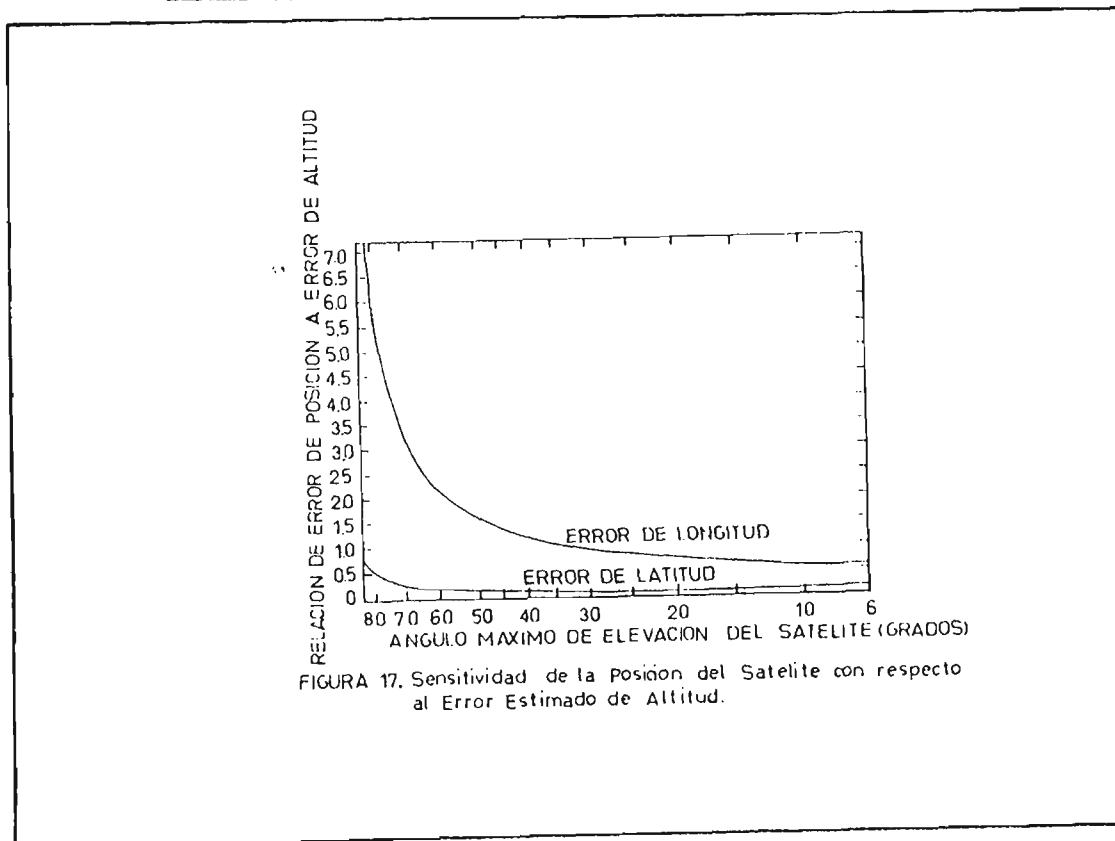
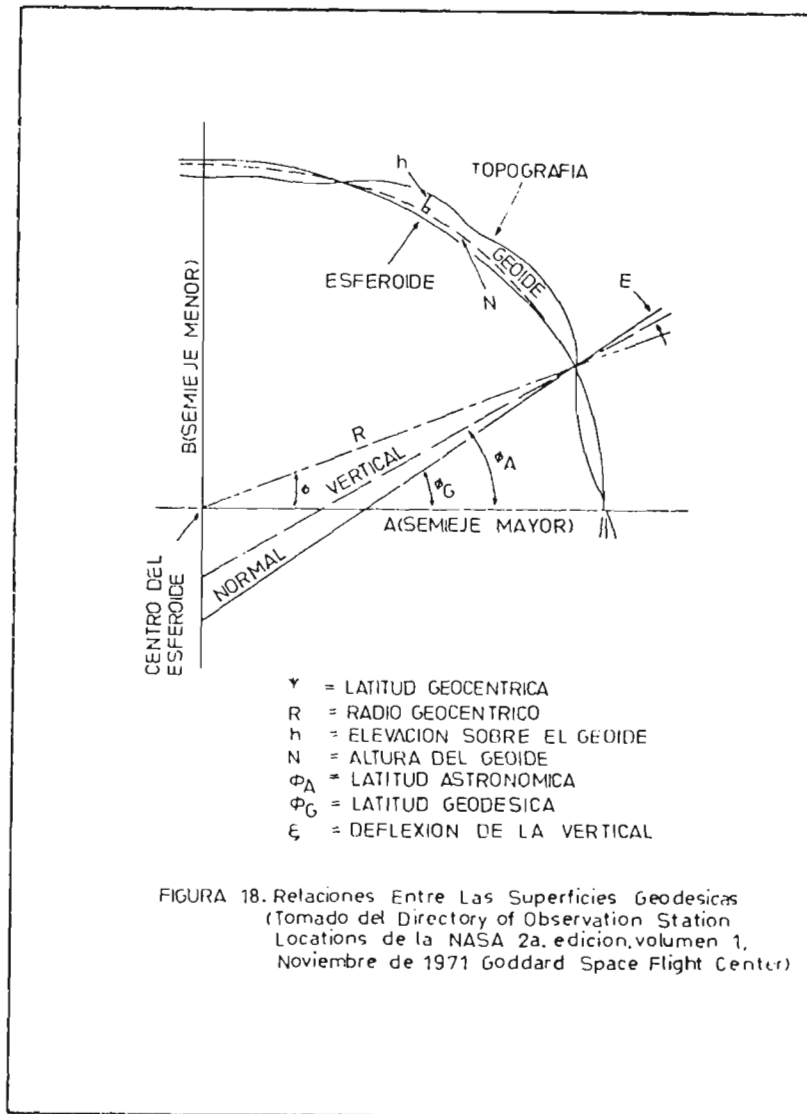


FIGURA 17. Sensibilidad de la posición del Satélite con respecto al Error Estimado de Altitud.

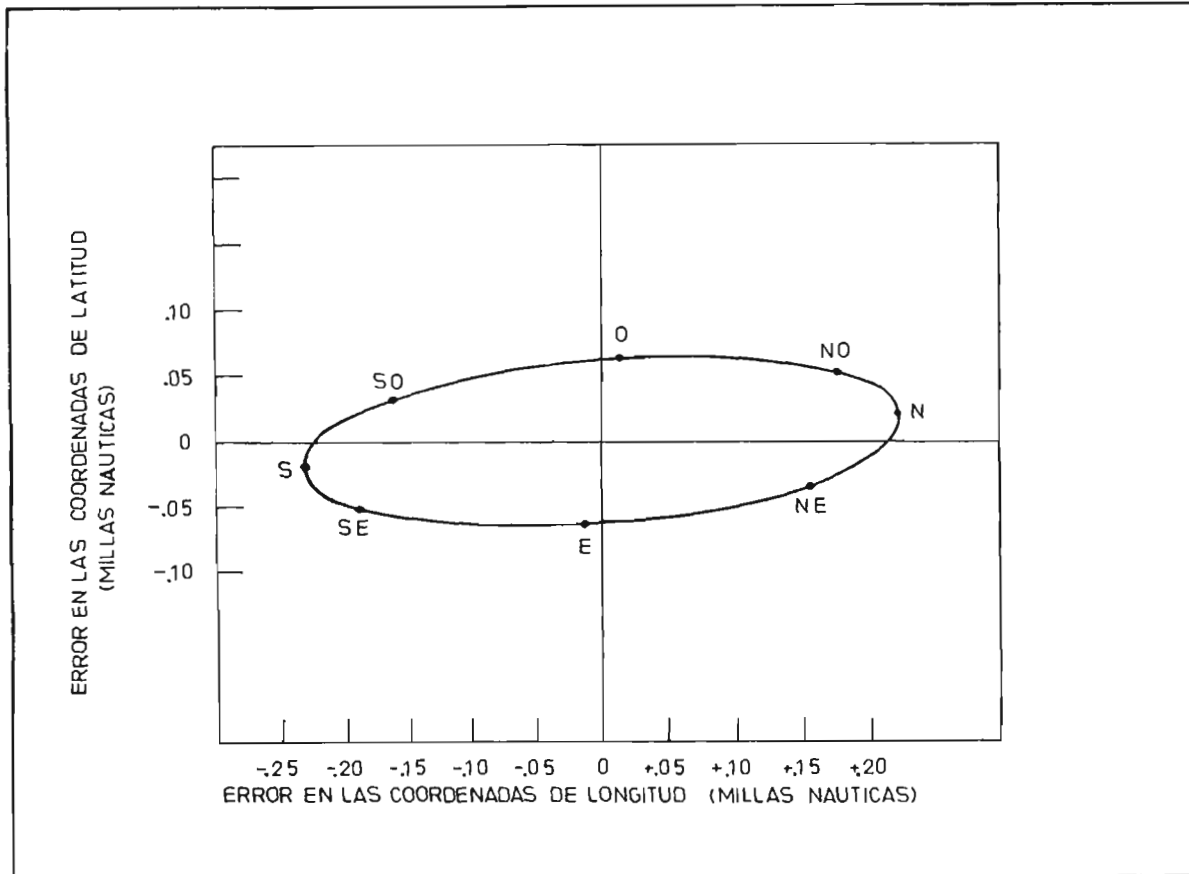
Por "altitud" de navegación del satélite se entiende la altura por encima o debajo del esferoide de referencia (el elipsoide de referencia o el dato del satélite). Esta superficie se elige para que sea la que mejor se ajuste mundialmente al nivel medio del mar, el cual es un geoide, verdadero. La figura 18 muestra las diferencias entre el geoide, el esferoide, y la topografía. Consiguientemente, sabiéndose la altura sobre el nivel medio del mar no es suficiente para tener coordenadas precisas de posición. También debe saberse la altura geoidal local, la cual es una desviación entre el geoide y el esferoide. Un mapa de alturas geoidales, indicará que estas desviaciones llegan cerca de los 100 metros.



La carta de alturas geoidales se desarrolló observando la influencia del campo gravitatorio de la tierra sobre las órbitas de los satélites. Como resultado de, la estructura de grano extremadamente fino no es detectable, y se sabe que el mapa tiene un error de mas menos 20 metros en muchos lugares. Se han hecho muchos refinamientos a este mapa desde que recién se publicara en 1967, pero estos resultados no se han hecho públicos por razones militares. Por lo tanto, para obtener el máximo de precisión es mejor determinar la altura geoidal local por medio de las técnicas de posicionamiento por puntos fijos.

## PRECISION BAJO MOVIMIENTO

Lo discutido sobre el error de navegación en un receptor estacionario se aplica igualmente a un receptor móvil, siempre y cuando se conozca precisamente el movimiento y no se introduzcan errores secundarios de sistema. Si no se sabe adecuadamente el movimiento, ocurrirán errores adicionales de posición.



La Figura 19 ofrece una forma útil de visualizar el efecto del error de velocidad. La elipse se traza a través de 8 posiciones, con un error de velocidad de un nudo en cada una de las ocho direcciones de la brújula. Nótese que la dirección del error de posición depende de la dirección de movimiento del satélite, como así también en si pasa por el este o por el oeste del observador.

Mientras que la Figura 10 es para una sola posición fija, las Figuras 20 y 21 muestran los errores causados por un error de velocidad de un nudo, norte y este respectivamente, y como función del ángulo máximo de elevación de la pasada.

## DATUM DE REFERENCIA

Es importante recordar que los mapas se trazan, y las posiciones se definen, con respecto a un Datum de Referencia. En los Estados Unidos se usa el North American Datum, en Japón el Tokyo Datum, en Europa el European Datum, etc. El sistema Transit usa ahora el Datum del Sistema Geodésico Mundial de 1972 (World Geodetic System of 1972 = WGS 72). Como resultado, el mismo marcador de referencia tendrá un sistema diferente de coordenadas de longitud y latitud en cada Datum de Referencia. en algunos lugares ocurren diferencias aparentes de medio kilómetro.

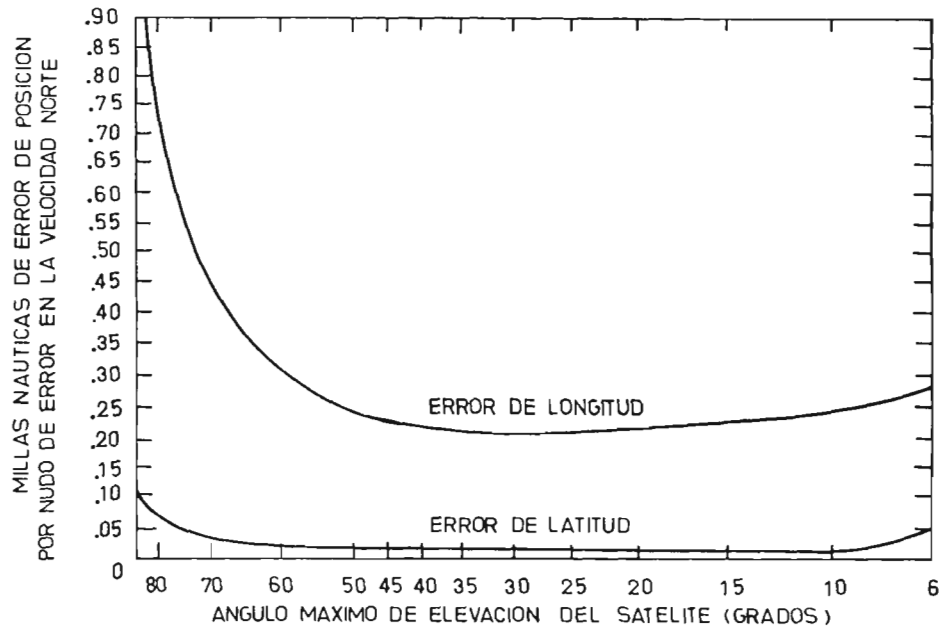


FIGURA 20. SENSITIVIDAD DE LA POSICION DE SATELITE PARA UN ERROR ESTIMADO DE VELOCIDAD NORTE DE UN NUDO.

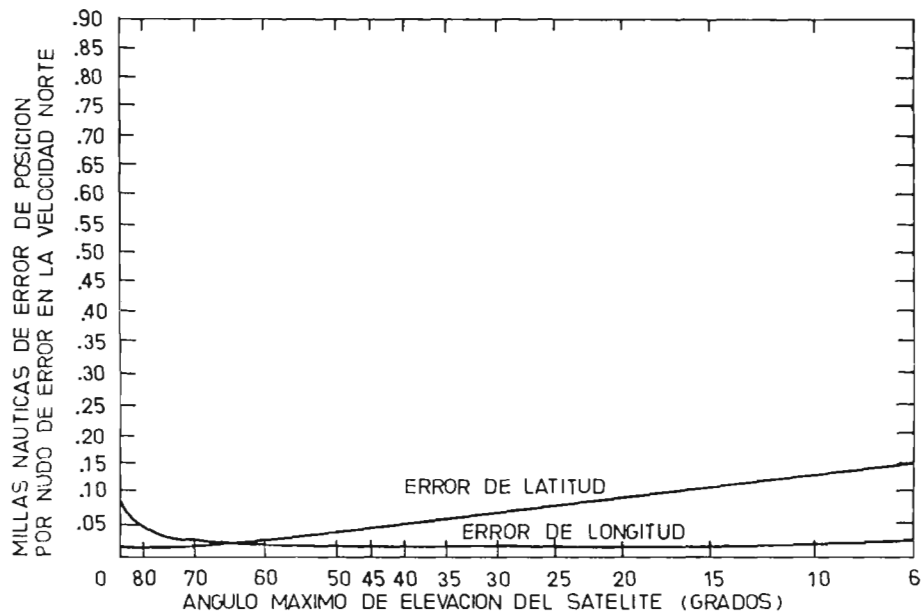
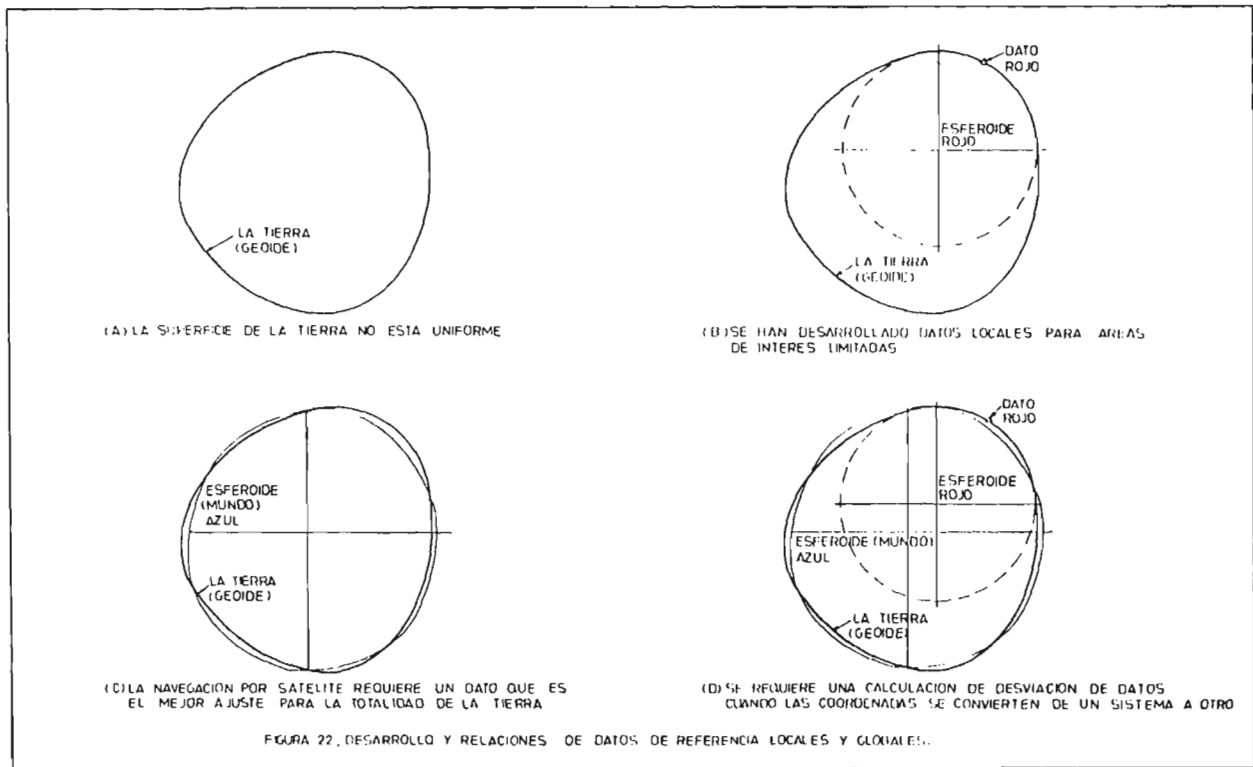


FIGURA 21. SENSITIVIDAD DE LA POSICION DEL SATELITE PARA UN ERROR ESTIMADO DE VELOCIDAD ESTE DE UN NUDO.

Las cuatro partes de la Figura 22 asistirán a visualizar el concepto de los Datum de Referencia, y de como se relacionan entre sí. Las Figuras 18 y 19 ya indicaron que la tierra tiene una forma irregular debido a las variaciones en su densidad (gravedad), y la Figura 22(a) es un modelo exagerado de una "tierra" irregular. La superficie mostrada representa un geode, el que se define como la ubicación al nivel medio del mar sobre la superficie total de la tierra.



Para hacer mapas razonablemente precisos se necesita un modelo de la superficie de la tierra. La Figura 22(b) muestra como se han diseñado los modelos para ajustarse a la tierra en el área local de interés, que en el pasado nunca fué mas grande que un continente. El modelo consiste en un esferoide (elipsoide) y de una posición llamada Datum en el que se definen la latitud, longitud, altitud, el azimut de una línea y el achatamiento del elipsoide. Este modelo funciona bién y permite trazar mapas precisos en la vecindad del Datum.

Ahora que se usan satélites para medir el geode (geodesia por satélite) hace falta un nuevo tipo de Dátum. Como se ilustra en la Figura 22(c), un esferoide mundial puede no llegar a ajustarse muy bién a la tierra en un lugar dado, pero es el "mejor ajuste" para la totalidad de la tierra. Además, tampoco hay un solo Dátum de Referencia, porque se usan muchas estaciones de rastreo de satélites y sus posiciones se definen como parte de cómputos que determinan el campo geopotencial de la tierra (geode). El esferoide WGS - 72 es el "mejor ajuste" para el geode WGS - 72.

La Figura 22 (d) muestra claramente que debe haber un método para relacionar una posición en un Dátum con coordenadas en otro. Por ejemplo, las coordenadas de posición por satélite tomadas en el puerto de Tokyo quizá muestren que una nave se halla en tierra al trazarse su posición en una carta local. La razón de esto es la diferencia de Dátum ilustrada en la Figura 22(d).

Las diferencias de coordenadas entre dos datos se pueden resolver sabiendo tres o (cuatro) parámetros de descentramiento y las dimensiones y forma de cada esferoide. Primero se hallan los descentramientos  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , y  $\Delta z$  entre los centros de los dos esferoides. A veces es necesario tener como un cuarto descentramiento una rotación de la longitud. Las dimensiones y la forma de cada esferoide se definen por el semieje mayor (radio ecuatorial) y por el coeficiente de achatamiento o aplanamiento.

La tabla de Datum contiene constantes de desviación de datos que se pueden emplear para hacer conversiones entre varios Datum y WGS- 72. Estos resultados deberán usarse con precaución por dos razones. La primera es que se tiene una precisión de mas menos 5 metros para cada constante de descentramiento en América del Norte, mas menos 10 metros en Europa, y mas menos 15 metros en Japón y Australia. Parte de esta incertidumbre se debe a distorsiones en el Datum local de referencia. La segunda razón es que los parámetros de descentramiento se determinaron empíricamente con levantamientos con el Geociever usando datos de efemérides precisas. Desafortunadamente, entre las posiciones determinadas con órbitas de efemérides precisas de la Defense Mapping Agency y aquellas determinadas con órbitas transmitidas por los satélites Transit, hay diferencias de quizá 10 metros.



DATUM	ESFEROIDE	SEMIEJE MAYOR	APLANAMIENTO RECIPROCO	CAMBIO A WGS-72		
				$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
				a = 6 378 135		
				1/f = 298.26		
		METROS		METROS		
NAD 1927	CLARKE 1866	6 378 206	294.98	-22	157	176
EUROPEAN	INTERNACIONAL	6 378 388	297.00	-84	-103	-127
TOKYO	BESSEL	6 377 397	299.15	-140	516	673
AUSTRALIAN	REFERENCE	6 378 160	298.25	-122	-41	146
NATIONAL	ELLIPSOID 1967					
OLD HAWAIIAN	CLARKE 1866	6 378 206	294.98			
MAUI				65	-272	-197
OAHU				56	-268	-187
KAUAI				46	-271	-181
CAPE (ARC)	CLARKE 1880 MODIFICADO	6 378 249	293.47	-129	-131	-282
SOUTH AMERICAN	REFERENCE	6 378 160	298.25	-77	3	-45
	ELLIPSOID 1967					
ORDINANCE SURVEY OF GREAT BRITAIN 1936	AIRY	6 377 563	299.32	368	-120	425
JOHNSTON ISLAND ASTRO 1961	INTERNACIONAL	6 378 388	297.00	192	-59	-211
WAKE-ENIWETOK 1960	HOUGH	6 378 270	297.00			
KWAJALEIN ATOLL				112	68	-44
WAKE ISLAND				121	62	-22
ENIWETOK ATOLL				144	62	-38
WAKE ISLAND 1952	INTERNACIONAL	6 378 388	297.00	283	-44	141
CANTON ISLAND	INTERNACIONAL	6 378 388	297.00	294	-288	-382
AASTRO 1966						
GUAM 1963	CLARKE 1866	6 378 206	294.98	-89	-235	254
ASCENSION ISLAND	INTERNACIONAL	6 378 388	297.00	-214	91	48
ASTRO 1958						
SOUTH ASIA	FISCHER 1960	6 378 155	298.30	21	-61	-15
NANKING 1960	INTERNACIONAL	6 378 388	297.00	-131	-347	0
ADINDAN	CLARKE 1880	6 378 249	293.47	-152	-26	212
MERCURY 1960	FISCHER 1960	6 378 155	298.30			
NAD 27 AREA				-25	46	-49
ED AREA				-13	-88	-5
TD AREA				18	-132	60
MODIFIED MERCURY 1968	FISCHER 1968	6 378 150	298.30			
NAD 27 AREA				-4	12	-7
ED AREA				-3	1	-6
TD AREA				22	34	2

NOTA:- LOS VALORES DE -9, 139 Y 173 SE DEBEN USAR PARA ALASKA Y CANADA

CONSTANTES DE CAMBIO DE DATOS  
TABLA 1

## EXEGESIS

Esta referencia ha provisto una revisión sucinta del sistema Transit, hasta antes del año de 1976, cuando aún no se ponía en operación el Sistema Global de Posicionamiento NAVSTAR, el Transit era el único sistema de navegación por satélite disponible, excepción hecha de un sistema soviético secreto (GLONNAS). La Oficina de Regulación de Telecomunicaciones (Office of Telecommunications Policy) propuso un período de coincidencia desde el momento en que el NAVSTAR comenzara a operar para permitir a los usuarios la amortización del equipo Transit antes de tener que adquirir sistemas NAVSTAR. Este período de coincidencia les permitió también a los fabricantes de los sistemas NAVSTAR el desarrollo, mejoras y la producción de una gama de equipos lo suficientemente amplia como para servir las muchas aplicaciones que se tienen ahora. Por lo tanto se tiene la plena seguridad que el Transit habrá de continuar prestando un servicio totalmente útil hasta el año de 1995 por lo menos.

El Transit es un sistema confiable para suministrar coordenadas precisas de posición a sus usuarios. Esta confiabilidad está basada en varios factores. Las señales provienen del satélite por línea directa hacia el usuario, sin los problemas de propagación comunes a los transmisores terrestres. El Grupo Astronáutico de la Marina de los EE.UU. ha establecido un registro sorprendente en el mantenimiento de un mensaje confiable en la memoria de cada satélite. También, los satélites en sí son extremadamente seguros, con tres de ellos operando de manera más que satisfactoria después de más de diez años de servicio. Las doce unidades en depósito sirven para asegurarnos que el sistema operará por muchos años, aún cuando los satélites presentes dejasen de funcionar.

Se hace notar la sorprendente amplitud de aplicaciones del sistema Transit, desde barcos de pesca a submarinos militares. Tan es así que a comienzos de la década de 1980, se tenían más de diez mil unidades en operación. Complementando el crecimiento en aplicaciones y en el número de usuarios el desarrollo de la nueva generación de satélites Transit que fué a la que se le llamó NOVA. Por ello el sistema sigue creciendo y satisfaciendo necesidades vitales alrededor del mundo.

Se describió la teoría de la navegación por satélites Transit, y los factores que afectan la precisión. En esto se ha incluido una definición de los parámetros del mensaje orbital, el significado del conteo de Doppler, y una revisión del concepto de las coordenadas de posición.

El objetivo de este documento ha sido el dar una revisión del sistema Transit. De allí ha surgido una historia fascinante. El sistema fué desarrollado casi exclusivamente para guiar los submarinos Polaris, y aún hoy continúa sirviendo excelentemente esta función. Sin embargo el gobierno de los EE. UU. permitió el uso comercial del sistema, y por iniciativa propia los fabricantes comenzaron a producir equipos Transit de navegación. Hoy se tiene una gran variedad de usuarios beneficiados con las ventajas de una navegación precisa, mundial, y en todas las situaciones meteorológicas. El impulso de su uso no se ha detenido, y el sistema Transit ha jugado un papel preponderante en el campo de la navegación mundial desde su puesta en operación, además de que a partir del Transit, se sentaron las bases para el desarrollo del NAVSTAR (G P S).

## CAPITULO II

### **"NAVSTAR" Tiempo y Distancia de Navegación por Satélite Global Positioning System (GPS), Sistema de Posicionamiento Global:**

Todavía hace unas décadas, nadie pensaba que, fuera una realidad que se pudiera mediante un sistema de satélites tener comunicación, telefónica o mediante televisión, de un continente a otro, enviar un escrito por teléfono, o tener control de depósitos, retiros, pagos o saldos bancarios, o que también un sistema de satélites sirviera para dar posiciones exactas de embarcaciones, aviones comerciales y dirigirlos con seguridad a su destino, o simplemente de localizar un cardumen en el vasto océano aumentando la capacidad de buques pesqueros y bajando costos.

Hoy el uso comercial y/o civil del GPS, sobrepasa considerablemente al uso militar para el que fué concebido originalmente.

La aptitud del GPS consiste en que pronto será tan común como un aparato de radiotelefonía y su incursión será semejante a la de la computadora.

Encontrándonos ahora a escasos seis años del año 2000, tiempo muy corto en el cual se supone que no habrá muchos avances en la tecnología, pero sí tiempo suficiente para que surja algo insólito, podemos echar un vistazo hacia atrás, hace apenas unos 20 años, en el año de 1974, en el que se inició el Sistema "NAVSTAR" (Navigation by Satellite Timing and Ranging), Sistema de Posicionamiento Global GPS, con el lanzamiento del primer bloque de satélites, el que marcó el embate de su fase operacional.

En ese tiempo se evidenciaba de manera inequívoca que en un futuro no muy lejano, se alcanzarían mediciones de muy alta precisión en el posicionamiento de puntos geodésicos por medio de estos satélites.

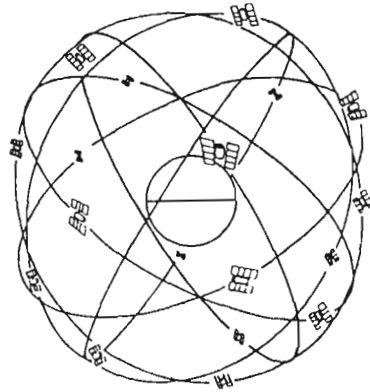
Nuestro País no pudo quedar excluido en el manejo de este sistema de mediciones por satélite y se considera que a partir del año de 1992, México se encuentra ya inmerso en la era del GPS, y tocó al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática el iniciar un enorme programa de medición, con el cual mide las tierras ejidales que abarcan el 52 % del territorio nacional, precisamente con equipos GPS y Estación Total, este último equipo es un teodolito con pantalla digital para la lectura de los limbos y distanciómetro integrado de gran precisión.

Las características de alta precisión y relativo bajo costo, hacen que el GPS sea una alternativa con mucho atractivo. Especialmente cuando se refiere a estudios topográficos o geodésicos que requieren cálculos complicados para resoluciones espaciales.

El Sistema de Posicionamiento Global, (GPS), es un sistema de posicionamiento por satélite que permite conocer la ubicación de puntos sobre la superficie terrestre, mediante la recepción de señales enviadas por un grupo de satélites, uniformemente espaciados describiendo órbitas con cierta inclinación respecto al Ecuador Terrestre.

Este sistema está diseñado para funcionar con 24 satélites, divididos en seis órbitas con cuatro satélites en cada órbita, a una distancia de veinte mil doscientos kilómetros; en el mes de marzo de 1994 se puso en órbita el último de los satélites en operación con los cuales cuenta el Sistema NAVSTAR. (NOTA:- Actualmente, con este satélite hay 25 satélites en operación).

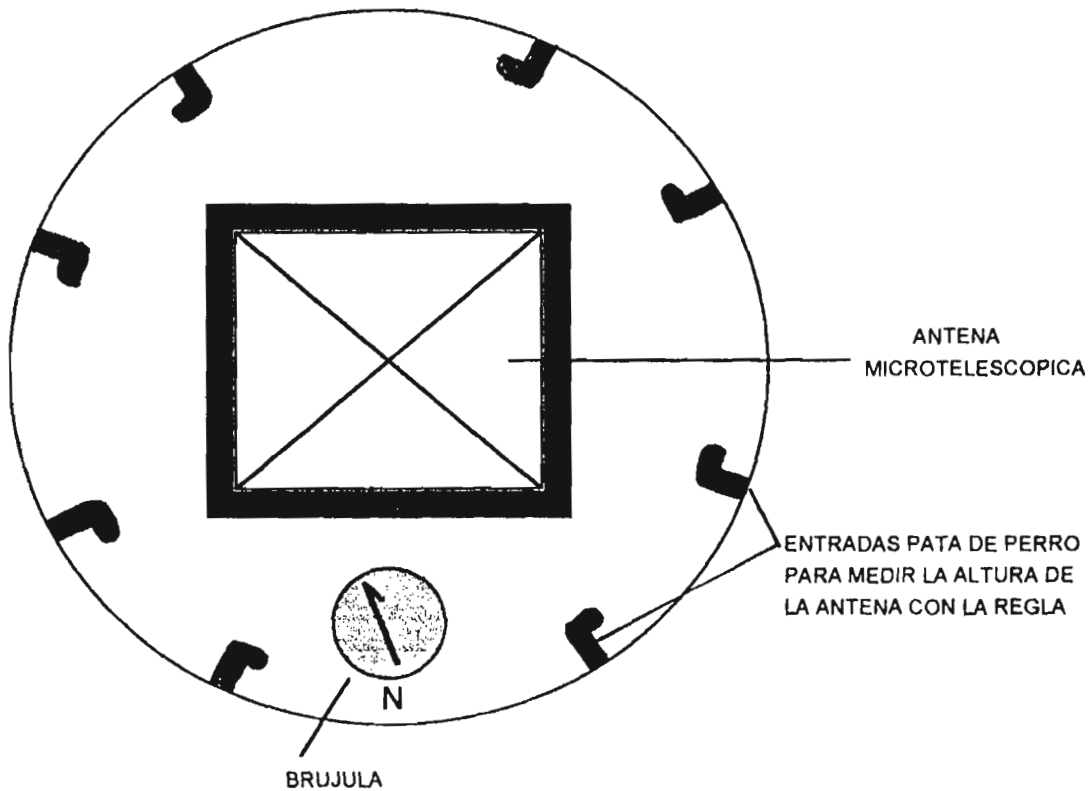
Figura 23 Los satélites GPS del sistema NAVSTAR giran alrededor de la tierra en seis planos orbitales.



### COMPONENTES DEL EQUIPO GPS.

Para la recepción de la señal de los satélites, se requiere de un equipo integrado por tres componentes fundamentales, y estos son:

1. Antena con pre-amplificador integrado. Figura 24



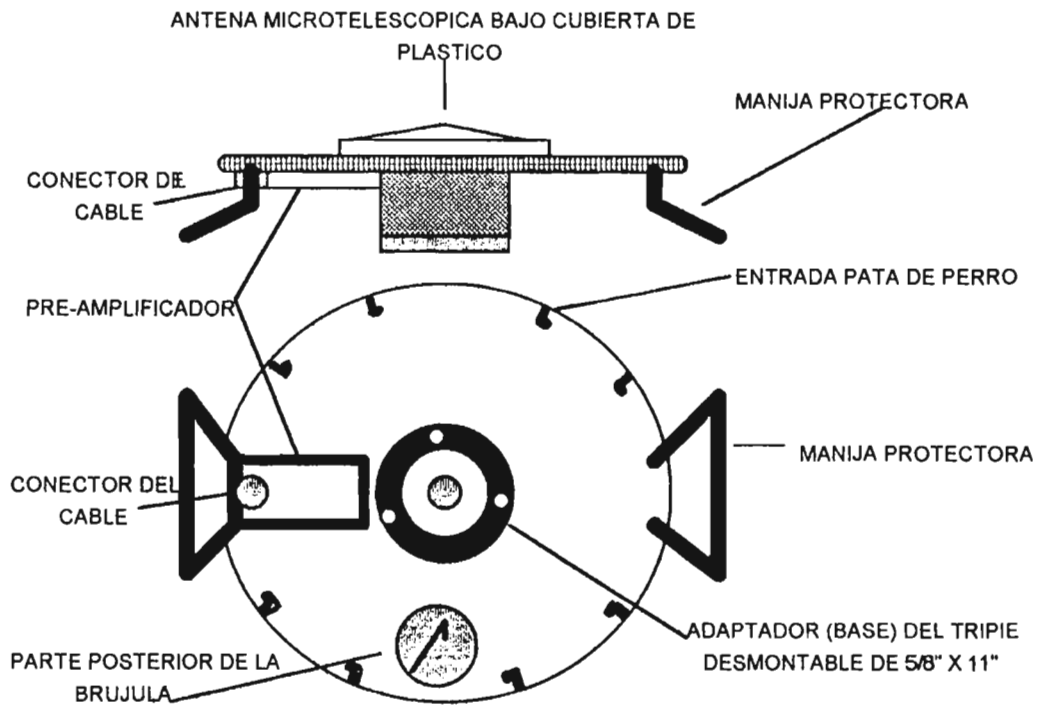
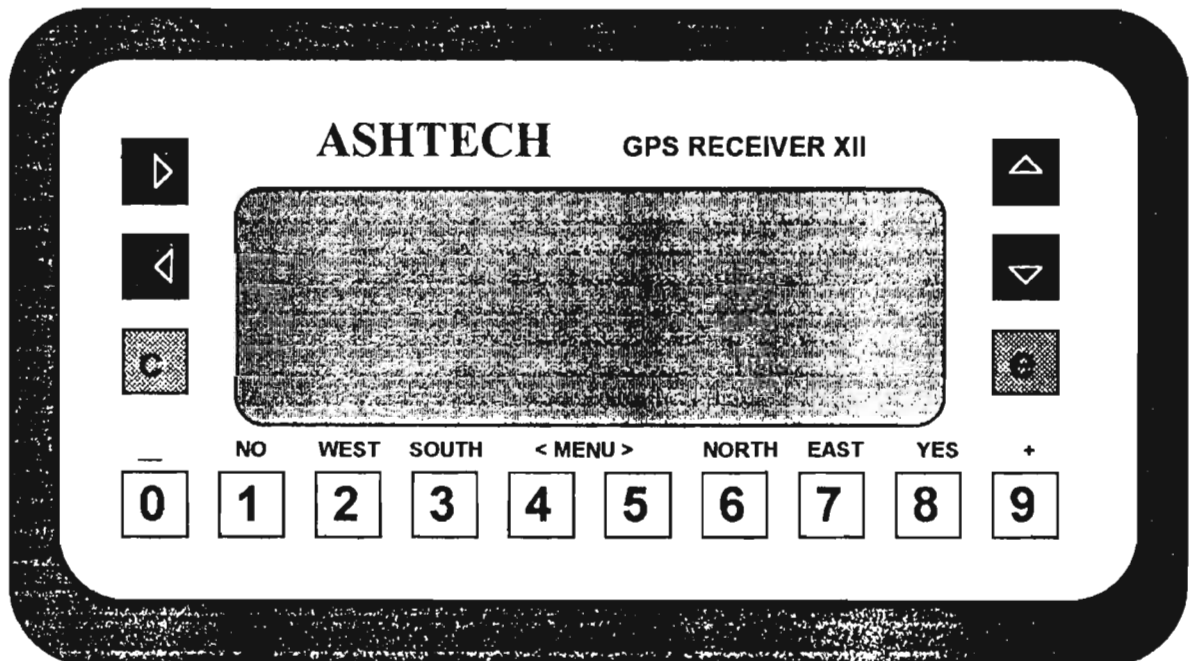
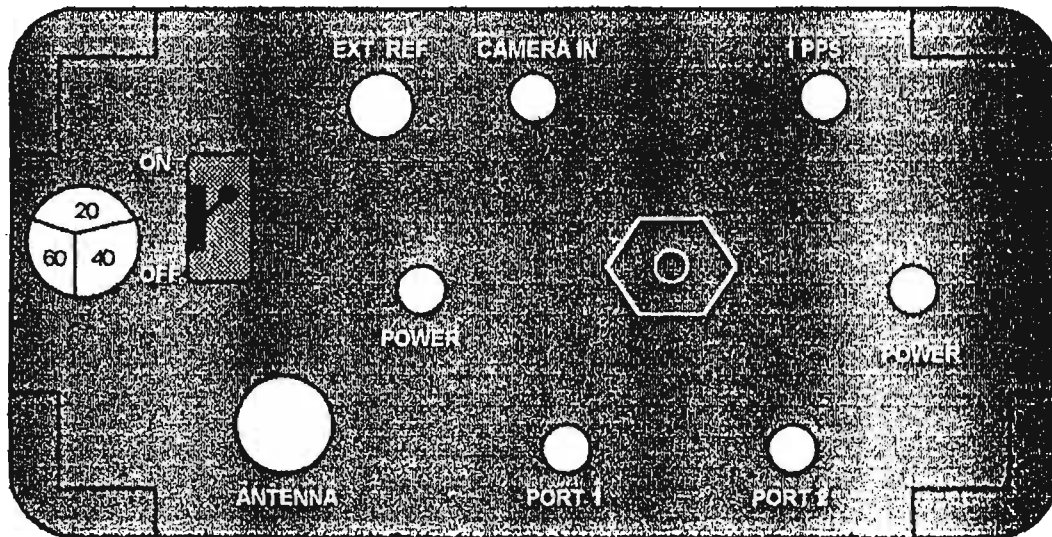


Figura 25

2. R e c e p t o r (Vista de Frente) Figura 26



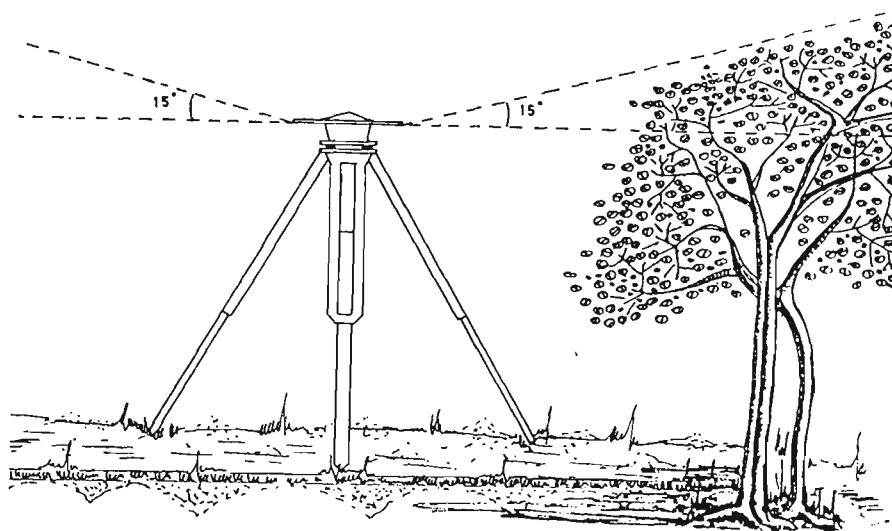
Receptor GPS (Vista Posterior) Figura 27



3. (Software) Programas de cómputo para el procesamiento de la información de campo.

La antena tiene como función la de captar la señal enviada por los satélites, para lo cual se requiere de ciertas condiciones para su colocación, tales como no estar inclinada, no tener obstáculos que impidan la recepción y orientación entre otras.

Figura 28



El receptor se encarga de almacenar los datos obtenidos en las observaciones de campo, el horario de disponibilidad y el número de satélites con la geometría adecuada en el plano orbital satelital para obtener mayor precisión en las mediciones que se efectúen.

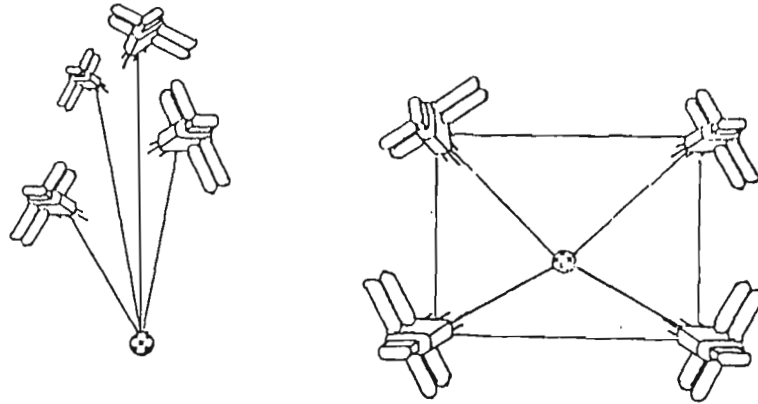


Figura 29

El software es el programa lógico que se utiliza para el procesamiento de la información a través de potentes ordenadores. Al procesar la información obtenida en campo es posible determinar la posición del punto o puntos en un sistema de coordenadas (X, Y, Z), las que pueden convertirse a coordenadas geodésicas o cartográficas.

#### **VENTAJAS**

- Determinación de distancias con alta precisión
- Rapidez en los levantamientos
- Minimización de errores humanos
- Reducción de costos por mínimo tiempo y personal
- Versatilidad en su uso, desde proyectos sencillos hasta los mas complejos

#### **DESVENTAJAS**

- Posible interrupción de la señal por posicionamiento de un nuevo satélite
- Pérdida de la señal debido a obstáculos adyacentes, vegetación, edificios o montañas
- Restricciones de horario para la disponibilidad de los satélites

- Inexactitud en condiciones meteorológicas extremas
- Requerimiento de personal altamente capacitado

**El Sistema Navstar G.P.S.**

**Navigation by Satellite Timing and Ranging  
(Tiempo y Distancia de Navegación por Satélite)**

Como se dijo cuando se inició el Sistema Transit, su propósito original estaba distante de ser pacífico. Fué desarrollado para identificar exactamente donde se encontraban las naves aéreas, o marítimas incluyendo a los submarinos polaris, para ubicar sus proyectiles desde sus plataformas en movimiento con relación a sus blancos.

Su funcionamiento se basó en el fenómeno Doppler, en la medición de distancias por Interferometría y a la aplicación de fórmulas de física por medio de ecuaciones diferenciales y en general la aplicación del cálculo diferencial, integral y vectorial diferencial, basándose en que conociendo la velocidad de la luz, el tiempo y la distancia son interactuables.

**INTERFEROMETRY**

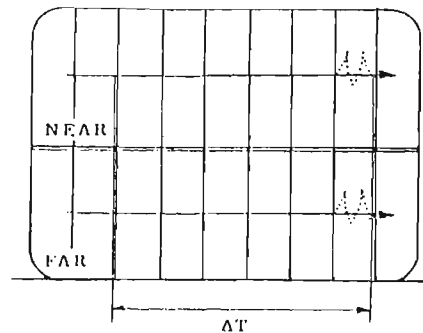
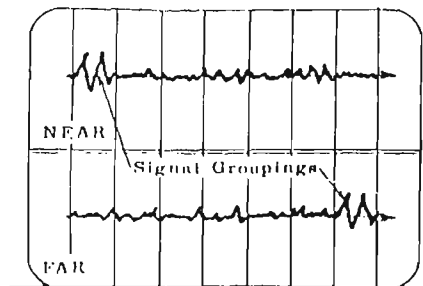


Figura 30



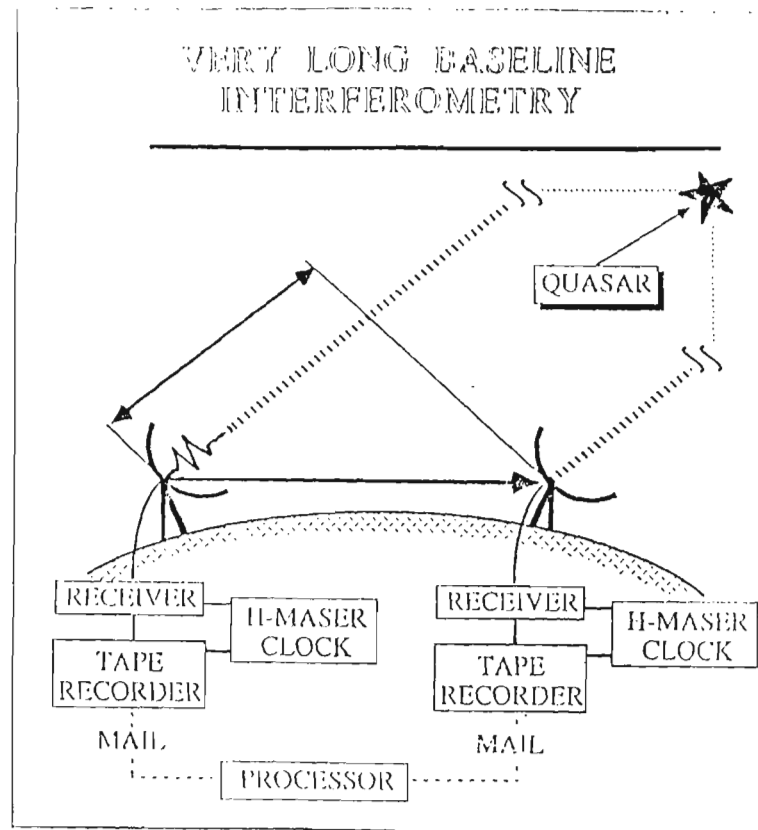


Figura 31

El Sistema Navstar está compuesto por tres partes principales que son: Segmento de Control, Segmento de Espacio y Segmento de Usuario.

- Segmento de Control (su funcionamiento es a base de relojes atómicos)

Las funciones del Segmento de Control son:

1. Rastrear la órbita actual de cada uno de los satélites
2. Computar las órbitas pronosticadas
3. Determinar la velocidad de deriva y el no funcionamiento del reloj
4. Determinar los parámetros de retardo en la ionósfera
5. Mantener la confiabilidad de funcionamiento de los satélites

Para cumplir con estas funciones se cuenta con Estaciones de Rastreo, las que son controladas por la Fuerza Aérea de los E.U.A. y se encuentran en: Colorado Springs, Co. (Master Control Station), Diego García, Ascención, Kwajalein y Hawaii.

Existen estaciones de reserva de rastreo y se encuentran en Australia, Quito Ecuador, Buenos Aires Argentina, Bahrain Inglaterra; todas las estaciones están equipadas con relojes atómicos de césium, y, transmiten los datos a la estación principal; la estación principal calcula las órbitas (efemérides) y las correcciones a los relojes y las inyecta en la memoria de

los satélites. Tres estaciones (Ascención, Diego García y Kwajalein) si es necesario, también, pueden inyectar información a los satélites.

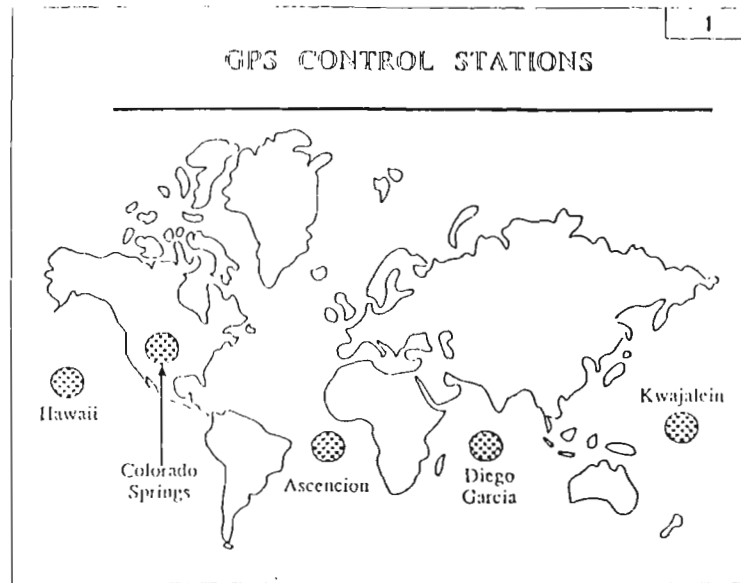


Figura 32.- Estaciones de Control GPS.



Figura 33.- Red Internacional de Rastreo GPS.

- Segmento de Espacio (su funcionamiento es a base de relojes atómicos)

En el mes de junio de 1993 se completó la constelación de 24 satélites (SVs) en operación y consta de 4 de ellos en cada uno de los seis planos orbitales, separados  $60^\circ$  en Longitud e inclinados cerca de  $55^\circ$  con relación al Ecuador Terrestre.

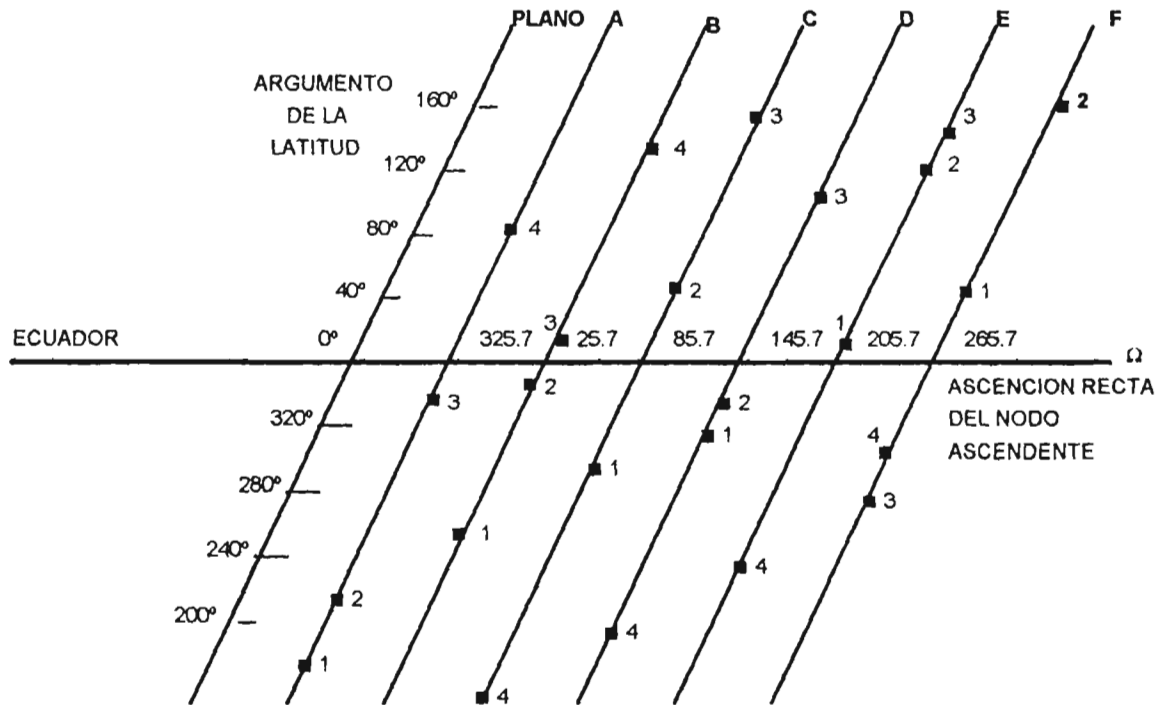


Figura 34.- Diagrama desplegado de las órbitas de los satélites.

Cada satélite completa dos órbitas al día, y debido al movimiento de rotación de la Tierra, aparece en el mismo lugar diariamente cuatro minutos más temprano cada día. Esta consistencia en el paso de los satélites por sus órbitas alrededor de la tierra es importante, ya que, permite la predicción de la disponibilidad de los satélites a tiempos futuros, pudiéndose de esta manera llevar a cabo la planeación de las misiones (planeación de los levantamientos y tiempos de observación) en forma óptima.

Las funciones del Segmento de Espacio son:

- Transmitir continuamente el PRN (Pseudo Ruido Fortuito), que no es otra cosa más que el código de reconocimiento de cada satélite.

- Recibir diariamente información del segmento de control.

- Transmitir de forma continua el mensaje de navegación, el que se está actualizando cada hora. Este mensaje contiene el almanaque de los satélites, los parámetros de las efemérides de la posición orbital que transmite cada satélite, datos de la ionósfera, datos de la deriva del reloj atómico de cada satélite y su disponibilidad.

Entendiéndose por Efeméride, el paso de un satélite por un lugar predeterminado a determinada hora.

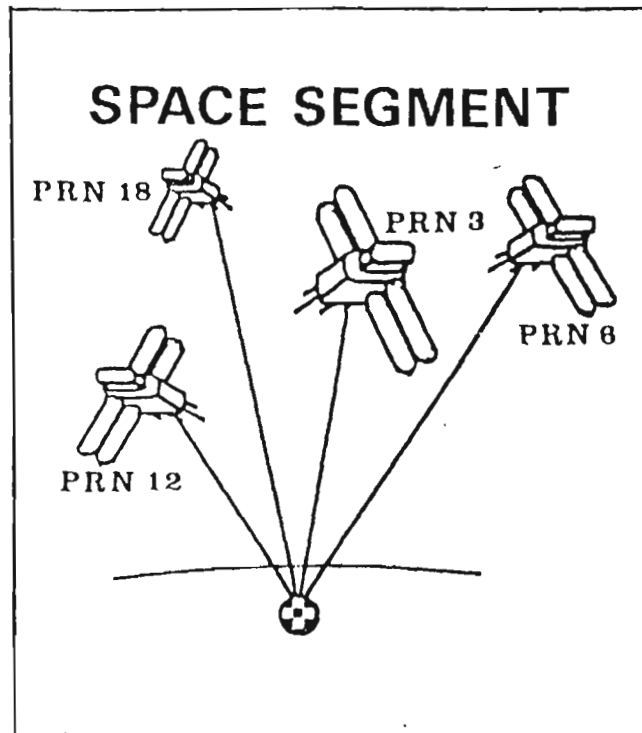


Figura 35.- Segmento de Espacio

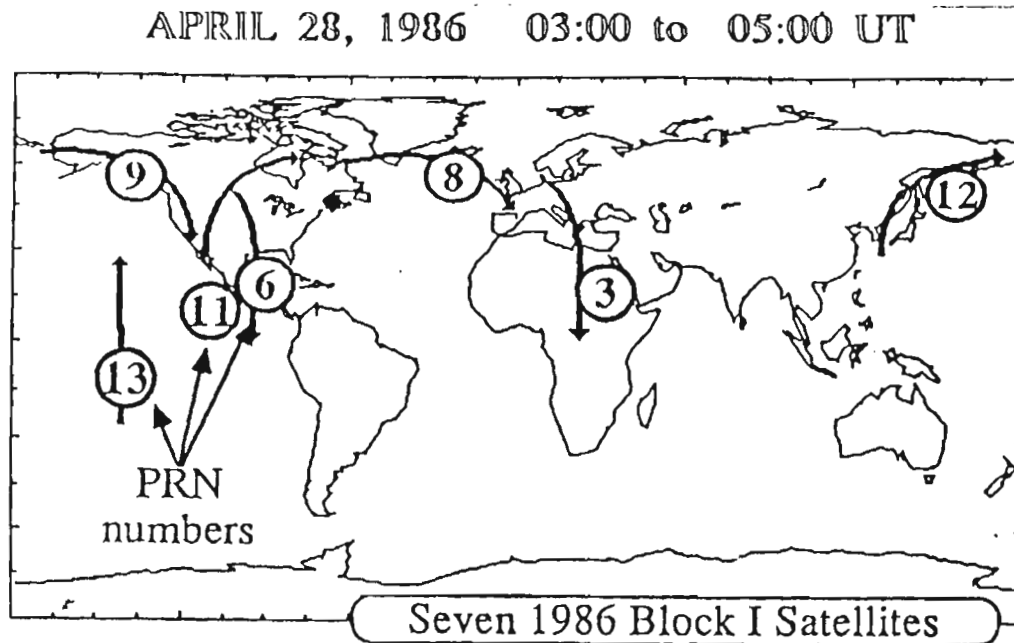


Figura 36.- Representación gráfica de las órbitas del primer bloque de satélites GPS.

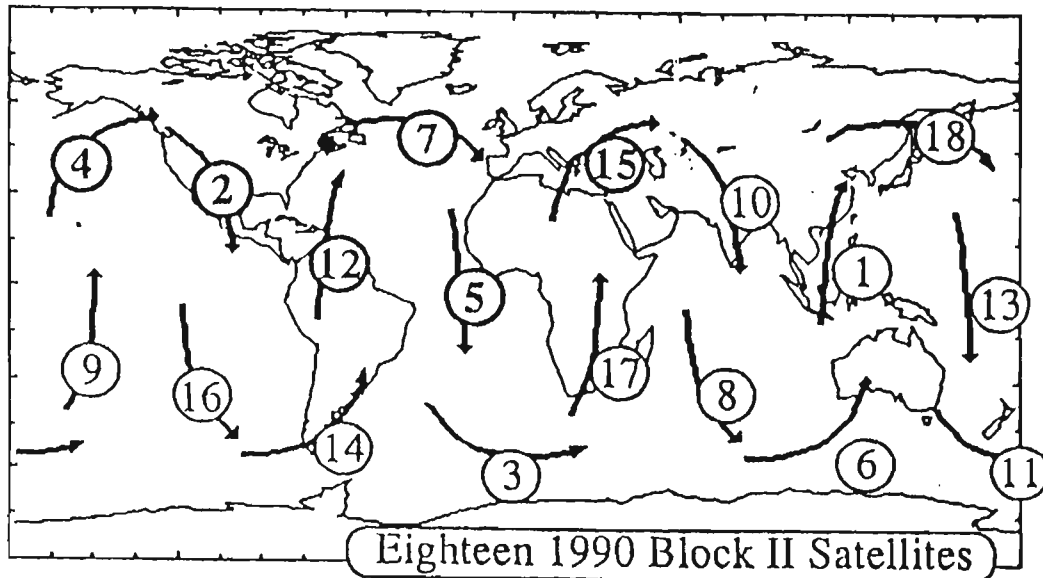


Figura 37.- Representación gráfica de las órbitas del segundo bloque de satélites GPS.

Los satélites transmiten en ondas portadoras de frecuencia, y esta son:

L1 = 1575.47 MHz  
L2 = 1227.4 MHz

Los relojes atómicos que se encuentran en cada satélite, se usan para el control de la transmisión del código PRN y de los mensajes de navegación sobre las ondas portadoras de frecuencia. De esta manera el principio de cada código PRN es transmitido desde cada uno de los satélites precisamente al mismo tiempo (tomando en cuenta las correcciones de la deriva del reloj). Este es la base para el tiempo exacto de transferencia desde el segmento de control a través del segmento de espacio hacia el segmento de usuario. El código de reconocimiento del PRN y los mensajes de navegación son transmitidos en la frecuencia L1 en un **CODIGO ABIERTO BURDO DE ADQUISICION** (Coarse Acquisition), conocido como **CODIGO C/A**.

Los satélites transmiten numerosas variedades de señales. Las fuerzas militares de los Estados Unidos de Norteamérica llevan receptores que pueden decodificar las señales P-Code también llamado Código de Precisión, o Código Protegido, el cual se supone da la posición exacta de cada satélite y que se encuentra disponible solo para instituciones autorizadas por el Departamento de Defensa de los E.U.A., este código de precisión se encuentra restringido, debido a que se teme que fuerzas hostiles puedan usar las señales para guiar misiles en su contra, el Pentágono de los E.U.A. altera las señales precisamente con el PRN. Esto llamado Modalidad de Disponibilidad Selectiva, degrada la exactitud de la posición de cada satélite en un rango aproximado de 91.5 m. Esto funciona bajo el principio de que todos los receptores en una velocidad dada estarán fuera de exactitud en una misma magnitud. Es decir un receptor GPS estacionario del que se conoce con precisión su posición geográfica (antenas fijas de la Red Geodésica Nacional Activa) capta las transmisiones del

satélite y además calcula el margen de error. Entonces esta estación de referencia transmite una corrección a través de otra frecuencia obteniéndose así una alta precisión en las mediciones.

Segmento de usuario (su funcionamiento es a base de relojes de osciladores de cristal)

Existe una gran variedad de usuarios GPS, sin embargo el esquema que aquí se presenta, se refiere solamente a aplicaciones de mediciones topográficas y geodésicas.

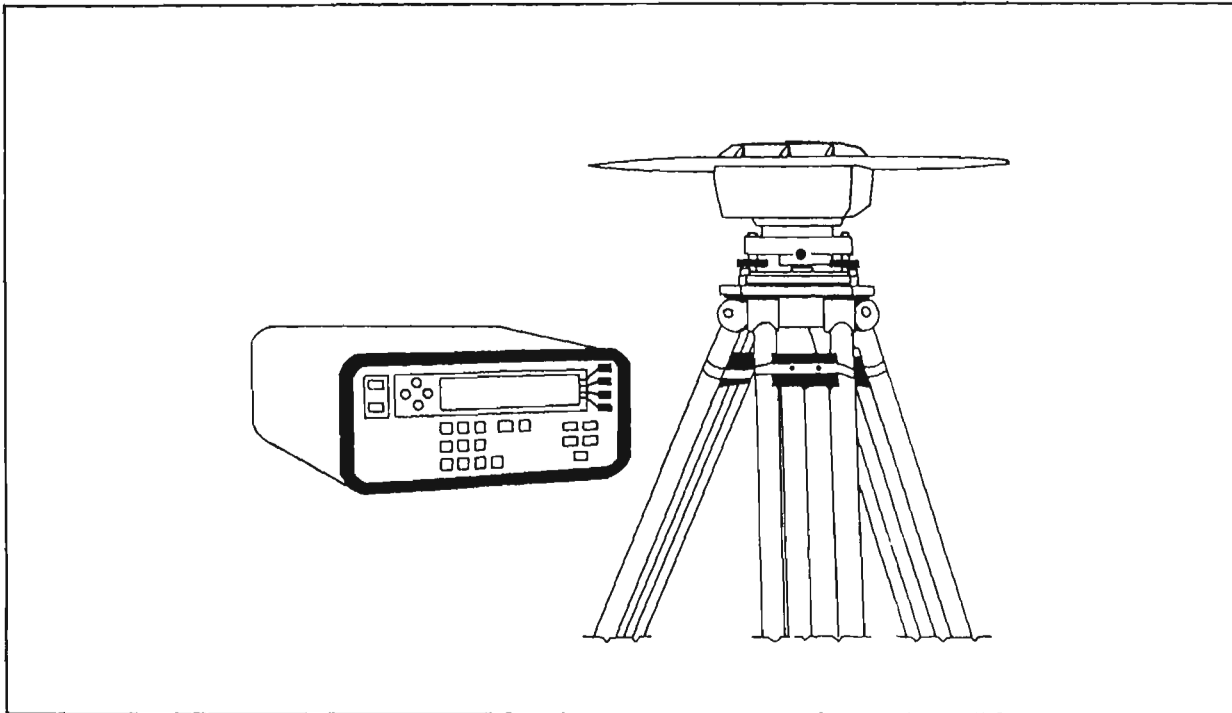


Figura 38.- Receptor y Antena GPS.

Los receptores **ASHTech** tienen múltiples de doce canales de radio, cada uno de los cuales puede recibir señales de un satélite en particular. Los receptores también tienen microprocesadores para efectuar el cálculo de posiciones, además de contar con memoria RAM para el almacenamiento de la información.

Las funciones del segmento de usuario (receptor geodésico) son las siguientes:

- Buscar para cada satélite los códigos de reconocimiento PRN.
- Engancharse a la señal del código PRN y recibir los datos del almanaque y de las efemérides.

- Cuando se está en comunicación con cuatro satélites al mismo tiempo, se lleva a cabo el cálculo y la actualización de una posición y del mantenimiento de la hora GPS del oscilador del receptor .

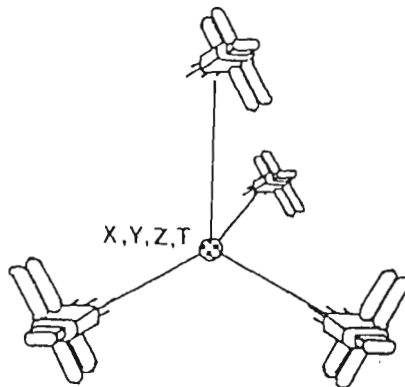
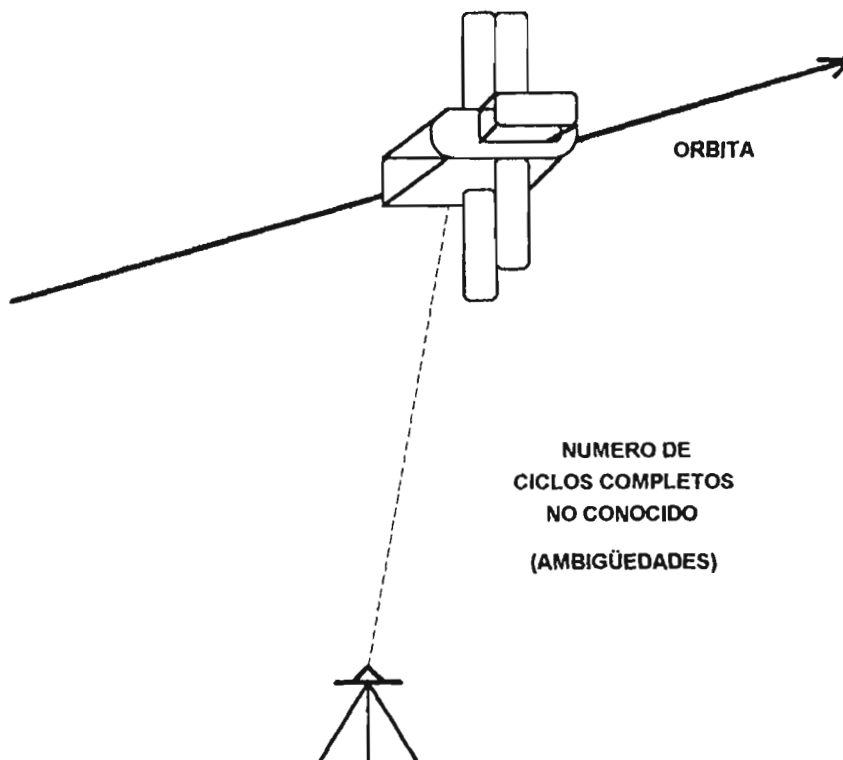


Figura 39.- 4 Satélites para resolver 4 Incognitas, Latitud, Longitud, Altitud y Tiempo.

- Contar y grabar el número de ondas completas de ciclos recibidos en la frecuencia L1.

Figura 40



- Grabar datos de todos los satélites a la vista del receptor (ventana) a intervalos fijos.

## PRINCIPIO DE MEDICION DEL GPS

### Interferometría

Durante el desarrollo inicial del Sistema GPS, se usaron radiotelescopios para recibir y grabar patrones agrupados de señales únicas desde estrellas pulsantes (Quasares). Usando relojes atómicos para que dos telescopios suficientemente separados estuvieran recibiendo señales al mismo tiempo, para que estas fueran grabadas digitalmente considerando la misma base de tiempo.

Después, las señales grabadas fueron desplegadas contra la base de tiempo en un osciloscopio y el agrupamiento de las señales desde el radiotelescopio mas lejano de la estrella fué retardado de manera ascendente y después fué multiplicado respecto a la señal del radiotelescopio mas cercano. Cuando había un alineamiento perfecto, los dos grupos de señales desaparecieron y la calidad de retardo de tiempo multiplicado por la velocidad de la luz produjo una medida exacta de la distancia entre las dos estaciones (radiotelescopios).

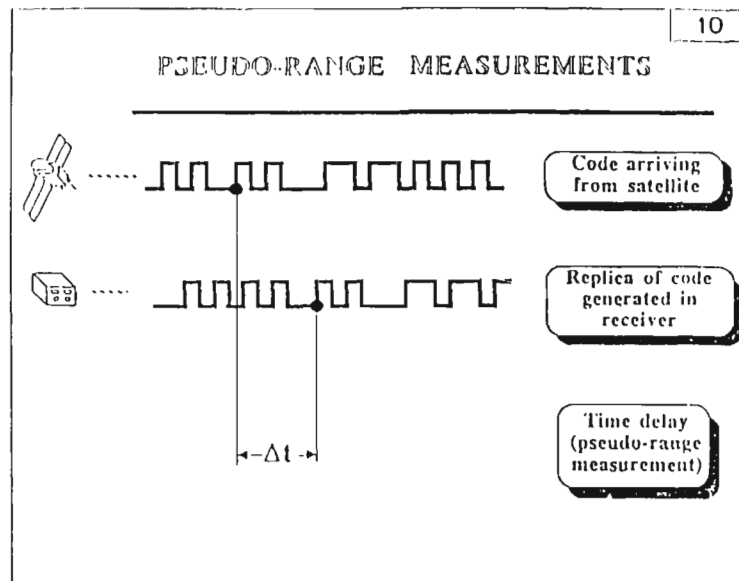


Figura 41.- Retardo de la Señal GPS del Satélite al Receptor.

### Medidas de Pseudo-Distancia (Pseudo- Range)

Los receptores Ashtech usan interferometría mediante el retardo de una réplica del código PRN de los satélites, información que guarda en la memoria y después la correlaciona con el código de entrada. En la alineación precisa, el código desaparece dejando solamente la onda portadora. La cantidad de retardo puede ser convertida igualmente en una medida de distancia entre el satélite y el receptor llamada una medida de pseudo-distancia (pseudo-range) porque usó el código PRN en la misma forma como los radiotelescopios usaron los grupos aleatorios de señal. Ver Figuras 30 y 31 en las páginas 34 y 35.



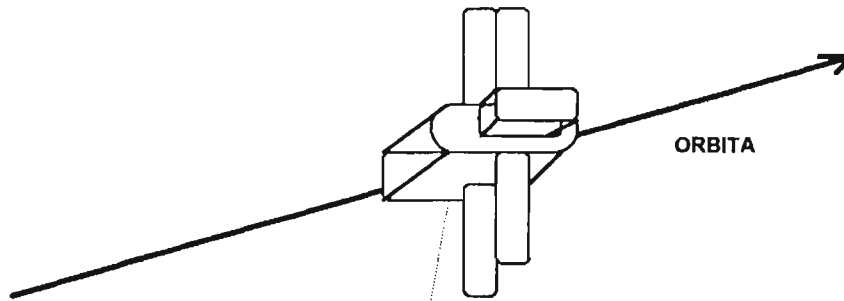


Figura 42  
 CODIGO CA  
 PRECISION EN LA POSICION  
 +/- 3 M

La precisión de las mediciones depende de las unidades usadas. El código PRN, también llamado código CA, se repite cada milésima de segundo y tiene mil veinticuatro envíos (chips) por código, con una unidad de medida de  $1/1\ 000\ 000$  de segundo multiplicada por  $300\ 000\ \text{Km/Seg.} = 300$  metros. Las fracciones pueden ser estimadas al 1 % de la unidad de medida o  $\pm 3$  metros cuando la disponibilidad selectiva (Selective Availability) no se encuentra activada. Por tanto, la mayor exactitud posible del receptor de señal usando código CA en tiempo real es de  $\pm 3$  metros. Esto es aceptable para problemas de navegación, mas no para cuestiones de trabajos geodésicos.

Existe un código P (código de Precisión) este se repite cada 267 días y tiene una velocidad de transmisión 10 veces mayor que el código CA. Su precisión es 10 veces mejor, es decir igual a 30 centímetros.

**Doppler Integrado.**

A medida que los satélites se mueven hacia un receptor GPS, hay cambios en frecuencia que puede ser indicado por una velocidad de cambio en la curva de distancia. Esto se llama Doppler integrado. Dado que esta velocidad de cambio produce una curva muy suave, el efecto Doppler es usado para suavizar un poco el ruido contenido en las pseudo-distancias medidas.

El efecto Doppler afecta a todas las ondas electromagnéticas y se debe al desplazamiento relativo entre el emisor y el receptor.

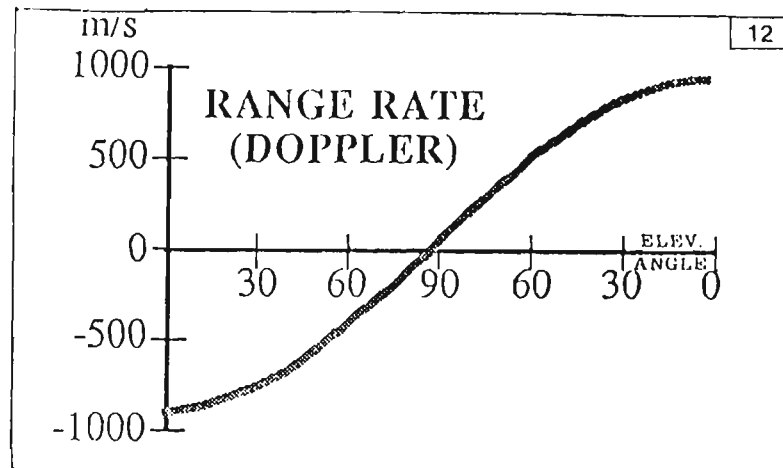


Figura 43.- El Efecto Doppler es usado para suavizar el ruido contenido en las pseudodisancias medidas.

#### Onda Portadora

La interferometría de la onda portadora y el ciclo de retraso "Delay Lock Loop" mantienen enganchado el satélite y el proceso hace que se disponga del código libre de la onda portadora, que es de 19 centímetros mas menos 2 milímetros lo que hace que se encuentre dentro de la precisión requerida en los trabajos geodésicos.

Los receptores Ashtech miden y graban la fracción de medida de la onda portadora dentro del rango de un milímetro.

#### Ciclos Ambiguos de la Portadora

Mientras que la fracción de la fase portadora puede ser medida con exactitud, no hay modo de medir el número total de ondas portadoras (ciclos completos) que, en adición a la fase fraccionaria haría la medida total de la distancia del satélite al receptor. Por lo tanto estos ciclos completos se llaman números ambiguos enteros, ciclos ambiguos, o simplemente ambigüedades. (Ver Figura 40 en la Página 41)

Los receptores captan continuamente las señales de los satélites pero solamente graban las mediciones en grupos de intervalos fijos llamados épocas. La recepción continua de señales permite al receptor contar y grabar el número de ciclos completos de la onda portadora desde la primera medida. Las exactitudes requeridas para levantamientos geodésicos se pueden obtener resolviendo las ambigüedades y deberá realizarse a través del procesamiento de la información posteriormente.

#### Sistema Espacial de Coordenadas

Todos los cálculos para determinar la posición de los satélites y receptores están basados en un sistema cartesiano de coordenadas, fijo y referido al centro de masas de la Tierra (ECEF). El eje de las "Z" coincide con el eje polar de rotación de la Tierra. El eje de las "X" está a 90° del eje de las "Z" y se extiende en un plano a través del Meridiano de Greenwich. El eje de las "Y" está a 90° de ambos ejes "Z" y "X".

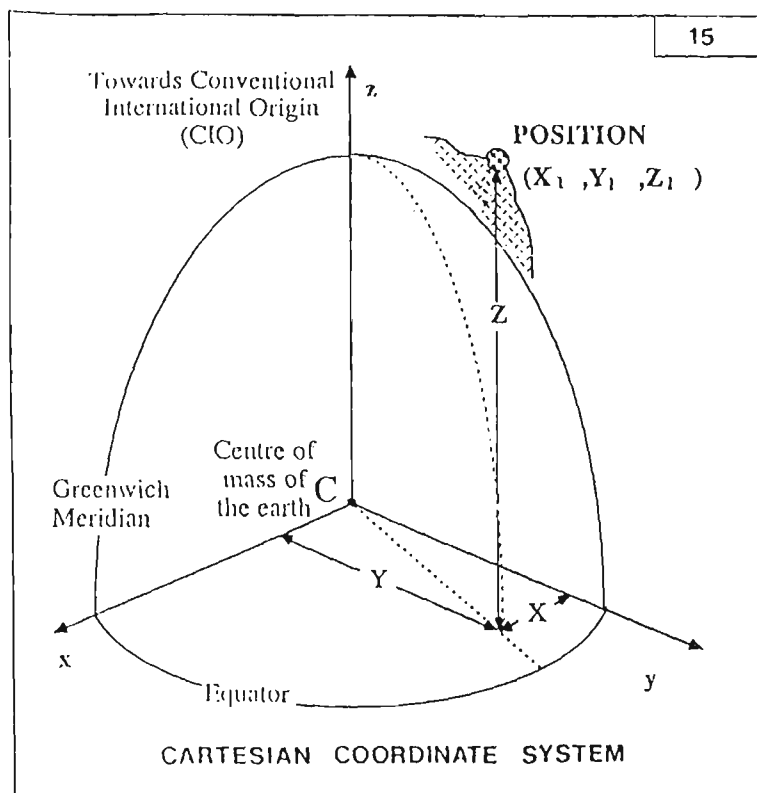


Figura 44.- Sistema de Coordenadas Cartesianas.

### El Elipsoide de Referencia

La superficie de la Tierra está representada matemáticamente por un elipsoide cuyos ejes mayor y menor pasan también por el centro de la tierra. Este elipsoide el cual se calculó para el sistema NAVSTAR, se llama Sistema Geodésico Mundial 1984 o simplemente WGS84. La posición de un receptor GPS puede ser descrita por sus coordenadas en X, Y, Z y después ser representada en Latitud, Longitud y Altitud con respecto al elipsoide de referencia.

### Cálculo de la Posición del Receptor

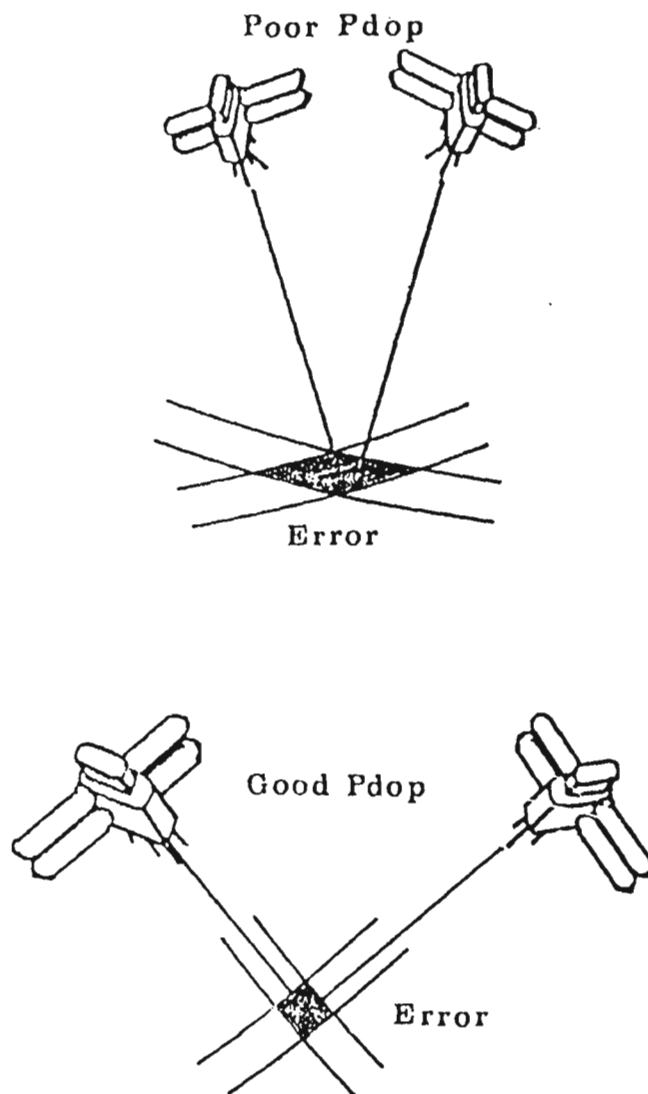
La medición de la pseudo-distancia es usada para localizar la posición del receptor en el espacio. Las medidas de tres satélites cuyas posiciones son conocidas desde datos de efemérides, pueden ser intersectadas para determinar sus coordenadas X, Y, Z. Un cuarto satélite es requerido para que el reloj del receptor pueda ser sincronizado con otros receptores y con el tiempo GPS. (Ver Figura 39 de la Página 41)

### Dilución de la Precisión

Puesto que las posiciones están determinadas por las intersecciones de pseudo-distancia desde los satélites, la geometría de la posición de los satélites puede diluir la precisión de la posición calculada en el receptor. Esto es conocido como Dilución de la Precisión (PDOP) Precision Dilution Of Precision. La mejor geometría posible de satélites se lograría al tener cada uno de los cuatro satélites a  $90^\circ$  uno del otro, de manera horizontal con respecto al receptor y, a  $45^\circ$  por arriba del horizonte. Si la geometría de los satélites es pobre o mala, el PDOP aumentará los errores en la medida de pseudo-distancia. Un PDOP bueno minimizará los errores. Los valores del PDOP de 5 y menores, se consideran buenos.

El PDOP se puede interpretar como el valor recíproco del volumen del tetraedro que forman los satélites y el observador.

Figura 45 Dilución de la Precisión en la Posición (PDOP)



## CAPITULO III

### LAS ORBITAS DE LOS SATELITES GPS

El sistema del GPS Navstar efectúa mediciones de distancias desde su antena y un número de satélites GPS.

Para combinar esas mediciones debe conocer las posiciones de los satélites, el receptor tiene la capacidad de determinar su propia posición. De la misma forma que la luna gira alrededor de la tierra y los planetas alrededor del sol, el ser humano fabricó satélites que giran en órbitas y que también están sujetos a la inexorable fuerza de atracción gravitacional. Para calcular la posición precisa de un satélite en su órbita en cualquier tiempo, la gravedad y otras pequeñas fuerzas que actúan sobre el satélite deben ser tomadas en cuenta con mucho cuidado. Mas adelante se describen las fuerzas que determinan la órbita de un satélite, se describirán sus características, y veremos como la información orbital es conducida al receptor GPS. Pero para entender las órbitas de los satélites, primero revisaremos un poco de la física que gobierna su comportamiento.

#### Leyes de Kepler

El 30 de septiembre de 1990, fueron detectados 6,681 objetos en órbita alrededor de la tierra, esto fué reportado por la Secretaría de Defensa del Espacio Aereo de los Estados Unidos de Norteamérica. Fueron incluidos 14 satélites Navstar GPS, número que después creció hasta 16, las órbitas de los satélites GPS, en compañía de diversos cientos de otros satélites funcionando y miles de piezas de escombros, están gobernadas por las leyes de movimiento orbital descubiertas por el astrónomo alemán Johannes Kepler en el siglo XVII.

De acuerdo con la historia de la astronomía, fué Pitágoras (530 a. de C.), filósofo de la antigua Grecia, quien dijo: <<el mundo es redondo y pende en el espacio>>. <<La Tierra - agregó- no está quieta, sino que gira en torno a un fuego central llamado Hestia. Este fuego no es el Sol, porque el Sol está iluminado, como los planetas, por reflexión desde Hestia.>>

Esta idea permaneció latente durante dos mil años antes de que Copérnico, a principios del siglo XVI, dijera: <<el Sol está fijo y la Tierra y los planetas giran en órbitas alrededor de él>>. Las pruebas por observación y matemáticas de que todos los planetas se mueven en órbitas elípticas fueron presentadas primero por Johannes Kepler, en 1609, cuando publicó su libro conteniendo dos de sus tres leyes del movimiento planetario.

Kepler creyó en la teoría de Copérnico; pero no se contentó con solo ser un creyente; el requirió poner a prueba el modelo de Copérnico. Para cada prueba él necesitó hacer observaciones precisas del movimiento y posición de los planetas, tales pruebas fueron siendo acumuladas por la experiencia del gran astrónomo Tycho Brahe, primero en su natal Dinamarca y subsecuentemente en Praga.

Kepler llegó a ser asistente de Tycho y, cuando Tycho falleció, adquirió (a despecho del reto que ocasionó la demanda de la viuda de Tycho) los libros que contenían todos los datos de las observaciones de Tycho.

Kepler intentó adecuar los datos del modelo de Copérnico. Él comenzó por trabajar primeramente en el movimiento de Marte porque los datos sobre Marte eran extensos y porque la complejidad de su movimiento, así observado desde la tierra, podría ser una prueba para cada modelo. Kepler tuvo una discrepancia de 8 segundos de arco en la posición de Marte cuando marcó su órbita usando el método de "círculos sobre círculos" del modelo de Copérnico (en este modelo teórico, se suponía que los planetas se desplazaban en pequeñas órbitas circulares alrededor del sol). Esto tomó a Kepler 8 años de estudio e intensa lucha con los libros y apuntes de Tycho antes que descubriera que la órbita que Marte describe es una

elipse y que el sol ocupa uno de los focos. Este descubrimiento fué la base para la **Primera Ley de Kepler** : Los planetas se mueven en órbitas elípticas con el sol en uno de sus focos.

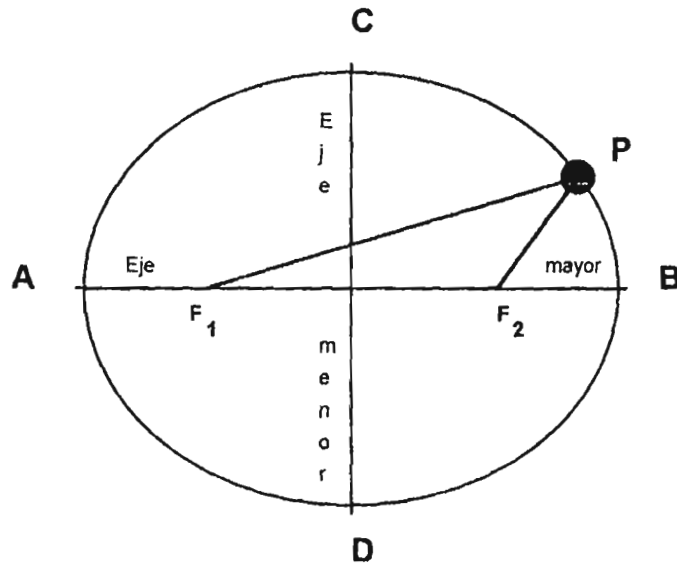


Figura 46.- Una elipse se puede dibujar con dos alfileres, una cuerda y un lápiz

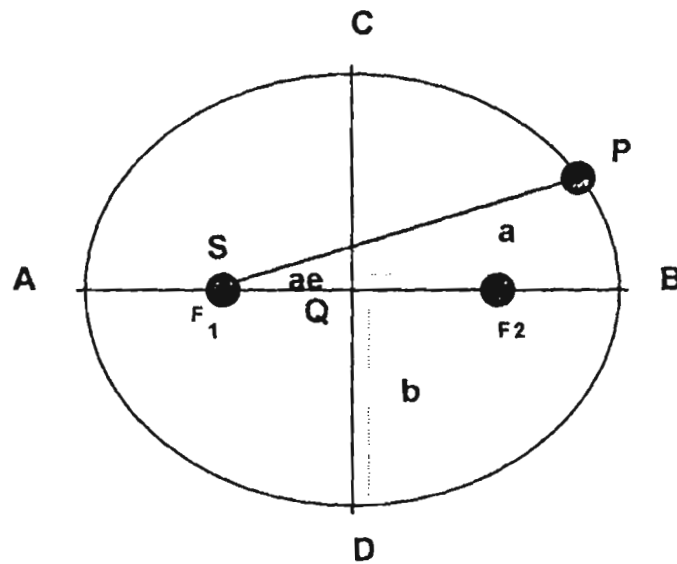


Figura 47.- Órbita elíptica con excentricidad  $e = 0.5$

En una elipse si la longitud de una cuerda permanece inalterada y los focos  $F_1$  y  $F_2$  se acercan más y más, el eje mayor  $AB$  y el eje menor  $CD$  serán más y más iguales, en el límite, cuando los focos coinciden, los ejes son iguales y la elipse se vuelve un círculo. Las verdaderas órbitas de los planetas son así tan circulares, que si se dibujaran con un compás diferirían del círculo en menos de lo que corresponde al grosor de la línea.

La excentricidad  $e$  de una elipse ( véase la Figura 47 ) está definida como la relación entre las distancias  $SQ$  y  $AQ$ :

$$e = SQ / AQ$$

Donde  $AQ$  es el semieje mayor  $a$ , y  $SQ$  es igual a  $ae$ . Con el sol en uno de los focos, la distancia más corta  $AS$  es el perigeo, y la distancia mayor  $BS$ , es el apogeo.

Un pequeño estudio de la figura permite encontrar que:

$$\text{apogeo} = a(1 + e)$$

$$\text{perigeo} = a(1 - e)$$

$$b = a(1 - e^2)^{1/2}$$

donde  $b$  es el semieje menor,  $DQ$ .

Estas ecuaciones se obtienen fácilmente ya que si las líneas trazadas desde  $F1$  y  $F2$  al punto  $D$ , la distancia  $F1D + F2D$  iguala la longitud del eje mayor  $2a$  y estas dos líneas forman triángulos rectángulos con  $a$  como hipotenusa de cada uno de ellos.

En el desarrollo de su análisis, Kepler descubrió otra importante ley que gobierna al movimiento de los planetas: **La línea que une al sol con cualquiera de los planetas describe áreas iguales en intervalos iguales de tiempo. Esta es la segunda Ley de Kepler.**

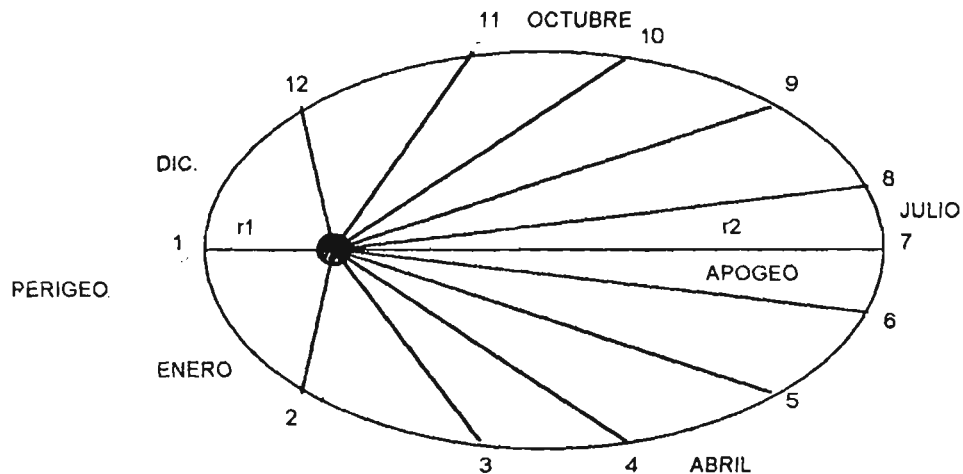


Figura 48.- Órbita elíptica de un planeta o satélite, que muestra las áreas iguales barridas por el vector radial en iguales intervalos de tiempo.

Como se indica en la Figura 48 la recta referida se llama radio vector; varía en longitud desde un mínimo en el perigeo, a un máximo en el apogeo. Aun cuando la órbita de la tierra es casi circular, los números 1, 2, 3, 4, etc., corresponden a las posiciones de la tierra al terminar cada uno de los doce meses iguales.

Para cubrir estas distancias orbitales desiguales en intervalos iguales de tiempo, la velocidad será máxima en el perigeo y mínima, seis meses después, en el apogeo. Durante el período de 1 a 2 o de 7 a 8, por ejemplo, las áreas descritas son iguales

Cuando la tierra se mueve a lo largo de su órbita en septiembre, octubre, noviembre, etc., la fuerza de atracción del sol causa que la velocidad aumente.

Alcanzando el perigeo, al final de diciembre, su velocidad es máxima y demasiado rápida para permanecer a esta distancia  $r_1$  del sol. Durante los meses de marzo, abril, mayo, etc., la tierra se va alejando del sol, y la fuerza de atracción del sol reduce la velocidad terrestre.

Al cesar el apogeo, al final de junio, la velocidad de la tierra es mínima, demasiado lenta para mantenerse a una distancia mayor  $r_2$  del sol. La distancia media desde el sol es de 149, 680, 000 Km, mientras que el promedio de la velocidad orbital de la tierra es de 29.8 Km/seg.

Las dos leyes, específicamente la que, se refiere a Marte, fueron publicadas por Kepler en 1609 en su libro Astronomía Nova.

En 1618, Kepler anunció que estas dos leyes también gobernaban el movimiento de los planetas, a la luna de la tierra y a las cuatro lunas recién descubiertas de Júpiter.

Un año más tarde en un libro titulado Harmonices Mundi, o The Harmony of the World. Kepler publicó triunfante su Tercera Ley: **Los cuadrados de los períodos orbitales de los planetas son proporcionales a los cubos de las distancias medias desde el sol.**

El período  $T$ , de un planeta o satélite, se define como el tiempo requerido para dar una vuelta completa alrededor de su órbita; la distancia media  $r$ , se define como el promedio de las distancias desde el sol. En la tabla 2 se dan datos importantes de los planetas del sistema solar. Las relaciones constantes en la columna cinco comprueban la tercera ley de Kepler.

Tabla 2.- Características medidas de los planetas

Nombre	Período T (años)	Distancia Media (millas X $10^6$ )	Radio Medio (millas)	$T^2/r^3$	Masa (Kg X $10^{24}$ )
Mercurio	0.241	36.0	1504.3	1.245	0.3244
Venus	0.615	67.1	3828.2	1.252	4.861
Tierra	1.000	92.9	3958.9	1.247	5.975
Marte	1.881	141.5	2070.5	1.249	0.6387
Júpiter	11.862	483.3	43429.0	1.246	1921.1
Saturno	29.458	886.1	35748.5	1.247	569.4
Urano	84.015	1783.0	14727.0	1.245	87.1
Neptuno	164.790	2793.0	13381.0	1.246	103.1
Plutón	247.700	3665.0	1781.4	1.246	0.5?



Aunque las leyes de Kepler, originalmente, fueron derivadas de las cuidadosas observaciones de Tycho Brahe, ellas se deducen de las leyes básicas de la mecánica clásica.

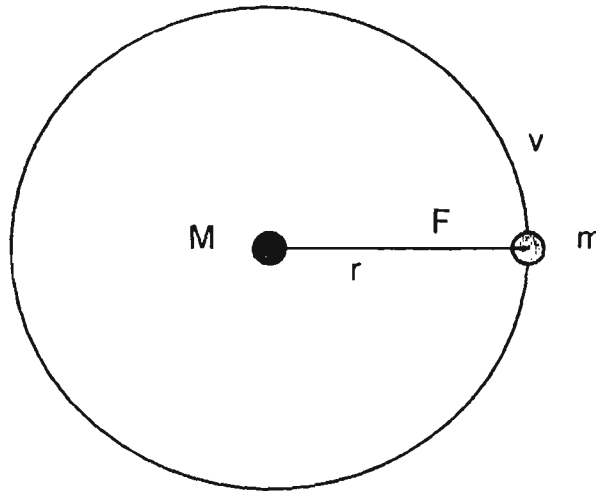


Figura 49.- La fuerza gravitatoria de atracción  $F$  es la fuerza centrípeta que mantiene a la Tierra en su órbita casi circular alrededor del Sol.

Por simplicidad, asumimos que la órbita de la tierra es circular, como se muestra en la figura anterior. En este diagrama,  $M$  es la masa del sol,  $m$  es la masa de un planeta como la tierra, y  $r$  es la distancia entre sus centros. La fuerza centrípeta  $F = m (V^2 / r)$  y la Ley de Newton de la Gravitación Universal  $F = G (Mm / r^2)$ , donde  $G = 6.6732 \times 10^{-11} (m^3 / Kg s^2)$ .

Puesto que estas dos ecuaciones son expresiones diferentes de la misma fuerza  $F$ , se pueden igualar sus segundos miembros, y tenemos:

$$G (Mm / r^2) = m(v^2 / r)$$

Simplificando esta ecuación, tendremos :

$$GM / r = v^2$$

La velocidad de un planeta o de un satélite viene dada, por lo tanto, por la simple relación:

$$v = (GM / r)^{1/2}$$

**velocidad orbital**

En Mecánica, la velocidad de un cuerpo está dada por  $v = x/t$ . Si escogemos la distancia  $x$  para dar una vuelta a la órbita, el tiempo  $t$  se convierte en el periodo  $T$  y obtenemos:

$$v = 2\pi r / T$$

Elevando al cuadrado ambos miembros de esta ecuación y la anterior podemos escribir.

$$Gm / R = (4 p^2 r^2 / T^2)$$

O bien :

$$T^2 = (4p^2 / GM) r^3$$

Puesto que todas las cantidades dentro del paréntesis son constantes,  $T^2$  a  $r^3$ , y la tercera ley de Kepler es compatible con las leyes de la Mecánica Clásica.

Como mostró Newton, medio siglo mas tarde, que las leyes de Kepler pudieron ser planteadas sobre una firme base científica y que ellas fueron en realidad derivadas de su teoría de gravitación universal.

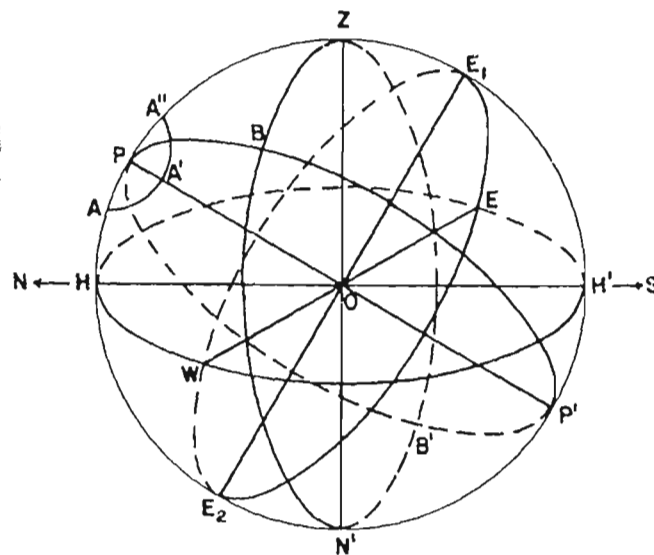
Newton también supuso que, dando la correcta velocidad inicial, a un proyectil disparado desde la tierra, este entraría en órbita alrededor de ella. Mewton predijo con esto que para poner en órbita un satélite artificial, se debería alcanzar una velocidad inicial adecuada para lograrlo, anticipandose con esto 200 años al primer lanzamiento de un satélite artificial.

### ORIENTACION ASTRONOMICA

A causa del movimiento de rotación de la tierra alrededor de su eje, se puede ver que las estrellas parecen girar de oriente a poniente, como si estuviesen en una esfera animada de su movimiento de rotación alrededor de su eje. Esta esfera ideal, móvil de radio infinito, en cuya superficie parecen estar fijos el sol y las estrellas, se denomina esfera celeste y su centro coincide con el de la tierra supuesta fija.

El movimiento aparente de la esfera celeste es continuo y la rotación se realiza en un día, razón por la cual se le llama movimiento diurno. Los problemas que se presentan en astronomía práctica se pueden resolver suponiendo que el movimiento de la esfera celeste es real.

Figura 50 Principales Elementos en la Esfera Celeste



Definición de los principales elementos que hay que considerar en la esfera celeste.

O - La Tierra	PP' - eje del mundo
Z - zenit	HH' - meridiana
N' - nadir	N - punto cardinal Norte
EHWH' - plano del horizonte	S - punto cardinal Sur
ZPN'P' - meridiano celeste	E - punto cardinal Este
E <sub>1</sub> WE <sub>2</sub> E - ecuador celeste	W - punto cardinal Oeste
P'B'P'B' - círculo horario	AA'A'' - círculo de declinación
BN'B' - plano vertical	PP' - polos celestes

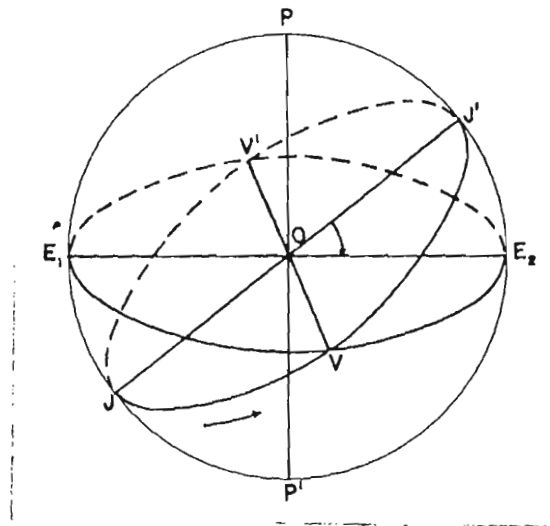


Figura 51.- Principales Elementos en la Esfera Celeste (complemento)

E <sub>1</sub> VE <sub>2</sub> V' - ecuador celeste	JVJ'V' - plano de la eclíptica
VV' - línea de los equinoccios	V - equinoccio de primavera o punto vernal
V' - equinoccio de otoño	J' - solsticio de verano
J - solsticio de invierno	

ZENIT es la intersección de la vertical del observador prolongada hasta la bóveda celeste.

NADIR es el punto diametralmente opuesto.

EJE DEL MUNDO es la línea imaginaria que une los polos celestes y alrededor de la cual parece girar la esfera celeste.

PLANO DEL HORIZONTE es el plano perpendicular a la vertical y que divide a la esfera celeste en dos partes iguales.

MERIDIANO CELESTE del observador es el círculo máximo que pasa por los polos celestes y por el zenit del observador.

ECUADOR CELESTE es el círculo máximo perpendicular al eje del mundo.

**CIRCULO HORARIO** es el círculo que divide a la esfera celeste en dos partes iguales y contiene al eje del mundo.

**ANGULO HORARIO** de un astro es el ángulo diedro que forma el círculo horario del mismo, astro, con el meridiano del lugar.- Se mide hacia el oeste de 0 a 24 horas o de 0° a 360°.- Su arista es el eje polar.

**CIRCULO DE DECLINACION** es todo círculo menor, paralelo al ecuador, que representa la órbita circular aparente que describe un astro que se encuentra sobre él.

**MERIDIANA** es la línea en que se cortan los planos del meridiano y del horizonte.

**PLANO DE LA ECLIPTICA** es el que contiene la órbita de la Tierra en su movimiento anual alrededor del sol.

**LINEA DE LOS EQUINOCCIOS** es la intersección del plano de la eclíptica con el ecuador. Sus extremos son el punto vernal (punto  $\gamma$  o equinoccio de primavera) y el opuesto al equinoccio de otoño.

**PUNTO VERNAL O PUNTO  $\gamma$**  es el punto en el que el centro del Sol coincide con el ecuador al pasar del hemisferio Sur al hemisferio Norte. Es un punto fijo en la esfera celeste y se mueve con dicha esfera en la misma forma que las estrellas.

**POLOS CELESTES** son los extremos del eje de rotación del mundo y reciben el nombre de polos Norte y Sur.

**PRIMER VERTICAL** es el plano vertical normal al meridiano.

**PUNTOS SOLSTICIALES O SOLSTICIOS** son los puntos en que el centro del Sol se halla en uno de los trópicos.

## **COORDENADAS CELESTES**

### **Sistemas de coordenadas.**

Los sistemas de coordenadas empleados para fijar la posición de un astro en la esfera celeste, tienen las características siguientes:

- 1a. Un punto origen que es el centro de la Tierra.
- 2a. Un plano fundamental.
- 3a. Un radio vector y
- 4a. Una de las coordenadas se mide a partir de una dirección fija del plano fundamental hacia 360°, y la otra, a uno y otro lado del plano fundamental, de 0° a 90°.

Se consideran dos sistemas de coordenadas: el horizontal y el ecuatorial.

### **Sistema horizontal.**

El plano fundamental de este sistema es el plano del horizonte y el radio vector es la meridiana.

Puede localizarse un astro en la esfera celeste, refiriendo su posición al plano del horizonte y al meridiano del observador, por medio de dos coordenadas denominadas coordenadas horizontales: azimut y altura. (Fig.52)

AZIMUT del astro es el ángulo diedro que forma el plano vertical del astro con el meridiano. Se designa por Az y se mide convencionalmente desde el Norte, en el sentido retrógrado. Su valor varía entre 0° y 360°.

El ángulo complementario de la altura se llama DISTANCIA ZENITAL y se representa por z, de manera que se tiene:

$$a + z = 90^\circ$$

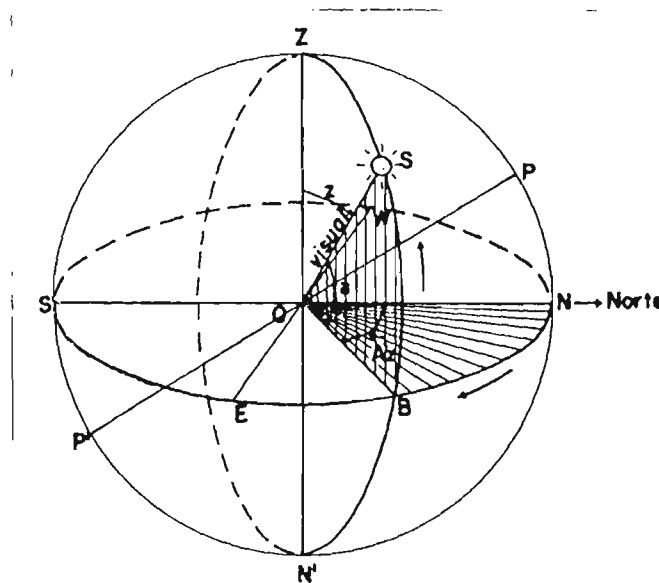


Figura 52.- Coordenadas Horizontales: Azimut y altura.

PP' - eje del mundo

NS - meridiana

Las coordenadas horizontales del astro S son:

**AZIMUT: Az = Angulo NOB**

**ALTURA: a = Angulo SOB**

se debe tener presente que a todas las mediciones de altura, se debe hacerles la corrección por refracción, restandola a las alturas medidas.

Debido al movimiento de la esfera celeste para un lugar determinado las coordenadas horizontales varían con la hora de observación, por tanto, se tiene que recurrir a otro elemento que es el tiempo. Entonces, se fija la posición de un astro diciendo que tiene un azimut "Az" y una altura "a", a las "t" horas.

#### Sistema Ecuatorial

En este sistema el plano fundamental es el plano del ecuador, el radio vector es la línea de los equinoccios y el origen de coordenadas es el punto vernal o punto  $\gamma$ .

Para localizar un punto en la esfera celeste hay dos coordenadas llamadas ecuatoriales porque se refieren al plano del ecuador. Son la ascensión recta y la declinación, análoga a las coordenadas terrestres longitud y latitud ( Fig.53 ).

ASCENSION RECTA es el ángulo diedro que forma el semicírculo horario PSCP' del astro S con el semicírculo horario del punto vernal. La ascensión recta se representa por  $\alpha$  , tiene como origen el punto  $\gamma$  y se mide de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , o de 0 a 24 horas, hacia el Oriente.

DECLINACION del astro es el ángulo que forma la visual al astro con el plano del ecuador.- La declinación, medida por el arco CS, se designa por  $\delta$  y se mide en el círculo horario del astro, del ecuador hacia el polo, de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . El ángulo POS, complementario de la declinación se denomina DISTANCIA POLAR o CODECLINACION y se representa por  $\rho$ , luego:

$$\delta + \rho = 90^\circ$$

PP' = eje del mundo,  $\gamma$  = punto vernal

Las coordenadas ecuatoriales del astro S, son:

**Ascensión recta :  $\alpha$  = Angulo  $\gamma$ OC**

**Declinación :  $\delta$  = Angulo SOC**

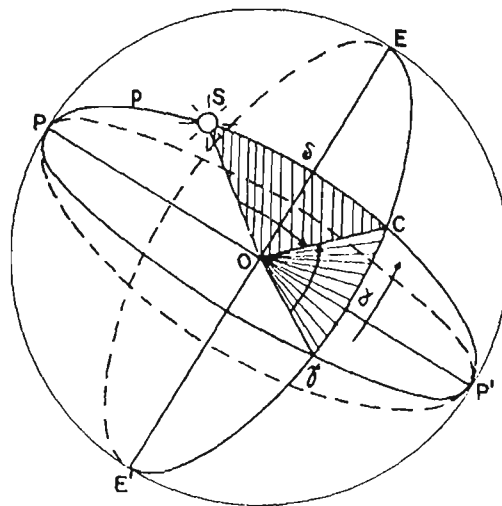


Figura 53.- Coordenadas Ecuatoriales

## LOS ELEMENTOS KEPLERIANOS

Las leyes de Kepler nos dicen que la senda de un satélite orbitando alrededor de la Tierra es una elipse con uno de sus puntos focales coincidiendo con el centro de masas de la Tierra. Conociendo la posición y velocidad de un satélite en cualquier tiempo, podemos hacer uso de estas leyes para predecir la futura posición del satélite. Sin embargo, una alternativa para otros frecuentes usos del modo de representar la órbita de un satélite es usar las seis llamados así elementos Keplerianos.

Dos de estos elementos,  $a$ , el semieje mayor, y  $e$ , la excentricidad, dan el tamaño y la forma de la elipse orbital.

El semieje mayor es un medio del eje mayor de la elipse. La excentricidad es una medida de su achatamiento y su valor varía entre cero y uno. Un círculo tiene una excentricidad de cero.

La orientación de la órbita en el espacio con respecto a las "estrellas fijas" es dado por otros tres parámetros;  $i$ , la inclinación, la cual está formada por el plano de la órbita y el ecuador terrestre (el vértice de este ángulo coincide con el centro de la tierra);  $\Omega$ , la ascensión recta del nodo de ascensión, el cual es el ángulo medido entre el plano ecuatorial de la tierra y una dirección de referencia en el espacio llamado el primer punto de aries o equinoccio vernal. (El cual coincide con la posición del sol en el instante en que la primavera da inicio en el hemisferio norte) y el nodo de ascensión, el punto sobre la órbita del satélite donde el satélite cruza el plano del ecuador, moviéndose desde abajo del plano ecuatorial hacia arriba; y  $\omega$ , el argumento del perigeo, el que es el ángulo medido en el plano de la órbita entre el nodo de ascensión y el perigeo, el punto de la órbita que contiene al centro de la Tierra.

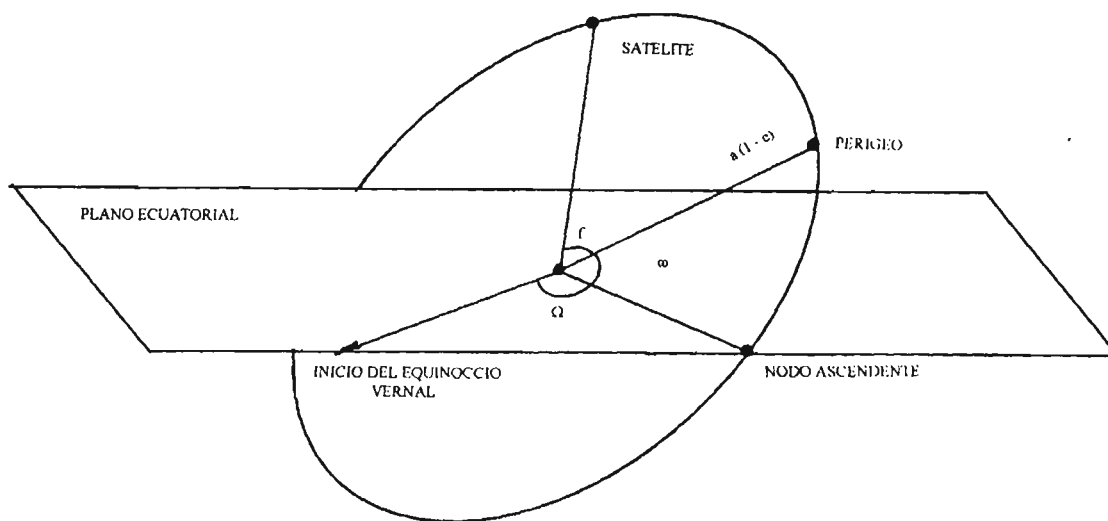


Figura 54.- Las Efemérides de Una Órbita Kepleriana.

Las órbitas de los satélites GPS están referidas al Sistema Ecuatorial de Coordenadas. Analizando geoméricamente estas órbitas, la figura nos muestra que la distancia desde el centro de la Tierra al perigeo es dada por:  $a(1 - e)$ . Siendo  $a$  = al semieje mayor y  $e$  = a la excentricidad.

Atendiendo a lo que se dijo acerca del sistema de coordenadas ecuatoriales, con estos elementos se puede saber en donde se encuentra un satélite GPS en determinado tiempo.

La posición instantánea del satélite dentro de su órbita se describe por una cantidad angular conocida por anomalía y se referencia a un tiempo llamado época.

Las anomalías de la órbita de Kepler son:

$M(t)$  = Anomalía media la cual es abstracta.

$E(t)$  = Anomalía excéntrica.

$v(t)$  = Anomalía verdadera.

Las tres anomalías están relacionadas por las fórmulas:

En donde:

$$M(t) = n(t - T_0)$$

$T_0$  = Época, tiempo de paso del satélite por el perigeo.

$$E(t) = M(t) + e \sin E(t)$$

$n$  = Velocidad media del satélite.

$t$  = Período orbital.

$$v(t) = 2 \arctan \left( \frac{(1+e)}{(1-e)} \right)^{1/2} \tan \left( \frac{E(t)}{2} \right)$$

La anomalía es el ángulo medido entre el perigeo y el satélite. Conociendo la magnitud de la "anomalía" en un tiempo determinado, la magnitud del semieje mayor y la excentricidad de la elipse orbital, se puede calcular la distancia del satélite al punto focal -el radio orbital.

La suma de la anomalía y del perigeo nos dá la posición del satélite sobre su órbita con respecto al nodo de ascensión. Esta medida es llamada el argumento de latitud y es usada, por ejemplo, en el cálculo que un receptor GPS realiza para establecer la posición de un satélite.

Alternativamente, la anomalía principal puede ser especificada. Siendo esta el ángulo entre el perigeo y un satélite ficticio con el mismo período orbital que el satélite real pero moviéndose a una velocidad constante. Esta velocidad constante es llamada el movimiento principal del satélite. Conociendo una especie de anomalía, la otra puede ser fácilmente calculada. (El uso del concepto anomalía para describir los ángulos en las órbitas se debe a que así las nombraron los primeros astrónomos porque consideraban las órbitas planetarias como si fueran circulares).

## PERTURBACIONES DE LA ORBITA

Sabemos ahora como las leyes de Kepler describen completamente el movimiento de los satélites, pero solamente si estos estan en órbita alrededor de un cuerpo que tenga un "perfecto" ( o esféricamente simétrico) campo gravitacional, llamado campo central. El campo gravitacional de la Tierra es no central y, de hecho, es demasiado complejo. Esta complejidad es a consecuencia de sus polos magnéticos y de su propio achatamiento. El radio ecuatorial de la Tierra es aproximadamente 20 Km mas largo que el el radio polar. Este ensanchamiento ecuatorial, conjuntamente con otros componentes del campo gravitacional de la Tierra, es lo que perturba las órbitas de los satélites. Esto significa que los elementos Keplerianos, en general, cambiarán con el tiempo.



Otras fuerzas también actúan sobre un satélite cambiando su órbita. Las órbitas consideradas bajas son significativamente afectadas por la atmósfera terrestre. Aunque la atmósfera se hace más y más tenue a una altura de varios centenares de kilómetros, la atmósfera actúa desacelerando al satélite. La desaceleración da como resultado que la órbita decaiga hasta, que eventualmente, el satélite salga de su órbita y se incendie al entrar a la baja atmósfera. Esto ocurre cuando el satélite cae a una altitud cercana a los 120 kilómetros, la que corresponde a un período orbital de 87 minutos. Aunque todos los satélites experimentan la fuerza de retardo de la atmósfera, o su arrastre, sus efectos sobre satélites en órbitas que se consideran altas, como las de la constelación GPS es insignificante.

Otra perturbación que afecta las órbitas de los satélites es la presión de la radiación solar (viento solar). Los fotones que provienen de la luz solar ejercen durante un instante una fuerza sobre el satélite cuando colisionan con él. Un fotón puede ser absorbido o rebotado en la colisión y transferir un momento de fuerza al satélite. El efecto de esta fuerza depende de la cantidad o incidencia de radiación y la masa y forma del satélite. El efecto sobre satélites ligeros y grandes es mayor que en los pequeños y pesados. Aunque la fuerza es pequeña comparada a la del campo de gravitación central, sus efectos acumulados con el tiempo gradualmente cambian la órbita del satélite.

Algunas otras fuerzas afectan la órbita del satélite incluyendo los campos gravitacionales del sol y de la luna, el campo magnético de la Tierra, y los pequeños cambios del mismo que producen las mareas.

Por supuesto, las órbitas de los satélites pueden ser también deliberadamente cambiadas y controladas a través de descargas de cohetes. Maquinarias muy grandes son empleadas para colocar al satélite dentro de la órbita deseada y pequeñas máquinas, llamadas impulsores de control a reacción, son usadas para efectuar pequeños ajustes a una órbita. Los impulsores pueden ser usados para contrarrestar los efectos de las fuerzas de perturbación y con eso mantener un satélite en una órbita particular.

Un dispositivo que envuelve a los impulsores de descarga es el llamado DELTA - V el que se encarga de ocasionar un cambio en la velocidad del satélite. Un número de satélites GPS que recientemente se les aplicó este dispositivo el cual es usado para cambiar la posición relativa del satélite dentro de su plano orbital este procedimiento es conocido como "Rephasing". Rectificación. La rectificación de la posición da al satélite una mejor cobertura operacional de la constelación completa.

Cada satélite GPS está orientado en el espacio así que su antena transmisora siempre apunta en dirección hacia la Tierra. Esto requiere que el satélite dé una vuelta de rotación por una de translación sobre un eje perpendicular al plano de su órbita. Sin embargo, las fuerzas de torsión que causan perturbaciones en la órbita, y las cuales se han mencionado ya, dan como resultado movimientos adicionales que afectan el centro de masas del satélite y cambie la posición de la antena la que debe apuntar siempre en dirección a la Tierra.

Para controlar esta orientación, cada satélite cuenta con cuatro volantes de reacción, comunmente conocidos como volantes flotantes. Estos volantes flotantes son usados conjuntamente con los impulsores y con una serie de bobinas magnéticas que interactúan con el campo magnético de la Tierra. Compensando la torsión que es generada por los volantes flotantes. Cuando los volantes alcanzan su máxima velocidad, ellos deben ser ayudados por el disparo de los impulsores, o activar las bobinas magnéticas en un procedimiento conocido por "momentum dump" descarga de momentum.

## LANZAMIENTO DE SATELITES GPS.

El prototipo o Bloque I, de satélites GPS fué lanzado desde la Base de la Fuerza Aérea de **Valdemburg Cal.**, usando cohetes Atlas F. Los 10 satélites fueron colocados en órbitas nominales circulares con un semieje mayor de cerca de 26,560 Km. Los satélites fueron posicionados en dos planos orbitales con inclinación aproximada de 64°, con respecto al ecuador terrestre, para proveer la máxima cobertura para la principal área militar experimental para GPS, la Yuma Proving Grounds en Arizona.

Aún cuando el block I de satélites fué puesto en órbita utilizando un costoso vehículo de lanzamiento, el lanzamiento del Block II de satélites, fué efectuado por un sistema que permitió poner en órbita 3 satélites a un mismo tiempo, usando el sistema del transbordador espacial -El Space Shuttle. Pero después del accidente del Challenger, la decisión fué hacer uso del costoso vehículo de lanzamiento y un nuevo cohete, el Delta II, el cual fué desarrollado para este propósito. Este segundo block fué lanzado desde Cabo Cañaveral, sitio cercano al Centro Espacial Kennedy.

Los satélites logran su órbita final por etapas. La primera y segunda etapas del cohete conjuntamente con sus 9 generadores de combustible sólido, son los encargados de colocar a la tercera etapa y al satélite en una órbita elíptica con un perigeo de cerca de 180 Km. y un apogeo de cerca de 870 Km. La 3/a. etapa del cohete, llamada Payload Assist Module (PAM), es entonces usada para incrementar el apogeo de la órbita y así con esto llegue a la altura deseada, siendo su órbita final cercana a los 20,200 Km., contada desde la superficie terrestre.

Es aquí donde, el satélite alcanza su punto más alto de la órbita, llamada órbita de transferencia. El PAM es activado y el mecanismo de inserción del satélite es encendido para colocar al satélite dentro de su órbita final aproximada. Posteriormente pequeños ajustes son efectuados usando los impulsores del propio satélite (Las órbitas son movimientos circulares la mayor excentricidad es cerca de 0.01 con un semieje mayor aproximado de 26,560 Km. y una inclinación de cerca de 55° con respecto al ecuador terrestre). Esto dá como resultado que un período orbital de los satélites se cumple un momento antes de la mitad de un día sideral (el que es aproximadamente 4 minutos mas corto que un día solar).

Con el objeto de lograr una cobertura durante las 24 horas del día, 4 satélites están posicionados en cada uno de los seis planos orbitales, nombradas plano A, B, C, D, E, F. La ascensión recta del nodo ascendente de las órbitas de los planos adyacentes están separada 60°. Este arreglo de la constelación de satélites es para que dé como resultado que al menos seis satélites sean "visibles" desde cualquier punto de la tierra en cualquier tiempo. (Ver Figura 34, de la Página 37)

## DATOS DE LA ORBITA

Con la finalidad de que el receptor GPS calcule su posición real en cualquier tiempo, se debe conocer primero la posición de cada uno de los satélites. Estas posiciones son establecidas por el Sistema de Control Operacional (OCS), por sus siglas en Inglés, y proveen mensajes de radio para la navegación desde los satélites. El OCS, el que es operado por la Comandancia de la Fuerza Aérea y del Espacio, incluye 5 estaciones rastreadoras, colocadas a lo largo del globo terráqueo. Como ya se dijo anteriormente, tres de estas estaciones están colocadas en pequeñas islas y se usaron primordialmente para propósitos militares: Isla Ascención, Diego García y Kwajalein. Las otras dos estaciones están en Hawaii y Colorado Springs, Colorado; esta última también actúa como Estación de Control Maestro (MCS).

(Otra MCS (Master Control System) ) de respaldo está localizada en la Base Aérea de ONIZUKA en Sunnyvale, California.

La MCS recoge los datos del pseudorange y la fase portadora desde las estaciones de seguimiento y, con sofisticados programas (modelos de software), predicen las órbitas de los satélites.

Una órbita calculada, llamada una efeméride, es cargada al satélite correspondiente usando los medios de seguimiento de las estaciones de Ascensión, Diego García, o Kwajalein y subsecuentemente transmitidas por los satélites.

La OCS calcula sus órbitas por los adecuados elementos Keplerianos de los datos de seguimiento junto con algunos parámetros adicionales entre los que se cuentan las perturbaciones de las órbitas.

Los 16 parámetros de las efemérides que se transmiten se enlistan en la siguiente tabla, también se ilustran en la Figura 55.

$(a)^{1/2}$	Raíz cuadrada del semieje mayor
$e$	Excentricidad
$i_0$	Inclinación del ángulo de referencia con respecto al tiempo
$\Omega_0$	Longitud del nodo ascendente y comienzo de la semana GPS
$\omega$	Argumento del perigeo
$M_0$	Anomalia principal y tiempo de referencia
$\Delta n$	Corrección del movimiento principal calculado usando $(a)^{1/2}$
$i\text{-dot}$	La proporción de cambio de la inclinación con respecto al tiempo
$\Omega\text{-dot}$	La proporción de cambio de la ascensión recta del nodo de ascensión con respecto al tiempo
$C_{uc}$ ' $C_{us}$	Amplitud de corrección por concepto del cálculo del argumento de latitud
$C_{rc}$ ' $C_{rs}$	Amplitud de corrección por concepto del cálculo del radio de la órbita
$C_{ic}$ ' $C_{is}$	Amplitud de corrección por concepto del cálculo del ángulo de inclinación
$t_{oe}$	Efemérides

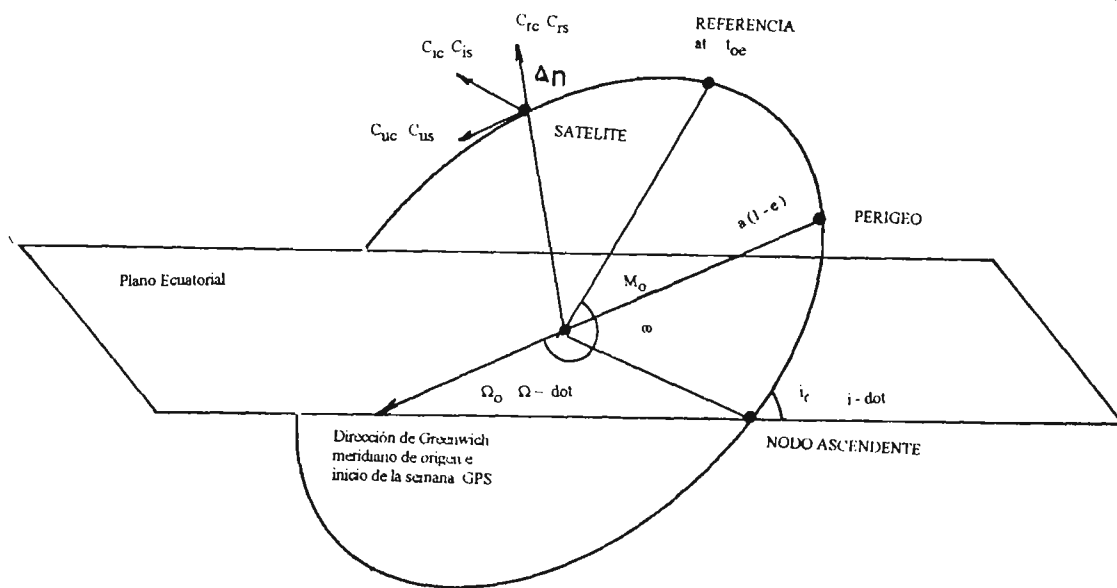


Figura 55.- Los Parámetros de las Efemérides del GPS.

La raíz cuadrada del semieje mayor es usada para el cálculo de la aceleración del receptor GPS y la posición del satélite.

También la longitud del nodo de ascensión se prefiere al uso de la ascensión recta en la transmisión de la señal.

Los tres parámetros  $\Delta n$ ,  $i\text{-dot}$  y  $\Omega\text{-dot}$  cuentan para los cambios lineales en la órbita a través del tiempo.

Las 6 variables C son los límites de corrección de las amplitudes sinusoidales.

El receptor GPS toma los parámetros de las efemérides y calcula las coordenadas del satélite referidas al centro de la Tierra, llamados en Inglés (ECEF) "Earth-Centered, Earth Fixed Coordinate System". Los detalles de estos cálculos han sido cuidadosamente publicados por los diseñadores del Sistema GPS. El particular Sistema ECEF usado para el GPS es el Sistema Geodésico Mundial 1984 (World Geodetic System 1984) (WGS 84) de la Defense Mapping Agency (DMA). Sistema realizado por los Estados Unidos de Norteamérica para todo propósito, la estructura de referencia del WGS 84 y el nuevo Dátum Norteamericano de 1983 (NAD 83) son idénticos.

Un nuevo ajuste de parámetros orbitales es calculado cada hora en períodos de cuatro horas. Un satélite GPS transmite su propia serie particular de parámetros durante un intervalo de una hora.

Nuevos datos orbitales son cargados a los satélites 3 veces al día. El nuevo Block II inicial de satélites puede almacenar los mensajes de navegación por 14 días y por lo tanto tienen un cierto grado de autonomía de la OCS. Esta capacidad de autonomía ha sido ampliada a 180 días en el Block II A de satélites.

La transmisión de efemérides es calculada con suficiente precisión para garantizar el diseño de levantamientos planimétricos. Esta precisión es manejada por el Servicio de Posicionamiento de Precisión (PPS), este servicio estuvo primeramente autorizado para propósitos militares únicamente. Actualmente la precisión de transmisión de las efemérides puede ser cambiada deliberadamente, esto se hace como un mecanismo de seguridad para evitar que manos enemigas atenten en contra de un satélite derrivándolo al conocer su posición exacta, este es uno de los mecanismos implementados por la política de selección de disponibilidad (SA) "Selective Availavility" por el servicio regular de posicionamiento (SPS) disponible para usuarios civiles (Standard Positioning Service).

Los usuarios del PPS tendrán acceso a las órbitas precisas de los satélites a través de un proceso de decodificación. Los usuarios civiles tendrán que contentarse con la baja precisión del SPS a menos que usen la técnica diferencial de posicionamiento relativo. Pero el posicionamiento diferencial está lejos de ser sensitivo a los errores de la órbita y de la posición del satélite. Por lo que, para algunas aplicaciones las efemérides transmitidas en sí mismas no son lo suficientemente exactas. Para levantamientos geodésicos, deslindes o para llevar acabo estudios de la configuración terrestre y ejecutar trabajos estructurales de importancia se requieren órbitas con la mas alta precisión posible. Tales levantamientos deben llevarse a cabo usando el modo de posicionamiento diferencial con el apoyo de una red de estaciones fijas (México cuenta con la Red Geodésica Nacional Activa, de la cual se hablará mas adelante). Cada receptor graba la fase de las señales portadoras del GPS para subsecuente análisis. Porque los datos no han sido recibidos en su tiempo real, los analistas de datos se dan el lujo de post calcular las efemérides tan precisas como las órbitas pronosticadas transmitidas en el mensaje de navegación del satélite. Estas efemérides son calculadas usando datos de una red de seguimiento ligando el mismo intervalo de tiempo a aquel de la medición que se está efectuando.

La DMA opera una red global de 5 estaciones con el propósito de calcular las efemérides precisas. Los datos de estas estaciones son combinados con los de las otras 5 estaciones OCS para tener como resultado las órbitas precisas. La mayor de estas redes es la Cooperation International GPS Network (CIGNET). Esta red global consta de aproximadamente 20 estaciones mantenidas por varias agencias nacionales. La información es transmitida y concentrada al centro de datos CIGNET, la que se encuentra en Rockville, Maryland, donde es archivada y se tiene en disponibilidad para el cálculo e investigación de las órbitas de los satélites GPS. Ver Figuras 32 y 33 de la Página 36.

Además de sus efemérides, cada satélite transmite información aproximada de su órbita para todos los otros satélites que forman la constelación GPS. Esto es conocido como el almanaque, esta información puede ser usada por un receptor GPS para determinar la ubicación de cada satélite así que se puede recibir rápidamente las señales de los satélites que se encuentran sobre el horizonte. El almanaque consta de valores para calcular el movimiento Kepleriano de los satélites y solamente lo mas significativo de los límites de corrección es proporcionado -el cambio de la ascensión recta del nodo de ascensión con respecto al tiempo. El almanaque puede ser usado con varias herramientas de software para planear las observaciones (MISSION PLANNING) prediciendo la disponibilidad de los satélites en un lugar y a un determinado tiempo conocido. El almanaque es renovado por la OCS cada seis días.

#### NOTA :

Le hemos dado un vistazo a las órbitas de los satélites GPS, hemos visto también como pueden representarse y hemos revisado las fuentes de información orbital. Si usted desea ahondar mas acerca de las órbitas de los satélites GPS, o de las órbitas de los satélites en general, consulte la "Guide to GPS Positioning" o algún libro sobre introducción a las órbitas satelitales, tal como: Fundamentals of Astrodynamics by Bate, Mueller and White, el cual es publicado por Dover Publications.

Aunque Newton estableció la física del movimiento orbital, él probablemente nunca imaginó ni en sus mas fantásticos sueños que un día un conjunto de una docena de hombres - fabricaran objetos y los hicieran girar alrededor de la Tierra y, conjuntamente con una pequeña caja que cabe en una mano, se puede calcular con una precisión de milímetros la posición del árbol de manzanas debajo del que él solía sentarse a reflexionar. Tal es la maravilla del Navstar Global Positioning System.

Cada satélite transmite una señal codificada en dos frecuencias portadoras de las bandas L1 y L2. Las señales recibidas en la antena pueden ser usadas para determinar la posición absoluta del receptor o su posición relativa con respecto a otro receptor ubicado en otro punto de posición conocida. (14 Antenas fijas de las cuales consta la Red Geodésica Nacional Activa, diseminadas estratégicamente en el País)

El GPS tiene diversas aplicaciones, entre las cuales estan:

- Elaboración de Cartografía
- Deslindes y obtención de superficies
- Densificación de la Red Geodésica Nacional Activa
- Deslindes de límites municipales, estatales e internacionales
- Posicionamiento de puntos sobre la superficie terrestre
- Navegación
- Fines militares

**TABLA QUE MANIFIESTA EL LANZAMIENTO DE LOS SATELITES GPS.**

BLOQUE I						
Sec.	SVN	PRN	LANZAMIENTO	ORB.	OPER.?	
I - 1	01	04	02/78		NO	
I - 2	02	07	05/78		NO	
I - 3	03	06	10/78		NO	
I - 4	04	08	12/78		NO	
I - 5	05	05	02/80		NO	
I - 6	06	09	04/80		NO	
I - 7	07					
I - 8	08	11	07/83		NO	
I - 9	09	13	06/84		NO	
I - 10	10	12	09/84	A1	SI	
I - 11	11	03	10/85	C4	SI	

BLOQUE II						
II - 1	14	14	02/89	E1	SI	
II - 2	13	02	06/89	B3	SI	
II - 3	16	16	08/89	E3	SI	
II - 4	19	19	10/89	A4	SI	
II - 5	17	17	12/89	D3	SI	
II - 6	18	18	01/90	F3	SI	
II - 7	20	20	03/90	B2	SI	
II - 8	21	21	08/90	E2	SI	
II - 9	15	15	10/90	D2	SI	

**BLOQUE IIA**

Sec	SVN	LANZAMIENTO	ORB.	OPER.?
II -10 23	23	11/90	E4	SI
II -11 24	24	07/91	D1	SI
II -12 25	25	02/92	A2	SI
II -13 28	28	04/92	C2	SI
II -14 26	26	07/92	F2	SI
II -15 27	27	09/92	A3	SI
II -16 32	01	11/92	F1	SI
II -17 29	29	12/93	F4	SI
II -18 22	22	02/93	B1	SI
II -19 31	31	03/93	C3	SI
II -20 37	07	05/93	C4	SI
II -21 39	09	06/93	A1	SI
II -22 35	05	08/93	B4	SI
II -23 34	04	10/93	D4	SI
II -24 36	06	03/94	C1	SI

Tabla 4.-Fechas de Lanzamiento e Identificación de los Satélites GPS.

## CAPITULO IV

### EL RECEPTOR GPS.

Aquí se resumirá sobre diferentes aspectos tecnológicos del Sistema de Posicionamiento Global con una mirada al interior del receptor GPS.

Como cualquier pieza de un equipo, cuanto mas sepamos acerca de como trabaja un receptor GPS, estaremos mejor preparados para juzgar la actuación de esta unidad en particular, estimar sus ventajas y desventajas, y comparar la capacidad de los receptores en la siempre creciente línea de productos de diferentes manufacturas.

En 1980 sólomente un receptor GPS estaba disponible en el mercado comercial, 10 años mas tarde, considerablemente mas de cien diferentes modelos y marcas estan a la venta.

Hay receptores para usos militares, civiles, para guiar la navegación, para levantamientos geodésicos, y para transferencia de tiempo; receptores que usan el código C/A y aquellos que adicionalmente usan el código P., receptores de una o dos frecuencias, receptores que caben en una mano y otros muchos variados tamaños. Sin embargo estos receptores tienen diferencias en su diseño, construcción y capacidad, ellos cuentan con un número de principios básicos para su operación.

Aquí veremos la combinación genérica del receptor GPS y señalaremos algunas de las semejanzas de las unidades que se encuentran en el mercado.

Un receptor GPS está integrado por un bloque básico (Ver Figura 56 ) una antena con su preamplificador, una sección de radiofrecuencia, un bloque de rastreo de la señal, una unidad de mando de entrada y despliegue, y una fuente de poder (batería). La principal operación del receptor es controlada por un microprocesador que calcula sus coordenadas. Algunos receptores también traen incluido un almacenador de datos, y una interfase de salida para conectarse a una computadora, o ambos. Se examinará cada uno de sus componentes, iniciando con la antena.

#### LA ANTENA

El trabajo de la antena consiste en convertir la energía de las ondas electromagnéticas que llegan desde el satélite en forma de impulsos de corriente eléctrica que pueden ser manejados por los circuitos electrónicos del receptor. El tamaño y la figura de la antena son muy importantes, estas características permiten manejar con mayor facilidad las señales GPS, las que son muy débiles (0.1 Watt). La antena puede necesitar operar la frecuencia L1 o ambas frecuencias L1 y L2. También porque las señales GPS están polarizadas, todas las antenas GPS deben estar polarizadas. A pesar de estas restricciones, diversos y diferentes tipos de antenas se encuentran disponibles para los receptores GPS. Estos incluyen configuraciones mono o bipolares, hélices de cuatro aspas (también conocidas como espirales), hélices en espiral y microfranja (microstrip).

La microstrip, por su tosquedad y fácil construcción, es la antena mas común. Estas pueden tener una figura circular o rectangular. Pueden tener capacidad para manejar una sola o las dos frecuencias, y su excepcionalmente bajo contorno hacen de ellas que se puedan transportar y manipular fácilmente. Otra importante característica de una antena GPS es su ganancia, la cual describe su sensibilidad sobre algunas altitudes y ángulos azimutales, y su habilidad para discriminar señales de trayectoria múltiple contraria, esto es, las señales que llegan a la antena después de ser reflejadas desde objetos cercanos. Un factor muy



significativo de las antenas que son usadas en aplicaciones en donde su posición debe ser muy precisa es la estabilidad de su centro de fase, el centro eléctrico de la antena cuya posición es registrada por el receptor GPS en el vértice exacto de su posición.

Algunas antenas tales como las microstrip, requieren una base plana para su apropiada operación.

La base plana es esencialmente una pieza de metal de forma plana (comúnmente llamada plato) sobre la cual se coloca la base nivelante o tripaquío de la antena para posteriormente sobre de esta instalar la antena propiamente dicha. En levantamientos de alta precisión, la base plana (o plato) de la antena es frecuentemente prolongado en compañía de una plancha metálica para mejorar su realización en la presencia de señales de trayectoria múltiple.

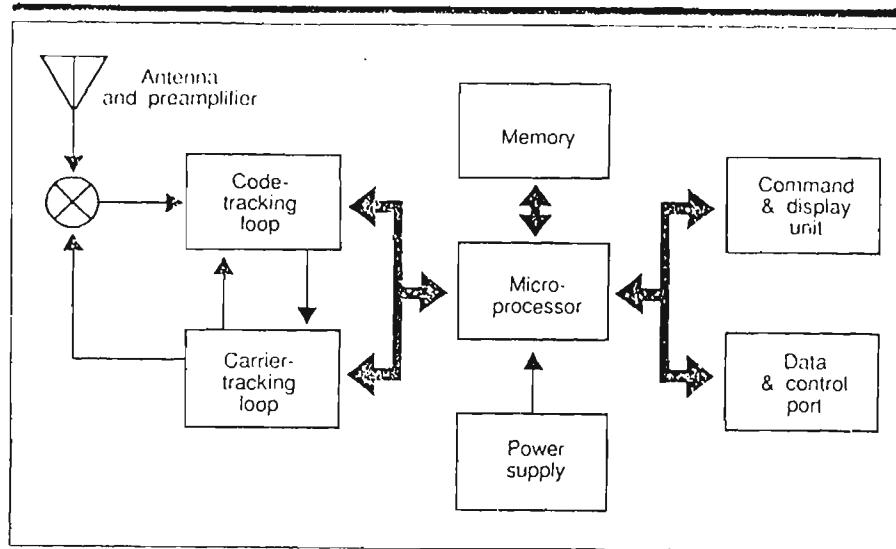


Figura 56.- Los Componentes Genéricos de un Receptor GPS de Un Canal.

Las señales GPS son demasiado débiles; ellas tienen desagradablemente la misma fuerza que aquellas de los satélites Geostacionarios empleados para señales de televisión. La razón por la cual un receptor GPS no necesita una antena del tamaño de aquellas que se utilizan en algunos domicilios particulares, "antena parabólicas", se debe al diseño de la señal GPS y a la habilidad del receptor para plegar o concentrar la señal.

El poder para extraer una señal GPS desde el fondo del estruendo del eter, está mas concentrado en el receptor que en la antena. No obstante, una antena GPS debe ser combinada generalmente con un preamplificador de bajo ruido que eleve el nivel de la señal antes de alimentar al receptor. En los sistemas en los cuales la antena es una unidad separada, el preamplificador es alojado dentro de la base de la antena y recibe la energía desde el mismo cable coaxial a lo largo del cual la señal viaja al receptor.

### LA SECCION DE RADIOFRECUENCIA

La sección de Radiofrecuencia (RF) de un receptor GPS transmite la frecuencia de señales que llegan a la antena a una frecuencia mas baja, llamada Frecuencia Intermedia (FI), que es mas fácil de manejar por el resto de las etapas del receptor. Esto es efectuado por la combinación de la señal de entrada con una señal sinusoidal pura generada por un componente del receptor conocido como Oscilador Local. La mayor parte de receptores GPS usan un oscilador de precisión de cristal de cuarzo, la cual es una versión

mejorada de los que comunmente usan los relojes de pulso. La señal de Frecuencia Intermedia contiene toda la modulación que está presente en la señal transmitida por el satélite; solamente la portadora ha sido removida de la frecuencia. La frecuencia de la portadora que fué removida es simplemente la diferencia entre la frecuencia portadora original recibida y aquella del oscilador local. Esta es llamada frecuentemente frecuencia osciladora ( o frecuencia de péndulo) en analogía a la nota que es escuchada cuando dos tonos musicales muy cercanos son tocados simultáneamente. La mayor parte de los receptores emplean múltiples etapas de Frecuencia Intermedia. La señal final de frecuencia intermedia pasa a la etapa que lleva una de las mayores cargas de trabajo que es el rastreador de señales.

## EL RASTREADOR DE SEÑALES

La antena omnidireccional de un receptor GPS recibe simultáneamente la señal de todos los satélites que están a la "vista" sobre el horizonte. El receptor debe aislar las señales que provienen de un satélite en particular, con la finalidad de medir el código de pseudorange y la fase de la onda portadora. Este aislamiento es realizado a través del uso de un número de canal de señal en el receptor. Las señales pueden ser fácilmente discriminadas por el único código burdo de adquisición ( C/A - Code ) o parte del código de precisión ( P - Code ) ellos están asignados a un canal en particular.

Los canales en un receptor GPS pueden ser implementados en uno o dos modos básicos. Un receptor puede tener asignados canales, cada canal efectúa un seguimiento continuo a un satélite en particular. Un mínimo de cuatro satélites en su canal particular de seguimiento en la frecuencia L1 se requerirán para determinar 3 coordenadas, Latitud, Longitud y Altitud de posición del receptor. Canales adicionales permiten el seguimiento de mas satélites esto se consigue por la frecuencia L2 para la corrección del retraso de la señal en la ionósfera.

Otro concepto de canalización usa uno o mas canales de secuencia. Un canal de secuencia escucha a un satélite en particular por un determinado periodo de tiempo, efectúa mediciones sobre la señal del satélite, y en seguida se conecta a otro satélite. Un receptor de un solo canal debe recibir señales de cuatro satélites para obtener una posición tridimensional "fijo". Antes de que pueda fijarse por primera vez, en todo caso, el receptor debe hacer contacto con la señal de cada satélite que esté a la vista por un mínimo de 30 segundos para obtener suficiente información de la señal radiada por los satélites. El tiempo para la primera fijación del receptor y el tiempo en el que se obtiene suficiente información puede ser reducido si el receptor cuenta con un par de canales secuenciales. Una variante del canal de secuencia es el canal múltiple, con este diseño se reciben las señales de los satélites con mayor rapidez, esencialmente adquiriendo todas las señales de radio que emiten los satélites que están "enganchados" al mismo tiempo. Con un receptor de canal múltiple, el tiempo de fijación es de 30 segundos o menos.

Los receptores de un solo canal son menos costosos pero, por su lentitud, están restringidos para aplicaciones de poca importancia. Los receptores con canales múltiples tienen mayor sensibilidad y ellos pueden hacer mediciones de las señales con mayor periodicidad, pero cuentan con canales polarizados que deben ser cuidadosamente calibrados. Esta calibración es usualmente efectuada por el microprocesador del receptor.

El receptor GPS usa sus canales de seguimiento para hacer mediciones de pseudorange y extraer el mensaje radiado por el satélite. Esto lo hace a través del uso de Seguidores de Circuito ( Tracking Loops ). Un Tracking Loop es un mecanismo que proporciona a un receptor " el ajuste interno ", o rastreo, de una señal que está cambiando, ya sea en tiempo o en frecuencia. Esto es un retroalimentador, que básicamente compara la entrada de una señal (externa) contra una señal local (interna), produciendo una señal de error que es la diferencia entre las dos, y usa esta señal para ajustar la señal interna e igualar

la externa de tal modo que el error es reducido a cero o minimizado. Un receptor GPS tiene dos clases de seguidores de circuito (Tracking Loop): el cierre de retraso (Delay Lock), o código de seguimiento de circuito y el cierre de fase (Phase-Lock), o portadora del (Tracking Loop). El (Delay Lock Loop) se usa para alinear el pseudo ruido fortuito (PRN) código de seguimiento (desde cada uno de los códigos C/A o P) que está presente en la señal que llega al receptor desde un satélite con un idéntico PRN o clave de secuencia generada dentro del receptor usando el mismo algoritmo que es empleado en el satélite. El alineamiento es realizado por cambios apropiados que el receptor ha generado en pequeñas claves en tiempo que una clave particular en la secuencia es generada en el mismo instante en que arriba del satélite.

Un comparador de relación recíproca en el (Delay -Lock Loop) continuamente cruza las correlaciones de las dos claves. Este recurso esencialmente ejecuta un proceso de adición y multiplicación que produce una relativamente abundante salida de señal sólo cuando la clave es correspondiente. Si la salida es baja, una señal de error es generada y la clave del generador es ajustada. En este modo, la secuencia de clave que ha sido replegada es encerrada en la serie de la señal de llegada. Las señales de otros satélites GPS no tendrán esencialmente efecto en el proceso de localización porque los códigos PRN de todos los satélites fueron escogidos para ser ortogonales uno con otro. Esta ortogonalidad propiamente significa que una salida de señal demasiado baja es producida por el "correlacionador" siempre que el código de secuencias usado por dos diferentes satélite estén confrontados.

Porque la secuencia del Código de Precisión (P code) es demasiado larga, un localizador de circuito del código de precisión necesita de alguna ayuda integrada al generador de código ajustado al sitio para conseguir unión con la señal del satélite, este obtiene apoyo de información incluida en el mensaje de radio disponible en el receptor por la primera delimitación del código C/A.

El tiempo de traslado requerido para alinear el código de secuencia es, en principio, el tiempo requerido por una señal para propagarse desde el satélite al receptor. Pero debido a que los relojes del receptor y del satélite están, en general no sincronizados y corren sesgadamente en diferente proporción, el rango de medición está desviado. Esta desviación es llamada Pseudorangeo.

Los impulsos en el código de secuencia del satélite son generados precisamente conociendo pequeñísimos instantes de tiempo, el alineamiento del receptor y el código de secuencias del satélite también nos da una lectura del reloj del satélite al tiempo de la generación de la señal. Una vez que el código de seguimiento de circuito está enganchado, el código PRN puede ser removida la señal del satélite para mezclarla con la señal generada localmente y filtrar la señal resultante. Este procedimiento concentra la señal, estrechando su ancho de banda por abajo de 100 Hz. Este es el proceso completo que el receptor GPS realiza la razón o proporción necesaria señal -a-ruido para compensar la limitada ganancia de una pequeña antena física. La condensación o concentración de la señal de F1 cuando pasa a la fase de cierre de circuito, la cual demanda o extrae, el mensaje del satélite para alinear la fase del oscilador local del receptor con la fase de la F1 o señal pulsante de frecuencia. Si la fase de la señal del oscilador no es correcta, el demodulador (en la fase lock loop) detecta esto y aplica una corrección de señal al oscilador. Una vez que el oscilador está enganchado con la señal del satélite, continuará siguiendo la variación en la fase de la onda portadora hasta que el rumbo del satélite cambie. La mayor parte de los localizadores de la portadora usan la "Costas Loop" una variación de "the phase-lock loop" diseñada para modular señales por bifase binaria semejante a aquellas transmitidas por satélites GPS.

La fase pulsante de la portadora perceptible es obtenida en principio simplemente por conteo de ciclos completos en un tiempo determinado. La fase medida, cuando es convertida a unidades de longitud, es una medición ambigua (ambigüedades) de la distancia del satélite al receptor. Esta es ambigua porque un receptor GPS no puede distinguir un ciclo completo

particular de la portadora de otro y en consecuencia toma un número arbitrario de ciclos aglomerados de la fase inicial cuando se engancha por primera vez con una señal.

Esta ambigüedad inicial debe resolverse matemáticamente en conjunto con las coordenadas del receptor si la fase de observaciones es usada para posicionamiento. Porque esta ambigüedad es constante por todo el tiempo en que el receptor se mantiene enganchado con la señal, el tiempo relativo del cambio de la fase portadora es liberado desde esta ambigüedad. Esta cantidad está en relación al efecto Doppler de la señal del satélite y es usada, por ejemplo, para determinar la velocidad de movimiento de un receptor GPS como el de una aeronave. Después de que el Carrier-Trackin Loop, se engancha a una señal de satélite, los bits en el mensaje de radio son subsecuentemente decodificados usando técnicas de sincronización bit y un filtro de detección.

La fase de la portadora puede ser medida por otro método parecido al "Code-Tracking/Costas Loop" combinado, pero este tiene una falla. Este método es el así llamado técnica de la señal ajustada. La señal GPS es simplemente una portadora constante cuya fase es trasladada por exactamente  $180^\circ$ , mas de un millón de veces cada segundo, como resultado de la modulación por el código PRN y el mensaje de radio.

Estas reversiones de fase pueden ser consideradas como un cambio en la amplitud de la señal de +1 a -1 o de -1 a +1, y la amplitud instantánea es por tanto mayor o menor a 1. La resultante de la señal electrónicamente ajustada es una señal con una amplitud constante, aunque con una frecuencia igual a dos veces que la de la original. Sin embargo la fase de esta señal es fácilmente relacionada con la fase portadora original. Por supuesto, en el proceso de ajuste ambos los códigos y la señal radiada se pierden, así que el código-derivado de la medición del pseudorange no son posibles y la información en el mensaje que describen las órbitas, salud, y otros detalles acerca de los satélites deben dimanar de otra fuente. Algunas señales-a-ruido inherentes se pierden también en el "Squaring Process" proceso de ajuste, lo cual puede resultar en la fase de medición que son pequeños ruidos aquellos obtenidos con el (Code Tracking).

Uno de los primeros receptores GPS comercialmente disponibles, el Macrometer, usó la técnica de sincronización, y un número considerable de receptores de doble frecuencia actualmente disponibles en el mercado usan este método para la medición en la frecuencia L2. Una variación de esta técnica ha sido usada en receptores que miden la fase del código de modulación sin tener que distinguir el actual código de secuencia.

## EL MICROPROCESADOR

Aunque el GPS puede ser construido usando técnicas semejantes, la inclinación en su desarrollo ha sido fabricarlo con teclado digital, dando como resultado unidades mas pequeñas y menos costosas. Esta realidad ha sido posible porque la señal de F1 ha sido digitalizada y se ha realizado el código y seguimiento de la portadora con software integrado al microprocesador.

De este modo en algunos aspectos, el receptor GPS puede tener mucho en común con un "toca compac disk" al compararlo con un radio de AM. Porque un receptor no ejecuta muchas funciones diferentes, el receptor es controlado por un microprocesador. (De nuevo estas funciones comprenden tales hechos como la adquisición de señales del satélite tan rápido como sea posible una vez que el receptor ha sido puesto en operación, seguimiento de códigos y portadoras de las señales, decodificación de las señales de radio, determinación de las coordenadas del usuario, y mantenimiento del contacto con otros satélites de la constelación). El Software del microprocesador, el cual contiene las instrucciones para el funcionamiento del receptor, está integrado a la memoria dentro del receptor. El receptor trabaja con muestras digitales de pseudo rango y fase portadora. Estas muestras de datos son adquiridas como un resultado de la conversión analógica-a-digital en algún punto en la señal

que fluye a través del receptor. El receptor usa estas muestras para establecer sus posiciones y poder grabarlas para futuro procesamiento. El microprocesador puede seguir rutinas que haga algún filtro de esos datos crudos para reducir los efectos de ruido u obtener posiciones y velocidades que sean mas confiables cuando el receptor está en movimiento.

El microprocesador puede calcular información de las observaciones efectuadas de un sitio o convertir coordenadas del Datum Geodésico WGS 84 a uno regional. También resuelve el ingreso de comandos del usuario, el despliegue de información, y el flujo de datos a través de su puerto de comunicación (si la unidad cuenta con uno).

### **INTERFASE PARA EL USUARIO**

La mayoría de los receptores GPS tienen un panel de teclas y una pantalla de despliegue o alguna clase de interfase con el usuario. El panel de teclas puede ser usado para ingresar comandos para seleccionar las diferentes opciones para obtener información, para mostrar lo que el receptor está ejecutando, o para desplegar las coordenadas calculadas, tiempo, u otros detalles. Los usuarios también pueden tener acceso a información auxiliar, semejante a la requerida para fijar puntos en una ruta de navegación y altura de antena para levantamientos geodésicos. La mayor parte de los receptores tienen convenientemente integrados comandos y aptitudes para desplegar menús, instrucciones e igualmente ayudas. Algunos receptores tienen un defecto básico en el modo de operación que no requiere que el usuario le inicialice y puede ser activado simplemente al ser encendido el receptor. Algunos receptores han sido diseñados con sensores que están integrados en los sistemas de navegación y, por eso, no cuentan con panel de teclas ni pantallas de despliegue; la entrada y salida son accesados únicamente por vía puertos seriales.

### **INFORMACION, ALMACENAMIENTO Y SALIDA**

Adicionalmente a una pantalla, muchos receptores GPS proporcionan el acopio de la fase portadora, medición del pseudorange y del mensaje de radio para su uso en postproceso. Esta característica es una necesidad para receptores usados en levantamientos topográficos y geodésicos y para navegación diferencial.

En aplicaciones topográficas y geodésicas, el pseudorange y la fase de observaciones debe ser almacenada y combinada con otras observaciones efectuadas simultáneamente con otros receptores para su subsecuente análisis. Generalmente la información es almacenada internamente en el receptor usando la memoria de sus semiconductores. Algunos receptores almacenan la información en cinta magnética o directamente en un floppy disk usando una microcomputadora externa.

Otros, incluyendo aquellos que almacenan la información internamente para su subsecuente análisis y aquellos usados para posicionamiento diferencial, tienen un RS-232 o alguna especie de puerto de comunicación para la transferencia de información a una computadora, modem, o data radio. Algunos receptores pueden ser controlados remotamente a través de este puerto.

### **FUENTE DE PODER**

La mayor parte de los receptores GPS tienen fuentes de poder internas de Corriente Continua (DC), generalmente en forma de baterías recargables de níquel cadmio (Ni Cd). Los receptores mas recientes son diseñados para que consuman una minima cantidad de corriente, prolongando el tiempo de operación entre recargas de batería. Otros receptores también tienen un abastecimiento externo en forma de batería de pilas o convertidor de AC a DC.

Con el constante adelanto en el campo de la Electrónica, a diario se logran elementos con mayor capacidad, menor consumo de energía, menor tamaño y menor costo, tan es así, que ahora podemos hablar del "Estado del Arte del GPS"

Y, se asegura ahora que, el estado del arte del GPS es una extraordinaria realización de ingeniería electrónica.

Esto ha hecho que de un costo de un par de cientos de miles de dólares en 1980 puede ser ahora hecha una unidad portátil con un costo inferior a los 3000 dólares. Podremos ver los avances en la tecnología del receptor GPS en la siguiente década como se elevará la velocidad y bajará el consumo de corriente en sus circuitos integrados que se fabricarán en los laboratorios. Particularmente promisorios son los progresos en los circuitos integrados basados en compuestos de Galio y Arsénico (Ga As) en lugar del tradicional de silice.

Los primeros receptores que usan chips de (Ga As) están, de hecho, ya en el mercado. Los cuales son mas pequeños, mas ligeros, unidades mas robustas con muchas mas opciones y mejores interfaces con mucho menor costo.

¿Hasta dónde llegarán los avances en el diseño de los receptores GPS?. No deberá sorprendernos ver un GPS al estilo del receptor de pulso de "Dick Tracy" a un costo menor a los 500 dólares antes de mediados del siglo XXI. El producto de la fertilidad de pensamiento de una tira cómica pronto llegará a ser una realidad.

## CAPITULO V

### MATEMATICAS DEL GPS

Máquinas ingeniosas, hornos ingeniosos, cámaras ingeniosas. Vivimos en un mundo de artículos controlados por microprocesadores que funcionan con un alto grado de confiabilidad con casi ningún control por parte del usuario.

No hace muchos años, fotógrafos aficionados tenían que saber algo acerca de velocidades de la película, como detener la película y la reciprocidad de la velocidad de disparo, la absorción y reflexión de la luz con objeto de tomar buenas y consistentes películas. Ellos tenían que ajustar manualmente los controles de la cámara para adecuarse a las condiciones de la luz o de la iluminación, y por supuesto enfocar la lente. Con las cámaras disponibles hoy, ellos solo tienen que apuntar y disparar.

Si una buena fotografía no es posible bajo las condiciones existentes de iluminación, la cámara se quejará con un zumbido corto y puede ser hasta se rehuse a tomar la fotografía a menos que se cambie a operación manual. Los fotógrafos ya no deben pensar cuidadosamente acerca del proceso físico de capturar la imagen, ellos pueden dedicar todos sus talentos a la composición de la fotografía.

Algo del reto de la fotografía se ha perdido claramente en la evolución de la relación máquina - operador. Sin embargo, pensando que la gente continuará intrigada por el proceso fotográfico y querrá tener cuando menos una comprensión básica de como una cámara es capaz de capturar una imagen en un pedazo de plástico recubierto de cristales de haluro de plata, y como ese proceso puede ser controlado. . . Lo mismo es con. . . GPS.

El receptor GPS es el último de una larga lista que crece, de máquinas ingeniosas; las observaciones que efectúa el GPS son convertidas en posiciones por el microprocesador. Echémosle un vistazo a eso ahora.

#### Determinando Posiciones de Pseudorange

La medición básica hecha por un receptor GPS es el tiempo requerido por una señal para propagarse de un satélite GPS al receptor. Debido a que la señal viaja a la velocidad de la luz  $C$ , este intervalo de tiempo puede ser convertido a una distancia simplemente multiplicándolo por  $C$ .

Asumamos que el reloj en el receptor es sincronizado con el reloj en el satélite, y que la ionósfera y la tropósfera las cuales ligeramente retardan el arribo de la señal, no existen. Más aún, asumamos que no hay ruido de medición, con esto no hay perturbaciones errantes a la medición, algo que invariablemente afecta a todas las medidas en un grado mayor o menor. Con una sola de tales medidas del alcance del satélite, nosotros podemos determinar algo acerca de la posición del receptor: El debe de estar situado en alguna parte sobre en esfera centrada sobre el satélite con un radio igual al alcance medio, como se ilustra en el primer recuadro de la Figura 57 a. Llamemos a esta distancia  $P_1$ .

Si nosotros simultáneamente hacemos una medición de alcance a un segundo satélite, entonces nuestro receptor debe también estar situado sobre una esfera, de radio  $P_2$ , centrado sobre este satélite. Las dos esferas intersectarán como se muestra en el segundo recuadro de la Figura 57 b con el locus (conjunto o configuración de todos los puntos que satisfacen condiciones geométricas determinadas) de puntos intersectores formando un círculo. Nuestro receptor debe estar situado en alguna parte sobre este círculo, el cual es llamado una línea de posición. Una tercera medición simultánea de alcance,  $P_3$ , nos da una tercera esfera que intersecta las otras dos en dos puntos solamente, ilustrada en el recuadro de la Figura 57 c. Uno de estos puntos puede

ser soltado inmediatamente por la localización de nuestro receptor porque el permanecerá lejos afuera en el espacio. Así que la medición simultánea de los alcances a tres satélites provee suficiente información para determinar una posición arreglada en tres dimensiones cuando menos en principio.

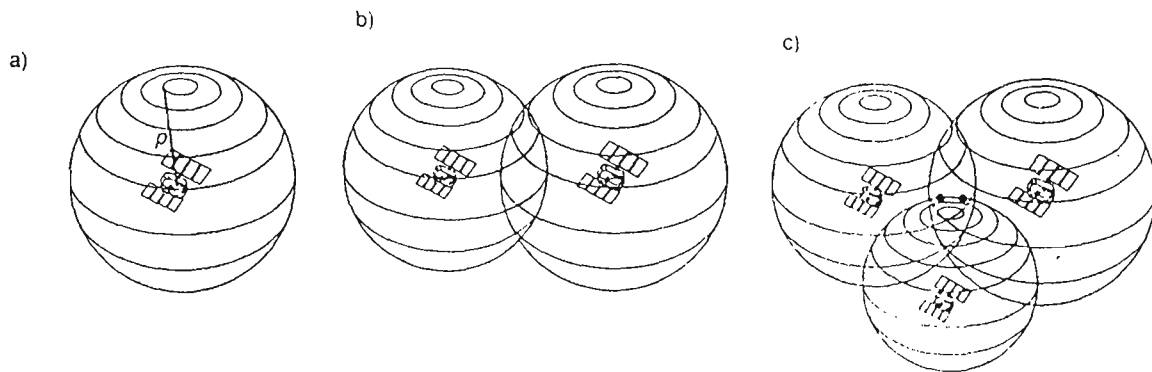


Figura 57.- Con la sincronización de los relojes de los satélites, simultáneamente con el rango de medición de 3 satélites GPS se determina con precisión la posición del receptor. Cada rango de medición puede ser interpretado como el radio  $p$ , de una esfera con centro en un satélite en particular, con la intersección de esferas adicionales se produce siempre una posición más precisa del receptor. La línea de posición es representada en b) y c) por el perímetro del área de intersección.

Cuando empezamos nuestro análisis, asumimos que el reloj en el receptor GPS estaba sincronizado con los relojes de los satélites. Esta, asunción, sin embargo es falsa. Cuando un receptor GPS es encendido, su reloj, en general, estará mal sincronizado con un tiempo desconocido con respecto a los relojes de los satélites. Mas aún, los relojes atómicos de los satélites, están sincronizados uno a uno y a una escala maestra de tiempo -llamada tiempo GPS- solamente dentro de más o menos un milésimo de segundo. Las mediciones de alcance que el receptor hace son polarizadas por los errores del receptor y del reloj del satélite y por lo tanto son referidos como pseudoalcances.

Un error de tiempo de un milisegundo resultaría en un error de posición de más o menos 300 kilómetros, claramente una cantidad inaceptable. Los operadores de sistemas comprensiblemente podrían sincronizar mejor los relojes de los satélites enviándoles frecuentemente órdenes de ajuste desde tierra, pero se ha encontrado que los relojes atómicos de hecho mantienen o conservan un mejor tiempo si ellos son dejados solos que si sus lecturas son corregidas. El Observatorio Nacional de los Estados Unidos monitorea los relojes de los satélites GPS y determina la deriva o resultados inesperados de la hora o tiempo del GPS. Estos parámetros subsecuentemente están (actualizados en su carga a los satélites) sobrecargados a los satélites y transmitidos como parte del mensaje de navegación de los satélites. Un receptor GPS usa los valores de desviación o resultados inesperados del reloj del satélite para medir los pseudoalcances.

No obstante, nosotros aún tenemos que vémoslas con el error del reloj del receptor. Debido a este error, las tres esferas con radios semejantes a los pseudoalcances medidos con errores o resultados inesperados del reloj no intersectarán en un punto común. Sin embargo si el error del reloj del receptor,  $dT$ , puede ser determinado, los pseudoalcances pueden ser corregidos y la posición del receptor determinada. La situación limitada a dos dimensiones, está ilustrada en la Figura 58.



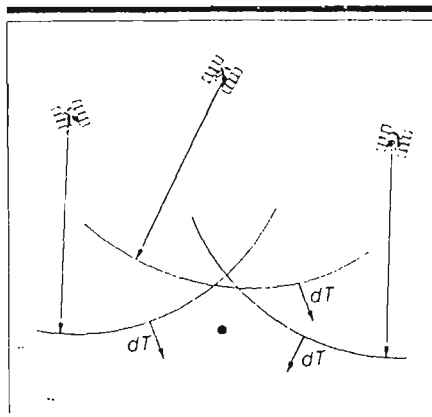


Figura 58.- Determinación de un reloj receptor y la verdadera posición del usuario desde la intersección de esferas centradas en los satélites; el pseudoalcance se muestra por medio de arcos de líneas sólidas.

Por lo tanto, de hecho nosotros tenemos cuatro cantidades desconocidas o parámetros (constante que caracteriza el comportamiento de variables asociadas a un sistema dado); (cantidad a la cual pueden asignarse valores arbitrarios) que debemos determinar: Las tres coordenadas para nuestra posición (digamos latitud, longitud y altitud) y el resultado inesperado del reloj del receptor. Ahora, es matemáticamente imposible determinar de una manera única el valor de cuatro parámetros dadas solamente tres medidas. La manera de salir de este lío es medir simultáneamente un pseudoalcance adicional a un cuarto satélite.

Pero simplemente, ¿cómo el receptor GPS verdaderamente extrae las coordenadas de posición y el resultado inesperado del reloj de las mediciones?. En el software contenido en el receptor GPS está un modelo algebraico que describe el arreglo geométrico que acabamos de ver. Por cada medición de pseudoalcance, puede escribirse una ecuación que relaciona la medición a las cantidades desconocidas. La cuatro ecuaciones se muestran en la Figura 59.

Las mediciones de pseudoalcance hechas por el receptor, en unidades de distancia, están a mano izquierda de cada una de las ecuaciones. La expresión bajo el signo de la raíz cuadrada es el verdadero alcance al satélite. Es verdaderamente una representación de la esfera centrada en las coordenadas  $X, Y, Z$ , la posición del satélite. Las coordenadas del satélite son obtenidas del mensaje de navegación. Las coordenadas  $X, Y, Z$ , representan la posición del receptor. El término  $CdT$  es la distribución al pseudoalcance del mecanismo o resultado inesperado de la deriva del reloj del receptor  $dT$ .

El juego de la cuatro ecuaciones debe ser resuelto simultáneamente para obtener los valores  $X, Y, Z$ , junto con el mecanismo o resultado inesperado del desvío del reloj  $dT$ . Aunque las ecuaciones están escritas en términos de Coordenadas Cartesianas Geocéntricas, los valores resultantes  $X, Y, Z$ , pueden fácilmente ser convertidos en latitud, longitud y altitud en cualquier plano de referencia Geodésico o en las coordenadas del cuadrículado de un mapa de navegación.

$$\rho_1 = \sqrt{(X - x_1)^2 + (Y - y_1)^2 + (Z - z_1)^2} - c dT$$

$$\rho_2 = \sqrt{(X - x_2)^2 + (Y - y_2)^2 + (Z - z_2)^2} - c dT$$

$$\rho_3 = \sqrt{(X - x_3)^2 + (Y - y_3)^2 + (Z - z_3)^2} - c dT$$

$$\rho_4 = \sqrt{(X - x_4)^2 + (Y - y_4)^2 + (Z - z_4)^2} - c dT$$

Figura 59.- El conjunto de ecuaciones básicas para determinar la posición del usuario y del receptor del mecanismo de desvío del reloj desde las medidas de pseudoalcance.

### Linealización de las Ecuaciones de Pseudoalcance

Debido a los cuadrados y a las raíces cuadradas en las ecuaciones, las medidas de pseudoalcance son dependientes de las coordenadas receptoras en una manera no lineal. Consecuentemente, las ecuaciones deberán ser resueltas por el procedimiento de iteraciones, por el método de Newton - Raphson. En este procedimiento, cada una de las ecuaciones es expandida en un infinitamente largo polinomial basado en un conjunto de valores a prueba o conjetura por X, Y, Z, y dT. En seguida cada serie es truncada después del primer grado de término resultando en una ecuación que es lineal en aumento de correcciones a los valores de prueba. Las cuatro ecuaciones linealizadas pueden ser resueltas simultáneamente para determinar los valores de estos incrementos y los valores de prueba ajustados de acuerdo.

Debido a que las ecuaciones linealizadas son una aproximación de las no lineales, este proceso en general, debe ser repetido, (iteración - repetición de acciones - en matemáticas se aplica a los logaritmos cuyos elementos se repiten según una ley sencilla) con repeticiones subsecuentes que rendirán mas y mas pequeños incrementos. La solución final es la que satisface las ecuaciones originales no lineales al quedar dentro de una tolerancia aceptable. Varias iteraciones pueden ser requeridas para cubrir la solución final. Sin embargo, si la posición inicial estimada es cercana a la posición actual, las ecuaciones GPS de pseudoalcance pueden ser resueltas en simplemente una iteración.

Si una o mas de las coordenadas receptoras es ya conocida con precisión, entonces las coordenadas que quedan y el resultado inesperado o deriva del reloj pueden ser determinados usando menos de cuatro pseudoalcances. Por ejemplo, digamos que la altura del receptor GPS es conocida. Entonces el pseudoalcance a tres satélites será suficiente para determinar las dos coordenadas horizontales y el resultado inesperado o deriva del reloj. Para usar GPS para sincronizar un reloj en un lugar con coordenadas conocidas, solamente una medida de pseudoalcance a un solo satélite es en realidad requerida.

### Ecuaciones inconsistentes

¿ Qué sucede cuando mas de cuatro satélites están por encima del horizonte del usuario de GPS?. Si el receptor del usuario puede solamente rastrear cuatro satélites a la vez, entonces el receptor tendrá que escoger cuales cuatro satélites rastrear. Tendremos que decir algo acerca de un posible método de selección un poco mas adelante. Pero si el receptor puede rastrear cinco o mas satélites simultáneamente, entonces nosotros tenemos una situación en la que tendremos mas medidas que incógnitas: esto es tendremos cinco o mas ecuaciones, pero sin embargo tendremos solamente cuatro parámetros desconocidos.

No podremos resolver tal conjunto de ecuaciones de la misma manera como se hace para el caso de cuatro observaciones. ¿Por qué?. Hasta ahora hemos descuidado el hecho de que hay otros errores en nuestros datos observados además de los resultados inesperados o deriva del reloj de los satélites. La presencia de estos errores quiere decir que cualquier combinación que efectuemos del conjunto de nuestras cuatro observaciones producirá ligerísima diferencia en las soluciones. En tal situación, nosotros decimos que el sistema de ecuaciones es inconsistente.

¿Qué se hace?. Podríamos descartar las observaciones extra, pero, aunque conveniente, eso parece un desperdicio de información. El mejor enfoque al problema es usar un método que fué ideado a principio del año 1800 por el gran matemático alemán padre de la geodesia moderna, KARL FREDERICH GAUS - el método de los Mínimos Cuadrados. Con este método nosotros obtenemos una solución única para los parámetros desconocidos que se adaptan mejor a todas las medidas. Esta solución es la que, cuando substituida dentro del lado de la mano derecha de las ecuaciones de pseudoalcance, dé la mas pequeña discrepancia con respecto a las mediciones del lado de la mano izquierda en un sentido de la suma de los cuadrados . Esto es, la suma de los cuadrados de las discrepancias es mínima. Sin ir dentro de la razón matemática para adoptar este criterio podemos ver cualitativamente que ello asume que las discrepancias positivas y negativas son igualmente probables y que es mas probable que las pequeñas discrepancias sucedan y no las grandes.

### **Precisión en las medidas de posición**

Como se ha mencionado, las medidas de pseudoalcance están contaminadas por los resultados inesperados o la deriva del reloj del receptor. Aún después de resolver el resultado inesperado o deriva del reloj del receptor y corregir los pseudoalcances de la deriva o resultado inesperado del reloj del satélite usando los parámetros en el mensaje de navegación, los errores aún permanecen en las medidas. Estos errores afectan por supuesto la determinación de la precisión de la posición. Porque estos errores, cambiarán, en general con el tiempo repetidas determinaciones de la posición darán resultados ligeramente diferentes.

Los errores de pseudoalcance vienen de diferentes fuentes. Los parámetros en el mensaje de navegación que describen el comportamiento del reloj del satélite cuentan con casi todo el resultado inesperado o deriva del reloj con respecto al tiempo GPS. Sin embargo, debido al modelo usado para describir el comportamiento del reloj es bastante sencillo y los parámetros del modelo predichos con anterioridad, hay algunos errores residuales del reloj, que permanecen en los pseudoalcances. Las posiciones de los satélites como se calculan de las efemérides predichas en los mensajes de navegación están también en un ligero error. Otros errores en los pseudoalcances incluyen efectos no modelados de la ionósfera y de la tropósfera, ondas reflejadas, error de medición del receptor, y para los usuarios civiles, errores adicionales del reloj y de las órbitas debido a la Disponibilidad Selectiva (SA).

### **Error por alcance**

Cada uno de los errores, no importa su origen, pueden ser expresados como un error en el alcance entre el usuario y el satélite. Cuando un error se expresa de esta manera, se conoce como Error de Alcance Equivalente al Usuario (UERE) "User Equivalent Range Error" o simplemente como Error de Alcance del Usuario (URE). Sobre un período suficientemente largo de tiempo, estos errores pueden ser considerados como errantes, fortuitos sin propósito en naturaleza, con errores positivos y negativos siendo igualmente probables, dándole un valor medio al cero. También los errores pequeños son mas probables que los grandes.

Si se dibuja una gráfica de la frecuencia de ocurrencia de un error de un cierto tamaño, una curva semejante a la mostrada en la Figura 60 será obtenida. Formalmente hablamos de la curva representando una cierta probabilidad de densidad de función. La probabilidad de que un error sucederá con un valor entre límites especificados es el area bajo la curva entre los estos límites sobre el eje horizontal.

error sucederá con un valor entre límites especificados es el area bajo la curva entre los estos límites sobre el eje horizontal.

La forma de la probabilidad de la curva de densidad depende sobre el parámetro particular que esté siendo medido. sin embargo, en ciencia y en ingeniería la probabilidad de densidad de curva es a menudo de una forma particular conocida como una distribución Gaussiana o normal. Para cuantificar tal distribución o disposición de posibles errores con un número sencillo, usamos la desviación estandard y usualmente la representamos por la letra griega  $\sigma$ . Podemos determinar  $\sigma$  experimentalmente haciendo un gran número de observaciones y calculando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores en las observaciones dividido por el número de observaciones hechas menos una. Es este método de cálculo que el que da  $\sigma$  de otra manera, u otro nombre dado para el Error Medio Cuadrático (RMS). "Root Middle Square"

Para la distribución de Gauss, hay una probabilidad del 68% de que la magnitud del error que en realidad obtenemos sea mas pequeño que la desviación estandard. Hay una probabilidad del 95% de que será menor que dos veces la desviación estandard, y una probabilidad del 99.7 % que será mas pequeña que tres veces la desviación estandard.

Los errores UERE se originan de diferentes fuentes y por lo tanto son independientes unos de otros. Sin embargo, podemos calcular los errores combinados tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores individuales. Este error es el equivalente al error del alcance del usuario.

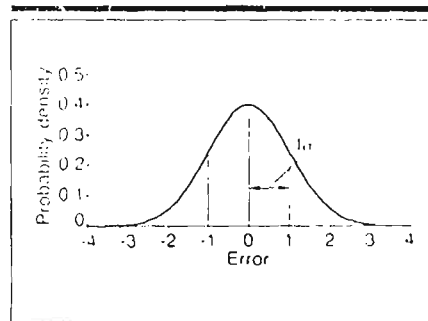


Figura 60.- La función de distribución probable de Gauss; el área sombreada indica un 68 % de probabilidad de error teniendo un valor entre  $-1\sigma$  y  $+1\sigma$ .

### Dilución de la Precisión

El UERE total no es el error en la posición determinada por un receptor GPS. UERE es solamente una medida del error en la distancia hacia uno de los satélites. Para determinar el error tridimensional de posición, debemos también tomar en cuenta donde están los satélites en el firmamento con respecto al receptor. Esta geometría de satélites -el espaciamiento de los satélites de los cuales las señales GPS son recibidas y los ángulos resultantes entre los senderos de la señal- da por resultado una incertidumbre mayor o menor en el cálculo de la posición.

La contribución de la geometría relativa de satélites a los errores en la determinación de la posición se conoce como -dilución de la precisión (DOP) y tiene un efecto multiplicativo sobre UERE. Generalmente, un espaciamiento mas ancho entre los satélites y el receptor produce errores menores, por razones que serán discutidas en un momento. Debido a que un receptor GPS puede solamente obtener señales de satélites GPS que no estén bloqueadas por el planeta, por ejemplo, que estén por encima del horizonte, ( a  $10^\circ$  por encima del horizonte para minimizar el efecto de la refracción), la Geometría Satelital ya es de alguna manera constreñida o forzada.

La cuantificación más común de la DOP es a través de la Dilución de la Precisión de la Posición del parámetro (PDOP), por sus siglas en inglés Precision Dilution Of Position. PDOP es el número que cuando se multiplica por el rms UERE, da el error de posición rms (la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar en Latitud, Longitud y Altitud). PDOP es una función matemática incluyendo o involucrando las coordenadas relativas del receptor y los satélites pueden ser fácilmente calculados para un arreglo particular de satélites. PDOP usando cuatro satélites puede ser también visualizado geoméricamente mirando al tetraedro formado por los puntos finales de vectores de longitud de unidad apuntando o señalando desde el receptor hacia cada uno de los satélites. PDOP es inversamente proporcional al volumen de este tetraedro. Mientras más desparrramados estén los satélites en el firmamento, más grande el volumen del tetraedro y más pequeño el PDOP, y, de aquí, más pequeños los errores de posición de los rms. Si más de cuatro satélites están a la vista, un receptor GPS puede seleccionar los cuatro que den el más pequeño PDOP.

El valor mínimo del PDOP se obtiene con un satélite al cenit del usuario y tres satélites con azimutes equitativamente espaciados en el horizonte del usuario. Por otro lado, el valor máximo del PDOP es teóricamente, infinito. Esto ocurriría si los cuatro satélites estuvieran situados en el mismo plano. La constelación GPS final ha sido diseñada para proveer a los usuarios en cualquier parte del mundo con un PDOP con un valor de menos de 6 (excepto ocasionalmente por períodos muy cortos de tiempo), asumiéndose que se usarán cuatro satélites con una elevación mínima de 10°.

Otros factores DOP relacionados han sido definidos. HDOP es la dilución de la precisión en las coordenadas horizontales; VDOP es la dilución de la precisión en la coordenada vertical; y TDOP es la dilución de la precisión en el alcance equivalente del reloj de la deriva del receptor. Un factor que combina los efectos de geometría en ambas posiciones y resultados inesperados es la dilución geométrica de precisión, GDOP. Figura 61, muestra el alcance global de los valores sobre un período de 24 horas, por la constelación aceptada de 15 satélites. Los usuarios pueden esperar que el PDOP sea menor a 3 la mayor parte del tiempo una vez que todos los satélites GPS estén en su lugar.

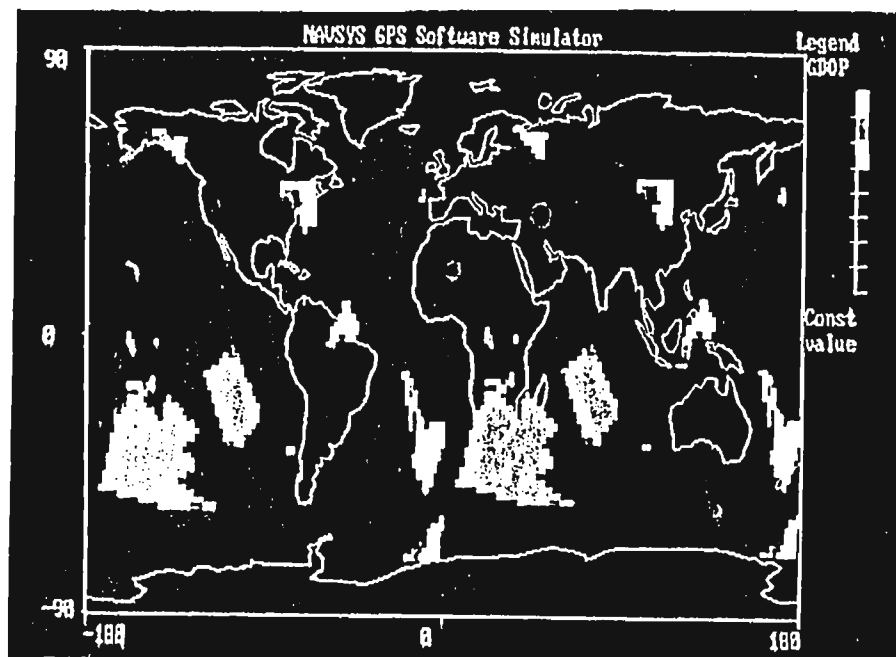


Figura 61.- GDOP global al presente; el valor de la constelación es el porcentaje de acontecimientos por los cuales GDOP es  $\leq 6$  para una colocación de muestras de puntos promediados en 24 horas.

## Otras medidas de Precisión

En general, las tres coordenadas de un ajuste de posición tridimensional tendrá diferente error de probabilidad de distribuciones y, por lo tanto, diferentes estándares de desviación. También, los errores entre cualquiera de las dos coordenadas puede ser mutuamente correlacionada: esto es, un error de una coordenada tendrá un efecto en la otra.

Si delineamos o dibujamos un contorno de error de igual densidad de probabilidad en todas las tres coordenadas, obtenemos un elipsoide centrado en nuestro ajuste de posición. La forma del elipsoide es determinada por las desviaciones estándar de las coordenadas y de sus correlaciones. Ver figura 62. Note que, en general, debido a las correlaciones, los ejes del elipsoide no están orientados en las mismas direcciones que los ejes de las coordenadas. Hay una cierta probabilidad de que la verdadera posición está situada dentro del elipsoide. Si esta probabilidad es de un 20 %, entonces al referirse a este elipsoide se le considera como un elipsoide de error standard.

Si las desviaciones estándar para las tres direcciones de las coordenadas son idénticas, el elipsoide degenera en una esfera. El radio de tal esfera dentro de la cual hay un 50 % de probabilidades de la verdadera posición de ajuste siendo localizada, es llamada Error Esferoidal Probable (SEP).

El término SEP es usado aún cuando el error de figura hecho es un número grande de ajustes de posición en una localización dada, podemos decir que el SEP es el radio de la esfera conteniendo el 50 % de los ajustes individuales. La meta de exactitud del Departamento de Defensa para el GPS es tener un SEP a lo ancho del mundo de 15 metros.

Si nos olvidamos de la coordenada de altitud por el momento y consideramos solamente las coordenadas horizontales, podemos construir las dos dimensiones análogas al error elipsoidal. Es definido como el contorno de igual probabilidad de densidad en las dos dimensiones horizontales. Como con el error elipsoidal un error de elipse tiene una cierta probabilidad de que las coordenadas horizontales verdaderas de una posición se encuentren dentro de ella. Para el error estándar de elipse, esta probabilidad es de 39%. Como en el error elipsoidal, los semi-ejes del error de elipse, en general no son iguales a las desviaciones estándar. Sin embargo, dadas las desviaciones estándar en las coordenadas horizontales y sus correlaciones, los semi-ejes mayores y menores de la elipse pueden ser calculados.

La analogía bi-dimensional de SEP es un error circular probable (CEP), como se muestra en la Figura 63.- CEP es el radio dentro del círculo en el cual la posición de las verdaderas coordenadas horizontales tienen un 50% de probabilidad de ser localizadas o situadas.

Otra medida de precisión frecuentemente usada en la navegación es dos veces la raíz cuadrada implicada en el error de la distancia horizontal, ó 2 drms. Esto es igual a dos veces la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las longitudes de los semi-ejes mayor y menor del error de la elipse. Un círculo de radios 2 drms contendrá la verdadera posición horizontal con una cierta probabilidad. Desafortunadamente una desventaja o inconveniente de 2 drms como una medida de error es que aquella no corresponde a un valor fijado o probabilidad para un valor de error dado. La probabilidad varía con la excentricidad del error de la elipse, oscilando o variando de 95% (la elipse colapsa a una línea) a un 98.2% (la elipse se convierte en un círculo). Debido a esta variación en probabilidad, no hay una relación constante entre valores de 2 drms y CEP. El radio de 2 drms a CEP varía con la excentricidad del error de elipse de 2.4 a 3.

Debido a su amplio uso en la navegación, 2 drms es usado para especificar los niveles designados de la exactitud de posición horizontal por el Servicio de Posición Estándar GPS, (SPS) y por el Servicio de Posición Precisa (PPS). El último número o ejemplar de Plan de la Radionavegación Federal (FRP) determina que cuando GPS es declarado operacional, la exactitud horizontal para SPS se planea que sea 100 metros drms a una probabilidad de 95%.

Esto quiere decir que el 95% de todas las posiciones de ejes horizontales deberían de estar dentro de los 100 metros de la verdadera posición.

¿Pero que pasa con el otro 5%?, teóricamente, si los errores de posición debidos a los varios UEREs incluyendo SA son o provienen de una distribución de Gauss, podríamos ocasionalmente obtener extremadamente grandes errores. Sin embargo, el Departamento de Defensa controla SA de manera que las excursiones no excederán de 300 metros 99.99% del tiempo. El correspondiente diseño de 2 drms (95%) de exactitud horizontal para PPS es de 17.8 metros.

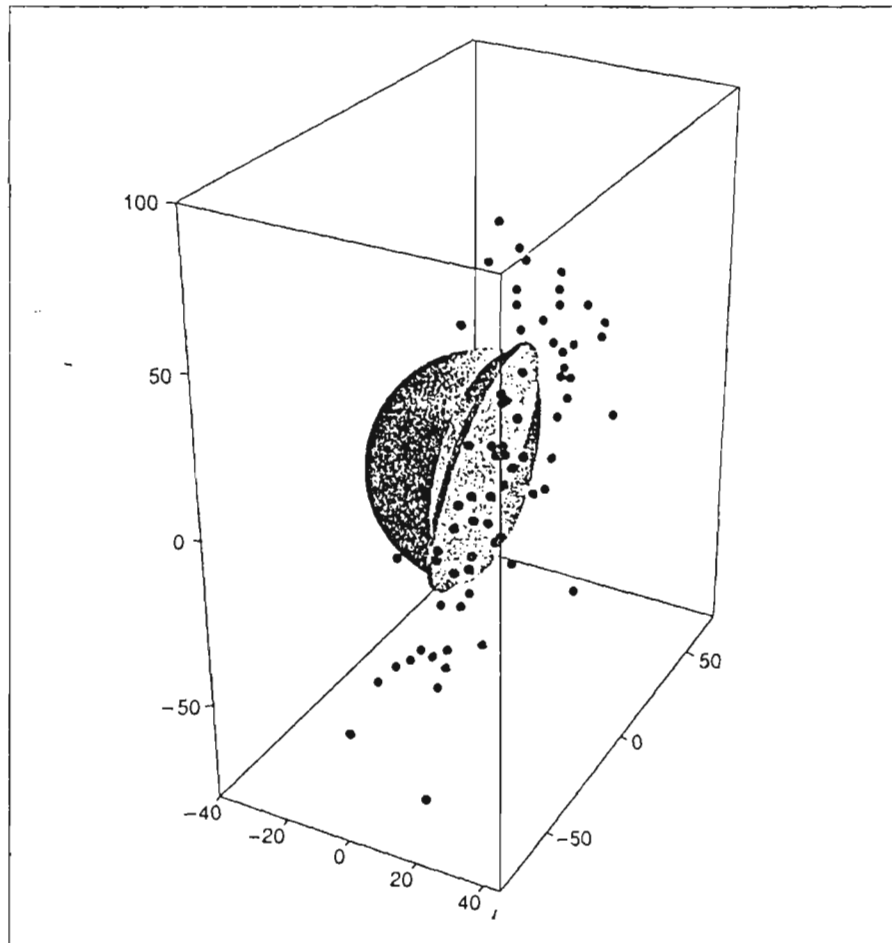


Figura 62.- Una muestra de 100 errores de posición tridimensionales normalmente distribuidos. Estos errores artificialmente generados tienen desviaciones estandard en Latitud, Longitud y Altitud de 15.2, 29.1 y 29.0 metros respectivamente. La correlación entre errores en Latitud y Longitud es -0.27; entre Latitud y Altitud, 0.18; y entre Longitud y Altitud, 0.73. Vistas de cruce seccional del error correspondiente elipsoidal y la esfera en un radio igual a la SEP (32,2 metros) se muestran. Puntos de información detrás de la esfera y algunos puntos en su interior están escondidos a la vista.

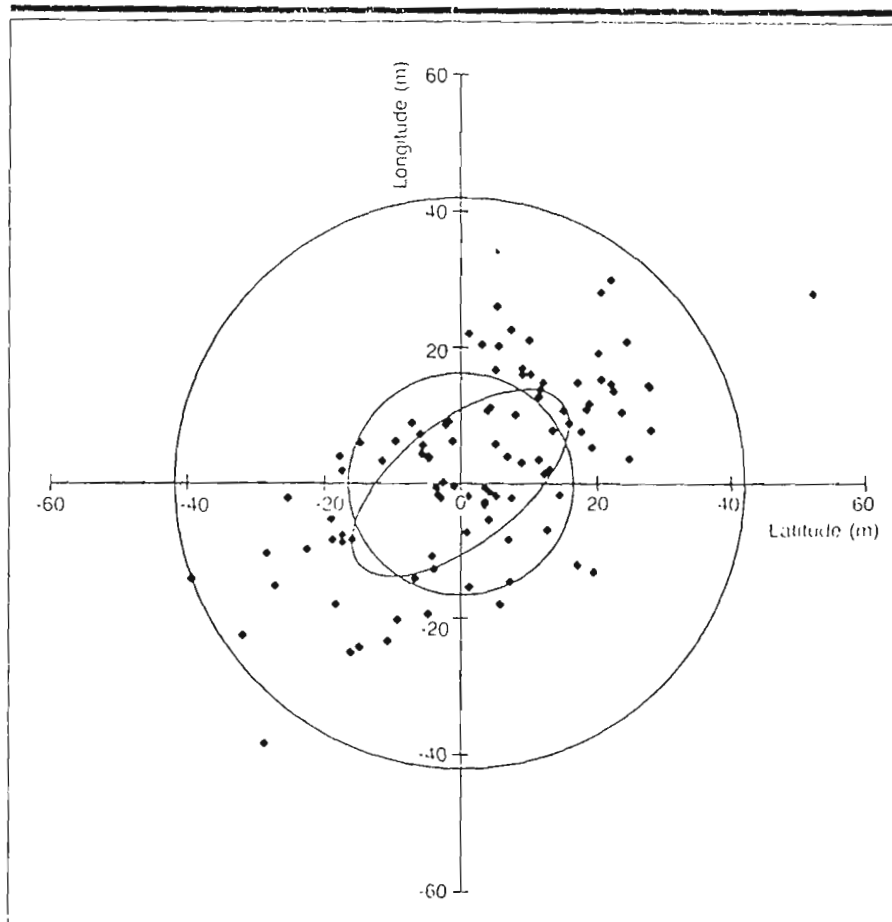


Figura 63.- Una muestra de errores de posición horizontal normalmente distribuidos. Estos errores artificialmente generados tienen desviaciones estándar en Latitud y Longitud de 15.8 metros y 13.6 metros, respectivamente, con correlación de 0.64. Se muestra el error de elipse al círculo de 2 drms. (41.8 metros) de radio, y el círculo con un radio igual al CEP (16.4 metros) correspondiente a esta muestra.

El FRP describe la exactitud diseñada del componente vertical de la posición derivada de un GPS en el nivel  $2\sigma$ . Ya que este corresponde a un 95 % del nivel de probabilidades, es consistente con la exactitud anotada para la posición horizontal. Para el SPS, el diseño vertical de



$2\sigma$  es 156 metros; para PPS, es de 27.7 metros. El FRP también da la exactitud planeada o diseñada de la sincronización del reloj receptor del nivel  $1\sigma$ . Para SPS, la exactitud está planeada a ser 167 milmillonésimas de segundo.

Debería hacerse notar que la posición anotada por PPS y la exactitud de tiempo son apreciaciones calculadas de GPS, y resultados superiores se han obtenido ya en la práctica. Significativamente exactitudes mayores pueden obtenerse por ambos usuarios PPS y SPS por medio de operar una manera o modo diferente con dos o más receptores usados simultáneamente. De hecho, casi todos los receptores SA pueden ser movidos cuando se opera de este modo.

**NOTA:**

1. Dilución de Precisión Geométrica (GDOP).
2. PDOP: Dilución en Presición de Posicionamiento.
3. HDOP: Dilución en Presición en Planimetría.
4. VDOP: Dilución en Presición en Altimetría.
5. TDOP: Dilución en Presición en Tiempo.

La exactitud del posicionamiento GPS depende de dos factores:

Error en la medida de distancia y error en la geometría de los satélites PDOP.

PDOP: Error de posicionamiento (tres dimensiones)

HDOP: Error horizontal (dos dimensiones)

VDOP: Error vertical (una dimensión)

TDOP: Error observado en el tiempo.

$$GDOP = ((PDOP)^2 + (TDOP)^2)^{1/2}$$

Pequeños valores de GDOP indican buena configuración geométrica de los satélites.

El PDOP se interpreta como el valor recíproco del volumen del tetraedro que forman los satélites con el observador.

Cuando el GDOP es la unidad, el error que cometemos en la determinación de la posición es el error de nuestra observación en distancia.

Se ha dado una breve mirada introductoria a la geometría, álgebra, cálculo y estadística involucrados en determinar posiciones usando GPS. Aunque un receptor GPS puede ser operado sin que el usuario conozca ninguna de estas matemáticas, una comprensión básica de como el receptor determina una posición es importante para valorizar la exactitud y confiabilidad de los números presentados en la pantalla de exhibición del receptor.

## CAPITULO VI

### ¿ Por qué es la señal GPS tan compleja ?

En estos párrafos continuaremos con la introducción a la tecnología del GPS y echaremos una mirada a las señales transmitidas por los satélites. Un conocimiento básico es un prerrequisito para obtener mejor rendimiento de un receptor GPS, ya sea que se use para navegación en un bote de pesca o para monitorear las deformaciones de la corteza terrestre. Para contestar la pregunta del subtítulo, esperamos descubrir algunos misterios que rodean a la señal del GPS.

Las señales de radio captadas por la antena de un receptor GPS son asombrosamente complejas. Pero esta complejidad da a su vez al GPS su versatilidad. Una vez que el sistema NAVSTAR GPS esté operando completamente, estará disponible continuamente, durante las 24 horas del día, en cualquier parte sobre o cerca de la superficie terrestre, proporcionando alta precisión en los posicionamientos, para la diversidad de usuarios. Para poder proporcionar tales servicios, los satélites GPS deben transmitir señales que contengan un número de diferentes componentes. Hagamos ahora una dicotomía de la señal y veamos que contiene esta.

El sistema GPS es solo unidireccional; las señales solamente son transmitidas por los satélites. Esta característica del sistema es obligada primeramente por el hecho que el GPS es fundamentalmente, un sistema militar. La seguridad militar requiere que los usuarios no divulguen la posición de los satélites enviando señales hacia ellos. Sin embargo, el requerimiento de que el GPS sea un sistema pasivo significa que ambos tanto receptor como satélite deben tener sus propios relojes debidamente sincronizados. Esta sincronización es realizada usando señales de ellos mismos y es la razón por la cual la señal debe provenir de 4 satélites, en lugar que solo de 3, para determinar una posición tridimensional, Latitud, Longitud y Altitud.

La otra razón por la cual el GPS es un sistema pasivo es que necesita servir a un cúmulo muy numeroso de usuarios. Los requerimientos militares solo involucra decenas o cientos de usuarios. Pero eventualmente el número de usuarios civiles es de millones.

#### Las ondas portadoras

Cada satélite GPS transmite señales concentradas en dos radiofrecuencias de microondas: 1 575.42 MegaHertz referida como LINK1, o simplemente L1; y 1 227.60 MegaHertz, referida como L2. Estos canales descansan en una banda de frecuencias conocidas como la Banda - L, la cual principia exactamente antes que las frecuencias usadas por los teléfonos celulares. La Unión Internacional de Telecomunicaciones, la rama de radio regulación de las Naciones Unidas, ha destinado sub-bandas especiales en el interior de la Banda-L para satélite, basada en los sistemas de posicionamiento. Las frecuencias L1 y L2 descansan dentro de estas bandas.

Tales altas frecuencias son usadas por diversas razones. Las señales como hemos dicho, consisten en un número de componentes, un ancho de banda de cerca de 20 MHz. es requerida para transmitir estos componentes. ¡ Este ancho de banda es igual a la totalidad de la banda de FM de radiodifusión!. Así una elevada, relativamente precisa parte del espectro de las ondas de radio se requiere para el tipo de señales GPS.

Las señales GPS proporcionan un medio para determinar no solamente alta precisión en las posiciones en tiempo real, sino también en las velocidades.

Las velocidades son determinadas para medir los ligeros cambios en la frecuencia de las señales recibidas debido al efecto Doppler -esencialmente el mismo fenómeno que se presenta en las ondas de sonido, cuando una sirena se acerca hacia nosotros, cuando pasa enfrente y

cuando se aleja, apreciamos una diferencia en el sonido. Para medir velocidades con precisión de centímetros por segundo, se requieren centímetros de longitud de onda (microondas).

Otra razón por la cual se requieren altas frecuencias es para reducir el efecto de la ionósfera. El rango entre el cual un satélite y un receptor manejan la señal para medir el tiempo de viaje de las microondas contendrá errores. El tamaño de los errores que se obtienen varían según las frecuencias que se están usando que van de las más bajas a las más altas. Sin embargo en la frecuencia L1 el error puede alcanzar los 30 metros de una señal que llegue directamente a la antena del receptor.

Para algunas aplicaciones GPS, un error de esta magnitud es tolerable. Sin embargo, otras aplicaciones requerirán de mucha más alta precisión. Este es el motivo por el cual los satélites GPS transmiten en dos frecuencias. Si las mediciones se efectúan simultáneamente en dos frecuencias espaciadas y se combinan, casi todos los efectos de la ionósfera pueden ser eliminados. Aunque las altas frecuencias son deseables por las razones que se dan a continuación, no deben ser demasiado altas. Para un transmisor de potencia, una señal recibida del satélite llega a hacerse demasiado débil mientras la frecuencia usada llega a ser más alta. La banda L de frecuencias usada por GPS son por esta razón un buen arreglo entre este así llamado espacio perdido y el efecto perturbador de la ionósfera.

Las señales del GPS, como la mayor parte de las señales de radio, salen de los satélites como ondas sinusoidales o portadoras. Pero las puras sinusoidales no pueden ser usadas para determinar posiciones en tiempo real efectivo. Aunque la fase de un ciclo en particular de una onda portadora puede ser medida con mucha precisión, cada ciclo en la onda es igual al siguiente, así que esto dificulta saber exactamente cuántos ciclos existen entre el satélite y el receptor. Esta ambigüedad puede ser resuelta empleando la técnica diferencial que uso el Surveyor.

### Los códigos

Para que un usuario pueda obtener posiciones independientemente en tiempo real, las señales deben ser moduladas; esto es, las ondas sinusoidales deben ser alteradas en tal forma que la medición del tiempo de retardo pueda efectuarse. Esto es realizado por la modulación de las portadoras con los códigos de **Pseudo Ruido Fortuito** (PRN, Pseudo Random Noise).

Estos códigos PRN consisten en secuencias de valores binarios (ceros y unos) que, a primera vista, aparentan haber tenido origen fortuito. Pero una verdadera secuencia fortuita puede solamente aparecer de causas impredecibles, por supuesto, quisiéramos tener control, y que no se pudieran duplicar. Sin embargo, usando un algoritmo matemático o hardware especial llamado conexión de registros de retroalimentación (Tapped Feedback Registers), se pueden generar secuencias que no se repitan hasta después de algunos intervalos de tiempo. Tales secuencias son nombradas Pseudorandom. Las aparentes casualidades de estas secuencias las hacen indistinguibles de cierta clase de ruido tal como el siseo que se escucha cuando un radio no está bien sintonizado o la "nieve" que se ve en una pantalla de televisión. Aunque el ruido en las comunicaciones es generalmente indeseable, en este caso el ruido es muy benéfico.

Exatamente los mismos códigos de secuencias son independientemente replicados en un receptor GPS. Para alinear la secuencia opuesta con una recibida y conociendo el tiempo en que la señal fue transmitida por el satélite, el tiempo de traslado, y por consiguiente el rango, puede ser medida, cada satélite genera su único y propio código, así que un receptor GPS puede fácilmente identificar que señal proviene de cual satélite, también cuando las señales de varios satélites llegan simultáneamente a su antena.

Dos diferentes códigos PRN son transmitidos por cada satélite: el C/A, o código burdo de adquisición y el código P, o de precisión. El código C/A es un resultado de 1 023 dígitos binarios, o chips, los cuales son repetidos cada milisegundo. Esto significa que los chips son generados en un rango de 1. 023 millones por segundo y que cada chip tiene una duración de un microsegundo.

Cada chip, está montado sobre la onda portadora y viaja a través del espacio a la velocidad de la luz. Podemos por esta razón obtener una unidad de distancia al multiplicar el intervalo de tiempo por la velocidad (distancia = tiempo por velocidad). Un microsegundo se traduce aproximadamente a 300 metros. Esta es la longitud de onda del código C/A. Debido a que el código C/A es repetido cada milisegundo, un receptor GPS puede rápidamente enganchar la señal e iniciar la contienda entre el código recibido con el generado por el receptor.

La precisión de un rango de medición es determinada en parte por la longitud de onda de los chips en el código PRN. Precisiones mas altas pueden ser obtenidas por longitudes de onda mas cortas. Para obtener precisiones mas altas que aquellas provistas por el código C/A, los satélites GPS también transmiten el código P. La longitud de onda de los chips del código P es sólo de 30 metros, un décimo de la longitud de onda de los chips del código C/A; la proporción es de 10 veces mas rápida la generación de chips: 10.23 millones por segundo.

El código P es una secuencia extremadamente larga. El modelo de chips no se repite hasta después de 266 días, o alrededor de  $2.35 \times 10^{14}$  chips. A cada satélite le es asignado un segmento de este código una vez a la semana, el cual es inicializado a la media noche entre sábado y domingo de cada semana.

Los códigos PRN tienen convenientes propiedades adicionales. Cuando el receptor está procesando las señales provenientes de algún satélite, es importante que las señales recibidas simultáneamente de otros satélites no interfieran.

Los códigos PRN han sido especialmete elegidos para ser resistentes a estas interferencias.

También, el uso de códigos PRN dá como resultado una señal que es esencialmente impenetrable ya sea sin intención o que quieran ser deliberadamente interferidas por otras radio señales, una posibilidad que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica, los dueños del sistema, se han preocupado por ello.

Acualmente, el código C/A es modulado en la portadora L1, mientras que el código P es transmitido en ambas L1 y L2. Esto significa que solamente los usuarios con receptores GPS con doble frecuencia pueden corregir los rangos por efecto de la ionósfera. Los usuarios con receptores de una sola frecuencia deben recurrir a modelos que cuantifiquen una parte del efecto de la ionósfera.

El acceso a la baja precisión código C/A está disponible a través del GPS Standard Positioning Service (SPS), el nivel de servicio autorizado para usos civiles.

El Precise Position Service (PPS) provee acceso a ambos el código C/A y el código P y es designado primordialmente para usos militares.

### **La Emisión de la Señal**

Para convertir los rangos de medida entre el receptor y los satélites a una posición, los receptores deben conocer la posición de los satélites. Para lograr esto se requiere que los satélites emitan esta información. En consecuencia, existe un mensaje superpuesto a lo largo de ambas portadoras L1 y L2 con el código PRN. Cada satélite contiene su propio mensaje de radio el cual contiene la información orbital (las efemérides) para ser usadas en el cálculo de la posición, la deriva del reloj del sistema de tiempo GPS, información de la "salud" del satélite y el rango de precisión esperado en la medición.

El mensaje también contiene información del almanaque para los otros satélites en consecuencia GPS, así como su estado de salud (también de los otros satélites). Los datos del

almanaque, una descripción "cruda" de la órbita, son usados por el receptor para determinar la ubicación de cada satélite. El receptor usa esta información para adquirir rápidamente las señales provenientes de los satélites que están sobre el horizonte pero que no están todavía enganchados. Así, uno a uno los satélites son enganchados y su mensaje decodificado, la adquisición de las señales de otros satélites es rápida.

El mensaje de radio también contiene otras importantes secciones de información para los receptores que siguen el código P. Como se mencionó anteriormente, se asigna el segmento del código P a cada satélite por espacio de 7 días. Un receptor GPS con una desincronización inicial en su reloj tiene que buscar a través de su secuencia generada por el código P para tratar de emparejar la señal de entrada. Esto puede tomar muchas horas de búsqueda a través de un segundo exacto del código, así que el receptor necesita de alguna ayuda. Obtiene esta ayuda de una palabra especial en el mensaje llamada Hand - Over Word (HOW), la cual dice al receptor donde iniciar la búsqueda en el código. El mensaje GPS radiado es enviado a una tasa relativamente baja de 50 bits por segundo, tomando 12.5 minutos para transmitir toda la información. Para minimizar el tiempo que toma un receptor en obtener la posición inicial, las efemérides y la información de la deriva del reloj del satélite son repetidas cada 30 segundos.

Los haces de chips de los códigos C/A y P están separadamente combinados con el mensaje bits usando el módulo 2 de adición. Esta es justamente la adición binaria que ejecutan las computadoras electrónicas digitales. Si el código chip y el mensaje bit tienen el mismo valor (ambos cero o ambos uno), el resultado es cero. Si los valores del chip y del bit son diferentes, el resultado es uno. Las portadoras son entonces moduladas por el código y el mensaje de la señal compuesta.

Este proceso es prontamente realizado por el canal L2 porque este contiene solamente el código P. Pero el canal L1 debe contener ambos al código P y al código C/A. Este resultado es realizado por una hábil técnica conocida como cuadratura de fase. La señal del código P es superpuesta sobre la portadora L1 del mismo modo que en la portadora L2.

Para obtener la señal del código C/A en la portadora L1, la portadora demodulada es conectada y cambiada de fase a  $90^\circ$ . Esta componente de cuadratura de la portadora es mezclada con la señal del código C/A y entonces combinada con la componente del código P en fase antes de ser transmitida por la antena espacial.

Las ondas portadoras pueden ser moduladas de diferentes maneras. La amplitud de la portadora puede ser variada, la frecuencia o la fase. Las modulaciones de fase es el método empleado para las señales GPS. Porque los códigos PRN y el mensaje son efusiones binarias, allí se encuentran dos estados de la fase de modulación. Estos dos estados son el estado normal, representado por un binario cero (0), y el estado de imagen de espejo, representado por un binario uno (1). El estado normal deja a la portadora inalterada. El estado de imagen de espejo da como resultado la demodulación de la portadora siendo multiplicada por -1. Por esta razón, un código de transición sea del 0 al 1 (normal -a imagen de espejo) ó del 1 al 0 (imagen de espejo -a normal) involucra a una reversión de fase o un cambio de fase a  $180^\circ$ . Esta técnica es conocida como Modulación Binaria Bifásica.

Una propiedad interesante de la modulación binaria bifásica fué explotada por uno de los primeros receptores GPS comerciales, el Macrometer.

Electrónicamente sin distorsión la señal recibida, toda la modulación fué removida, dejando una portadora pura. La fase de la portadora pudo entonces ser medida para dar las clases de ambigüedades usadas por los agrimensores. Por supuesto, el mensaje radiado se perdió en el proceso y, consecuentemente, la información de la órbita debe ser obtenida de un recurso alterno.

El control de la sincronización y frecuencia para las portadoras, los códigos PRN, y el mensaje todos provienen de un oscilador atómico que se encuentra a bordo del satélite. Cada

satélite tiene cuatro osciladores, uno de los cuales es seleccionado por la Estación de Control Maestro para control de la señal.

La composición de la señal GPS consiste entonces de portadoras moduladas por los códigos PRN, C/A, P y el mensaje de radio. La combinación de estos diferentes componentes se ilustran en la Figura 64.

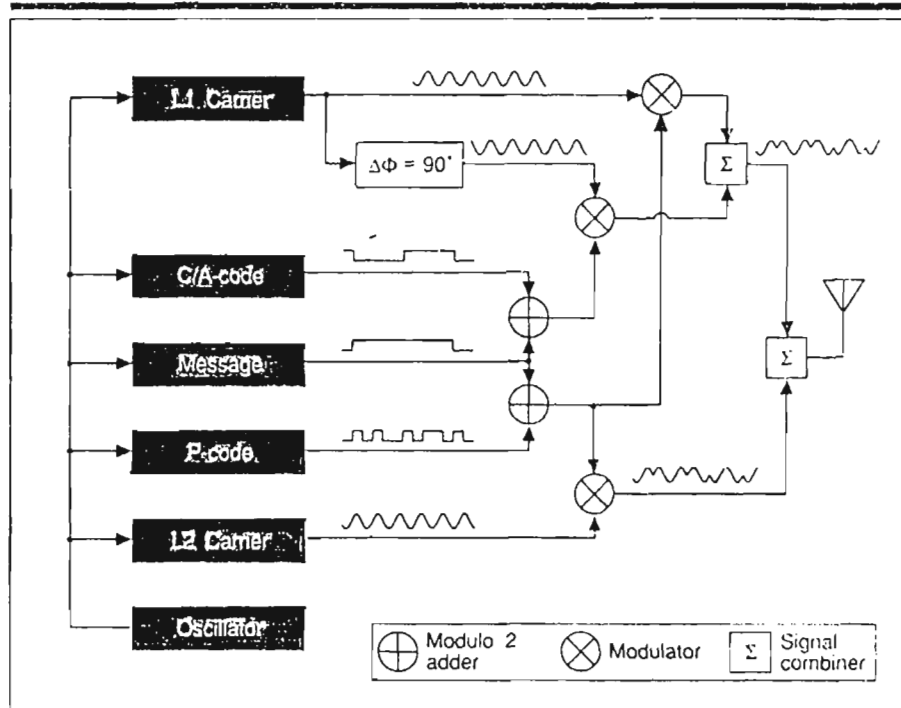


Figura 64.- La forma en que los diferentes componentes de la señal GPS son combinados. Note que las diferentes representaciones de las ondas de radio no están a escala.

Olvidando por un momento que el GPS es un sistema de medición, podríamos considerar a los satélites ser simplemente emisores del mensaje de radio de manera codificada. Los bits del mensaje han sido mimetizados en los chips del código PRN. El resultado de esta mimetización es incrementar el ancho de banda de la señal. En lugar de que ocupe solamente la fracción de un KiloHertz, la señal ha sido extendida arriba de 20 MegaHertz.

Dentro de un receptor GPS, la operación de unión del código "de despliegue" de la señal, permite al mensaje ser recuperado.

Evidentemente, esto solo puede hacerse si el receptor reconoce los códigos correctos. La operación de despliegue recíprocamente aparta cualquier señal de interferencia, reduciendo considerablemente sus efectos. Naturalmente en los círculos militares por razones de seguridad se combate la interferencia, esta técnica es conocida como ( Direct-Sequence Spread-Spectrum Communication), secuencia directa del espectro desplegado de comunicación.

Las señales del espectro desplegado de comunicación tienen la propiedad adicional de limitar la interferencia de señales reflejadas de objetos cercanos -un fenómeno conocido como multipath.

El Departamento de Defensa de los EE.UU. tiene reservados los derechos de cifrar o kriptografiar el código P, algunas veces llamado Antispoofing (AS) Anti Engaño. Cuando el AS es activado, el código "Y" es transmitido en lugar del código P. El código Y es creado por combinación de un código secreto, (código W), con el código P normal. Solamente usuarios autorizados, (por ejemplo, militares), podrán conocer el código W. Se cree que el AS solamente será activado en tiempo de Emergencia Nacional y para propósitos breves de prueba.

#### **Ingredientes de las Señales de GPS.**

##### Frecuencias y Códigos

fo frecuencia fundamental del reloj a bordo

Factores de multiplicación (154 y 120)

Frecuencias portadoras (L1 y L2)

Efecto Doppler

Código C/A (Coarse Acquisition)

Código P

Código Y

Códigos PRN (Pseudo Random Noise)

Modulación Bifásica

Mensaje Radiado (BC message)

AS (Anti-Spoofing) y SA (Selective Availability)

Reloj fundamental GPS, el reloj atómico oscila a una frecuencia

$f_0 = 10.23 \text{ MHz} = 10.23 \times 10^6 \text{ ciclos/seg.}$  Cada segundo = 10 230 000 ciclos.

El reloj atómico dá 10 230 000 tics en cada segundo.

Factores de multiplicación (154 y 120)

$L1 = f_0 \cdot 154 = 1\,575.42 \text{ MHz}$  ( $\lambda_1 = 19.04 \text{ cm.}$ )

$L2 = f_0 \cdot 120 = 1\,227.60 \text{ MHz}$  ( $\lambda_2 = 24.44 \text{ cm.}$ )

Se multiplica la frecuencia fundamental para obtener las dos frecuencias portadoras L1 y L2 que son frecuencias asignadas por acuerdo internacional para evitar interferencias a otras bandas de radio.

Frecuencias portadoras L1 y L2

Una "portadora" es una señal que no lleva información, o datos, o modulación. Es una senoide repetida.

Efecto Doppler

Afecta a todas las ondas electromagnéticas y se debe al desplazamiento relativo entre el emisor y el receptor.

Código C/A (Coarse Acquisition)

El Código C/A ( o código S) es una serie única ceros y unos diferente para cada satélite. Cada cero o uno se puede poner en la portadora cada diez tics del reloj fundamental  $f_0/10 = 1 \text{ MHz}$ .

Como el reloj dá 10 230 000 tics por segundo, hay 1 023 000 ceros o unos de código C/A cada segundo. Sin embargo este código se repite cada milésima de segundo ( $10^{-3} \text{ seg.}$ )

Código P

El código P es otra serie de ceros y unos. Cada cero o uno se puede poner en la portadora en cada uno de los tics del reloj fundamental.

10 230 000 ceros o unos se registran cada segundo.

La secuencia completa del código P dura 38 semanas (267 días), 9 horas 45 minutos y 55.5 segundos (235 469 592 765 000 bits).

A cada satélite GPS se le asigna una fracción exacta de una semana de la secuencia total, que no se solapa con la de otros satélites.

Código "Y"

Este es un código similar al P empleado por el Departamentode Defensa de los E.U.A. cuando AS está en operación. Este código es secreto e impide el acceso a las señales GPS a todo usuario no autorizado.



## Códigos PRN (Pseudo Random Noise)

Todos los códigos descritos antes se llaman de ruido pseudo aleatorio. Los ruidos son en realidad creados por una ecuación matemática y no son aleatorios, por eso el prefijo "pseudo". El único ruido es el ruido de fondo característico de todas las señales de radio.

## Modulación Bifásica (equivalencias)

Para obtener ceros o unos binarios.

Se multiplica la señal por: 1 ó -1

Se le añade al sen: 0° ó 180°

$$\text{sen}(\omega / 0^\circ) = \text{sen}\omega$$

$$\text{sen}(\omega / 180^\circ) = -\text{sen}\omega$$

## Mensaje radiado o de navegación (BC message).

Otra serie de ceros y unos binarios. Pero está codificado; es un mensaje con información. Se transmite a una frecuencia de 50 Hz = 50 bips. Cada secuencia unidad (frame = "bloque") dura 30 segundos, por tanto un bloque tiene 1 500 bits.

## AS (Anti-Spoofing)

Potencias hostiles pueden enviar señales con código P y "engañar" (spoof) a los militares. Para evitar esto, el Departamento de Defensa de los E.U.A. puede introducir el código "Y" cuando lo crea conveniente. en este caso, se necesitaría una clave especial para leer el código "Y", sin ella no podríamos usar el código P. La técnica de añadir una clave al código P es a lo que se llama anti - spoofing o "anti - engaño".

## SA (Selective Availability)

El Departamento de Defensa de los E.U.A. puede intencionalmente acelerar o desacelerar de forma controlada los relojes de GPS. Esto se llama SA Dither. El usuario debe conocer la clave para eliminar la degradación impuesta.

El Departamento de Defensa de los E.U.A. puede degradar la información que los satélites GPS envían en el mensaje de navegación. Esto se llama SA Epsilon.

## Formatos del Mensaje de Navegación.

Estructura del mensaje (nomenclatura)

Bloques (Frames)

Sub - bloques (subframes)

Palabras (words)

Bits

El mensaje completo (Master frame) tiene 25 bloques.

Elementos del mensaje

Un bloque	tiene	5 sub - bloques
Un sub - bloque	tiene	10 palabras
Una palabra	tiene	20 bits
Un bit	es un	cero ó uno

## Número total de elementos del mensaje

25 bloques  
125 sub - bloques  
1 250 palabras  
37 500 bits

## Duración de los elementos del mensaje

Un bloque	dura	30	segundos
Un sub - bloque	dura	6	segundos
Una palabra	dura	0.6	segundos
Un bit	dura	0.020	segundos
Mensaje total	dura	750	segundos = 12.5 minutos

## Contenido del Mensaje de Navegación

### Sub - bloque 1

Semana GPS; estado y exactitud de la información; época y edad de los datos; coeficientes para corregir el tiempo de los datos.

### Sub - bloques 2 y 3

Parámetros orbitales (contiene los elementos keplerianos y sus correcciones)

### Sub - bloque 4

Almanques (efemérides aproximadas) para los satélites 25-32 (páginas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)

Modelo para la ionósfera (página 18)

Información sobre AS (página 25)

Configuración de la constelación (página 25)

Salud de los satélites 25 - 32 (página 25)

Páginas reservadas (1, 6, 11, 12, 16, 19, 20, 24)

Páginas suplentes (13, 15)

Mensajes especiales (página 17)

### Sub - bloque 5

Almanaque para los satélites 1 al 24 (páginas 1 - 24)

Salud de los satélites 1 al 24 (página 25)

Al principio de cada sub - bloque hay dos palabras especiales llamadas **telemetry word** (TLM) y **hand over word** (HOW). Dan información sobre como sincronizar el código P y el tiempo de inyección.

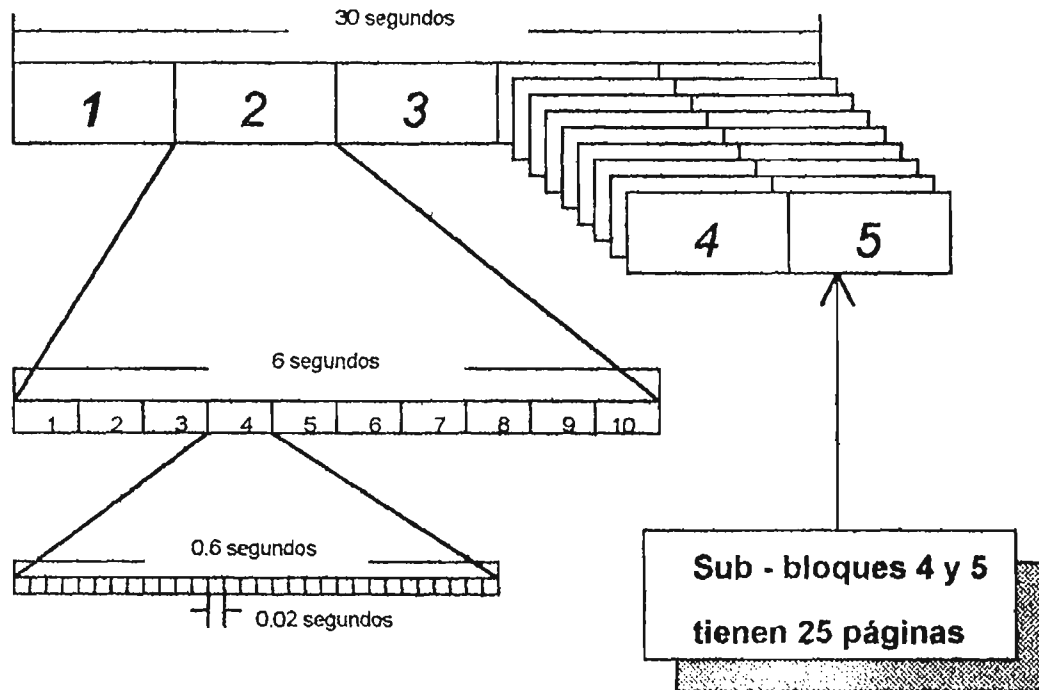
## Número de bits en cada elemento del mensaje.

Si recordamos que el mensaje se transmite con una frecuencia de 50 MHz aprox. 50 bips:

Un bloque	tiene	$30 \times 50 = 1\ 500$	bits
Un sub - bloque	tiene	$6 \times 50 = 300$	bits
Una palabra	tiene	$0.6 \times 50 = 30$	bits

Mensaje = 25 bloques =  $25 \times 1\ 500 = 37\ 500$  bits

Figura 65.- Los sub - bloques 1, 2 y 3 se repiten en los 25 bloques (páginas) del mensaje.



Hasta aquí se ha examinado la estructura de una señal transmitida por un satélite GPS y se han identificado sus componentes y sus propósitos. El Sistema de Posicionamiento Global NAVSTAR es un sistema extraordinariamente versátil que satisface las necesidades de navegación, agrimensura y otras, en ambas comunidades, civiles o militares. La múltiple naturaleza de una señal GPS hace que todo esto sea posible.

El tiempo GPS se representa con el número de la semana y los segundos desde el principio de semana.

Empieza a medianoche entre el sábado y el domingo y dura desde cero segundos hasta 604 800 segundos al final de la semana.

La diferencia entre UTC y tiempo GPS es radiada por los satélites y contenida en el mensaje de navegación.

Hoy: Tiempo GPS = UTC + 9 segundos.

Una vez que el tiempo GPS es corregido con los leap seconds, el tiempo GPS y el UTC no se diferencian en más de 200 nonasegundos.

En lugar de constantemente ajustar los relojes de cada satélite, las correcciones de los relojes se envían al usuario de GPS en el mensaje de navegación.

### **Escalas de Tiempo.**

Unidad: Segundo (SI); Sistema Internacional de Unidades <<Duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de Césium 133>>

Epoca aproximadamente igual al instante del evento

Intervalo aproximadamente igual al tiempo entre dos épocas

Tiempo Atómico Internacional (TAI), este está definido por IERS

Tiempo Universal (Está basado en la rotación de la tierra)

UTC Tiempo Universal Coordinado; antes GMT.

Ejemplo de semana y día GPS.

De acuerdo a lo escrito anteriormente, tendremos que hoy día 12 de julio de 1994, su equivalente en tiempo GPS será:

Semana número 757 (Semanas transcurridas desde el día 06 de enero de 1980)

Día 193 (porque se toma el día corrido del año iniciando desde el 01 de enero de cada año.

## CAPITULO VI

### LAS LIMITACIONES DEL GPS.

Desafortunadamente el GPS no es una panacea, su actuación en ciertos ambientes y para ciertas aplicaciones en particular puede ser bastante limitada.

En estos casos el GPS no nos puede dar una respuesta, o nos puede dar una respuesta errónea, o una respuesta con precisión insuficiente cuando le preguntemos, ¿en donde estamos?.

Se ilustrarán estas limitaciones en tres escenarios describiendo su uso para posicionamiento, navegación y agrimensura. Se comentará sobre algunos problemas potenciales con GPS que pueden llevarnos a obtener resultados muy poco o nada satisfactorios..

La capacidad de posicionamiento fué ilustrada por la descripción de como una fuga de gas en el gasoducto principal subterráneo en Gotham City fué localizado a través de la combinación del GPS y el Departamento Municipal de Ingeniería del Sistema de Información Geográfica (GIS). Una hipótesis mas importante en este escenario fué que la señal de recepción del GPS no sería un problema en los cañones de concreto de una mayor área urbana.

La capacidad de navegación del GPS fué descrita usando un barco petrolero ficticio aproximándose al puerto de Rotterdam. El barco fué guiado con seguridad por un GPS basado en un sistema de navegación sorteando todos los riesgos de la navegación desde mar abierto hasta atracar en puerto seguro. Este felizmente tranquilo viaje fué posible porque la confianza del sistema de navegación GPS estuvo garantizada. Apropriadamente mediciones han sido efectuadas para detectar posibles sistemas con fallas en su funcionamiento.

Sin apropiados monitores y la integridad de la señal GPS, podría ser riesgoso confiar en la navegación GPS en un ambiente peligroso.

En agrimensura, el GPS es usado para medir distancias entre vértices topográficos o geodésicos, el GPS es el principal candidato para satisfacer la mayor parte de las demandas de los agrimensores, tales como aquellas concernientes a la determinación de las deformaciones de la corteza de la Tierra durante y después de un temblor. En el futuro será siempre posible usar un GPS para medir las pequeñas deformaciones que ocurren justamente antes de que dé inicio un temblor de Tierra. En este caso, el GPS podría ser parte de un sistema de predicción y prevención de sismos.

Sin embargo, sin suficiente precisión de la señal GPS, estas pequeñas deformaciones pueden permanecer ocultas bajo la detección del umbral del escrutinio GPS.

#### **Tres Limitaciones.**

Ahora veremos los 3 problemas en particular en las áreas que han sido identificadas aquí: pobre recepción de la señal GPS, pérdida de la señal GPS, y limitada precisión de posicionamiento. También veremos las formas de superar algunas de estas limitaciones.

#### **La recepción de la señal GPS**

El conveniente funcionamiento de un receptor GPS requiere la imperturbable recepción de señales de por lo menos 4 satélites GPS. Estas señales propagadas desde los satélites a la antena del receptor a lo largo del horizonte del observador y no puede penetrar cuerpos de agua, suelo, muros u otros obstáculos. Por lo tanto, el GPS no puede ser usado para la navegación submarina ni para posicionamiento ni topografía subterránea, por ejemplo en minas y túneles. En navegación

superficial y aplicaciones de posicionamiento, la señal puede ser obstruida por árboles, edificios y puentes. En muchos casos esta pantalla que no permite la recepción de la señal será transitoria, y por esta razón no será un estorbo severo en la posición. Sin embargo, dentro de la ciudad en áreas urbanas en donde existan edificios altos, la "visibilidad" de los satélites GPS es muy limitada. En tales áreas las señales pueden ser obstruidas por extensos períodos de tiempo o continuamente no encontrarse disponibles.

Transitoriamente el apantallamiento de la señal por la configuración topográfica del terreno y puentes puede también ocurrir en la navegación costera y en la navegación terrestre. Dependiendo de la ubicación de la antena GPS a bordo y el movimiento de la embarcación, precisamente la propia superestructura de las embarcaciones puede bloquear temporalmente la señal. En aplicaciones de aerotransporte, la señal puede apantallarse por el fuselaje de la aeronave y las alas pueden ocasionar escollos para la recepción.

Escencialmente, los usuarios de GPS- basados en el sistema de navegación tienen dos opciones para manejar tales situaciones. Ellos pueden predecir que estos problemas no permanecerán por mucho tiempo, en cuyo caso el usuario esperará que nada serio ocurrirá durante el tiempo en que la señal se pierda. De manera alternativa, los usuarios pueden emplear otros medios para añadir otro sistema independiente de navegación, el cual permita salvar aquellos períodos cuando el GPS es incapaz de proveer una solución en la navegación.

### **Integridad de la Señal GPS**

Un receptor GPS/ procesa y calcula su posición por medio de la medición del tiempo que tarda en llegar la señal del satélite al receptor, usando la posición de los satélites deducida de la información codificada en la señal transmitida por el "mensaje del satélite". Con una medición a cada uno de los 4 satélites se encontrará una única solución a la posición del receptor. Sin embargo, un error en la posición del satélite o un error en la medición de la distancia traerá como resultado un cálculo incorrecto en la posición del receptor. Si este error no es detectado, el usuario no sabrá que la posición presentada en la pantalla del receptor no es correcta. Obviamente esta situación es potencialmente desastrosa. Por esto, la edición de la integridad del monitoreo de la señal GPS ha llegado a ser de mucha importancia, particularmente dentro de la comunidad de la aviación civil.

Al menos dos proyectos han sido propuestos para detectar los errores en la señal GPS y advertir a los usuarios del sistema. El GPS Integrity Channel (GIC) concepto empleado en el receptor GPS estacionario de ubicación conocida permite el monitoreo inmediato de la calidad de las señales GPS recibidas. Si alguna contiene irregularidades o se le detectan errores considerables, un mensaje de advertencia es inmediatamente transmitido a los usuarios de GPS.

El segundo esquema, Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM), no requiere de estaciones especiales de monitoreo, RAIM está basado sobre un receptor que mide la distancia a 4 o mas satélites. Un mínimo de 4 distancias se requieren para fijar una posición, las mediciones adicionales pueden ser usadas para identificar señales anormales y alertar a los usuarios de ello. Este tipo de monitoreo absoluto mejora con el número de satélites usado para la medición, y será muy provechosa la combinación de los sistemas de navegación GPS Americano y el GLONASS Soviético que conjuntará un total de 48 satélites en órbita.

### **Precisión de la señal GPS**

En cualquier sistema de medida existe un límite para la precisión con la cual pueden efectuarse las mediciones. La precisión puede ser limitada por la forma de construcción del sistema, las leyes de la física, o la manera de como es usado el sistema. El Sistema de Posicionamiento Global no es la excepción.

Un receptor GPS esencialmente mide el tiempo de viaje requerido por una señal desde el satélite hasta el receptor. Este tiempo de viaje es convertido a un rango de medida al multiplicarlo

por la velocidad de la luz;  $\text{Distancia} = \text{Velocidad} \times \text{Tiempo}$ . Sin embargo, esta medida es alterada por un número de diferentes errores, cada uno de los cuales puede ser expresado como un "User Equivalent Range Error" (UERE).

Intentamos eliminar estos errores de una o dos maneras. La primera es abstraer directamente el error de la medición. Estas correcciones son calculadas usando ecuaciones matemáticas o modelos que definen como pensamos que los errores afectan nuestra medición. Un número de tales modelos son incluidos en los programas del microprocesador del receptor GPS. También muchos modelos sofisticados son usados por científicos e ingenieros quienes se interesan en las altas precisiones y quienes también procesan la información GPS en sus propias computadoras.

La otra forma en que también podemos reducir los UEREs es en el modo en que hacemos las mediciones. Se ilustrará esto con algún ejemplo mas tarde. Cualquier error que no es eliminado del rango de mediciones se reflejará en los cálculos de posición del receptor.

### **Tipos de Errores**

Las mediciones GPS pueden ser influenciadas por errores introducidos desde el satélite cuando la señal es generada y transmitida, errores causados mientras la señal viaja desde el satélite a los receptores de los usuarios, y errores introducidos cuando las mediciones son hechas en el receptor.

### **Errores de los Satélites**

Dos diferentes efectos asociados con el satélite contribuyen a generar errores. Como fué mencionado anteriormente. Los satélites GPS transmiten, a través del mensaje, información sobre su posición -conocida como efemérides- Las cuales son usadas en el cálculo de la posición del receptor.

Estas efemérides son predichas por observaciones previas de los satélites desde las estaciones de control GPS. Porque la predicción de efemérides puede hacerse con absoluta precisión, las posiciones calculadas de los satélites por medio del mensaje están contaminadas por el "error de las efemérides del satélite"

Como hemos visto, la distancia entre el satélite y el receptor es obtenida de la señal de viaje -tiempo medida se obtiene por comparación de un reloj en el satélite y un reloj en el receptor. Aunque los relojes usados en los satélites GPS son de la mas alta calidad, no son perfectos. Por esto el viaje - tiempo medida y la correspondiente distancia entre el satélite y el receptor será contaminada por un error del reloj del satélite. El efecto combinado de la órbita de los satélites y los errores del reloj en el rango de medición está en el orden de unos pocos metros, en promedio.

Para hacer mas complicado el asunto, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos planeó deliberadamente degradar la precisión de ambos, la emisión de las efemérides y los relojes de los satélites GPS. Esta acción es la Disponibilidad Selectiva Limitada y es un esfuerzo para restringir la capacidad de precisión para la mayor parte de los usuarios civiles de GPS. Las degradaciones pueden ser removidas usando un código clasificado y solamente aquellos con acceso al código podrán remover los efectos de la (Selective Availability) (SA), disponibilidad selectiva de sus rangos de medición. SA incrementará el rango de error a unas pocas decenas de metros, en promedio.

### **Errores en la Propagación de la Señal**

La segunda categoría de errores es introducida cuando las señales provenientes de los satélites GPS pasan a través de la atmósfera terrestre en su ruta hacia el receptor sobre o cerca de la superficie de la tierra. La refracción afecta, la velocidad de las señales de radio cuando

atraviezan la atmósfera. Esto ocasiona un error en la trayectoria derivada de la medición del tiempo de viaje de la señal.

La atmósfera demanda un doble esfuerzo de la señal GPS. La señal es primero afectada por la ionósfera, la parte mas alta de la propia atmósfera, la que contiene un gran número de partículas cargadas de electricidad. El número de partículas no es constante. Por esto, el efecto sobre el tiempo de viaje de la señal, el error de refracción de la ionósfera, varía día a día y de lugar a lugar. En algunas circunstancias, esto puede importar a lo mucho 30 metros en dirección vertical. Para la recepción de la señal desde el horizonte, este número típicamente se multiplica por un factor 3.

El estado de la ionósfera no puede predecirse fácilmente. Pero una propiedad básica del error ionosférico es que este es diferente para señales de diferente frecuencia. Este rasgo puede ser usado para la corrección del error y será discutido mas adelante.

La señal GPS también es afectada por la parte mas baja de la atmósfera - la tropósfera- dando lugar al error por refracción troposférica. Este error también varía temporal y espacialmente, y es cercano a 2.3 metros en dirección vertical. Para señales recibidas cercanas al horizonte estas deben multiplicarse por un factor 10.

El error troposférico no es frecuentemente dependiente, pero esto puede ser calculado con una precisión de unos cuantos centímetros efectuando observaciones de las condiciones atmosféricas (presión y temperatura) en el sitio del receptor.

### **Errores del Receptor**

El tercer grupo de errores es el originado en el receptor GPS o su antena. Ello incluye el error o deriva del reloj del receptor y medida del ruido. Comparado al error o deriva del reloj del satélite discutido anteriormente, el error o deriva del reloj del receptor es generalmente mayor y tiene que ser tratado como una cantidad desconocida, así como la posición del receptor. Esto es por la razón de que necesitamos medir las señales desde 4 satélites para poder determinar una posición tridimensional. La medición del ruido depende del tipo o "norma" usada por el rango de medición. Las señales GPS contienen 3 reglas con diferentes resoluciones; Código Burdo de Adquisición (Coarse Acquisition) Código C/A, Código de Precisión o P-code, y la Fase Portadora. Estas normas permiten un rango de precisión en la medición de pocos metros, unos pocos decímetros y unos pocos milímetros respectivamente. Dos efectos adicionales que afectan al receptor son los errores multipath causados por señales reflejadas desde edificios u otros objetos que interfieren la señal directa desde el satélite, y errores causados por movimiento del punto de referencia eléctrica o centro de fase de la antena ya que recibe señales desde diferentes direcciones. Ambos efectos son muy difíciles de manejar debiendo seleccionar cuidadosamente los lugares en los que se posicionará el receptor para efectuar las observaciones y por parte del fabricante este debe ser muy cuidadoso en el diseño y construcción de la antena.

Ahora que el sistema GPS está funcionando al 100% , provee dos clases de servicio: El Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS) para uso militar y otros usuarios autorizados y el Servicio de Posicionamiento Regular (SPS) para todos los demás. La principal diferencia entre estos dos tipos de servicios es la precisión que con ellos se puede alcanzar. Los usuarios del PPS efectúan mediciones empleando el Código-P siempre en ambas frecuencias transmitidas por los satélites. El uso de dos frecuencias permite eliminar el error de refracción ionosférica del rango de mediciones. Los usuarios del PPS también tienen acceso a los códigos SA y pueden eliminar la deriva del reloj introducida deliberadamente a las efemérides de los satélites. El remanente total de error para los usuarios del PPS es cercano a 5 metros.

Los usuarios del SPS efectuarán mediciones empleando el código C/A con solamente una frecuencia de señal. Ellos pueden eliminar solo parte del error de refracción ionosférica por el uso de modelos crudos de predicción. Porque no tienen acceso al código para SA, ellos no podrán



eliminar los errores SA. Estos errores limitarán el SPS a un rango de precisión en la medición de 30 a 50 metros.

### **Geometría GPS**

Ya se ha hablado acerca de los errores en la medición por un receptor GPS. Otro factor que también afecta la precisión de la posición GPS; es la geometría de la configuración satelital. Si los satélites de los cuales recibimos las señales están todos hacinados en el cielo, nuestra precisión en la posición tenderá a ser pobre. De otra manera, si ellos están mas o menos difundidos en el cielo, nuestra precisión será mucho mejor.

El efecto de la geometría de la configuración satelital es expresada por una cantidad llamada Dilución de la Precisión factor DOP y está en función del número de satélites disponibles; ahora ya completada la constelación de satélites GPS, podemos anticipar valores de DOP de 3 a 5. Si multiplicamos el rango de error de medición por el factor DOP, obtenemos una precisión estimada del posicionamiento. Multiplicando el rango de error típico de medición por el DOP típico de la constelación obtendríamos un promedio de precisión del punto de posición de unos 20 metros para los usuarios de PPS y de 100 metros para usuarios de SPS.

### **Mejorando la Precisión GPS**

Estas formas de precisión pueden ser mejoradas considerablemente con la determinación de la posición de uno o mas receptores GPS distantes con respecto a una estación base fija en un lugar conocido. Por medio del monitoreo continuo la diferencia entre los rangos medidos de las señales de los satélites y los rangos calculados usando la estación base de posición conocida, el rango de error en la medición puede ser determinado. Porque la mayor parte de estos errores serán similares para los otros receptores de estaciones lejanas, ellos pueden ser sustraídos de los rangos de mediciones de los sitios remotos.

Este procedimiento maneja también los errores introducidos deliberadamente por SA. Dando como resultado errores en las posiciones relativas cercanos a los 10 metros para usuarios de SPS.

Otro procedimiento es empleado en aplicaciones GPS de agrimensura muy precisa. En agrimensura, determinamos las posiciones relativas entre varias mediciones de radio estático. Para esta tarea generalmente la última de las tres reglas GPS es la que se usa; la fase portadora. Para explotar la alta precisión de esta regla, debemos intentar modelar todos los errores por debajo del nivel de unos cuantos centímetros. Para algunos trabajos estos errores pueden ser muy grandes. Pero podemos hacer uso del truco que nos sacaremos de la manga que puede eliminar o reducir errores que no sean fáciles de corregir por nuestros modelos; y es la **diferenciación**.

**Diferenciación** es la simple substracción de un rango de medidas de una estación a rangos de medidas simultáneas a otra estación, esto elimina algunos de los rangos de error porque son comunes a las dos mediciones que se están diferenciando (errores o deriva de los relojes de los satélites) y reducen otros errores drásticamente porque ellos son casi los mismos en las dos mediciones (errores orbitales y de refracción atmosférica). La eliminación/reducción del error es muy probable que sea venturosa si simultaneamente los receptores empleados que se encuentran recibiendo las señales de los satélites se encienden simultaneamente y después de la observación se apagan también simultaneamente que si esto se hace separadamente.

Esta técnica es el patrón seguido por geodestas y otras personas interesadas en en la medición de alta precisión de posición relativa entre 2 o mas receptores. Dando como resultado precisiones para las posiciones relativas que dependen de las distancias entre las estaciones y de la sofisticación del análisis de la medición. Las precisiones varían de entre unos milímetros sobre una distancia de un kilómetro y algunos centímetros sobre distancias de cientos de kilómetros.

**NOTA:**

Hemos visto el potencial de la recepción de la señal y la fidelidad de la señal cuando se usa GPS para posicionamiento y navegación, y se han mostrado las formas de superar esas dificultades. También hemos visto la precisión de posicionamiento que se puede realizar con GPS, con rangos desde 100 metros con SPS y SA. Reducida a 20 metros con PPS. Sin embargo, porque el PPS no está a disposición de la comunidad de usuarios civiles, quienes deben echar mano de otros recursos si tienen la necesidad de mejorar la precisión.

La técnica de posicionamiento relativo puede mejorar la precisión a 10 metros con SPS y a unos pocos centímetros usando la portadora.

En general, un incremento en la precisión de la posición no se da libremente. Casi siempre va mano con mano con un incremento en los costos de los equipos, problemas logísticos, y procesamientos complicados de la información. Los usuarios deben considerar estos factores cuando decidan que modo de posicionamiento GPS emplearán. A despecho de sus limitaciones, sin embargo, GPS es todavía el mejor sistema de posicionamiento y medición disponible hoy en día.

## CAPITULO VIII

### COMPARANDO GPS Y GLONASS

El 2 de febrero de 1978, el primer satélite prototipo GPS fué lanzado en órbita por los Estados Unidos, comenzando una nueva era en la navegación por satélite. Cuatro años y medio mas tarde, el 12 de octubre de 1982, los primeros satélites GLONASS fueron colocados en órbita por la entonces Unión Soviética. Desde entonces los dos sistemas de navegación por satélite han sido ensamblados lentamente, y se espera que ambos sean completamente operacionales para mediados de la presente década. En tal caso, el mundo tendrá dos herramientas separadas e independientes para la navegación, colocación en posición de una exactitud y confiabilidad sin precedentes.

Estos sistemas de navegación no llegaron gratis. Ellos requirieron de inversiones multibillonarias en dólares para confinamientos de investigación, desarrollo y programas de despliegue. Ciertamente, el ambiente de la "guerra fría" ayudó a asegurarse la disponibilidad de estos fondos. Tal vez no habría sido posible disponer de fondos públicos para instalar un sistema de navegación simplemente para flotas mercantes y barcos de placer.

Aunque los detalles técnicos concernientes a GPS se obtenían con toda libertad de fuentes oficiales desde el comienzo del desarrollo del SISTEMA, esto no era así con GLONASS.

Un entendimiento inicial de GLONASS en Occidente vino solo como resultado del trabajo pionero del Dr. PETER DALY y otros en la Universidad de Leeds.

Ultimamente, el clima político global ha cambiado dramáticamente y ahora prevee una mas amigable y cooperativa atmósfera. Con un subproducto, la información técnica relacionada con GPS y GLONASS están oficialmente siendo intercambiadas entre los Estados Unidos y la Unión Soviética. La industria electrónica está siendo estimulada al desarrollo combinado de receptores de GPS/GLONASS, y grupos de investigadores están explorando los beneficios y problemas que se deben de esperar cuando este "dividendo de paz" se vuelva realidad.

Aquí veremos las semejanzas y diferencias técnicas de los dos sistemas desde el punto de vista del usuario. Basados en esta evaluación, haremos un compendio de los cambios anticipados en en el uso que resultaría de la combinación del GPS y GLONNAS.

#### Comparando Sistemas

Después de una completa puesta en práctica, GPS y GLONASS serán usados principalmente de una manera global, para toda clase de tiempo meteorológico, de manera continua, colocación adecuada en el tiempo verdadero, para la navegación marina, de aire y la navegación terrestre. Básicamente, los usuarios de estos sistemas simultaneamente miden la distancia a varios satélites, y reciben una transmisión del mensaaje conteniendo información de la posición de los satélites. Si estas posiciones son conocidas, en un sistema de coordenadas referidas al centro de la tierra, (ECEF) con este sistema coordinado las posiciones de los usuarios pueden ser calculadas ya sea en coordenadas geocéntricas, cartesianas o, de una manera equivalente, en coordenadas geográficas.

Las referidas posiciones del ECEF computadas del mensaje de la información recibida dependen de la configuración de las órbitas de los satélites y de la manera en que la información de la órbita sea representada en el mensaje. El procedimiento del alcance de la medición de un GPS o receptor GLONASS depende de la estructura de la señal de microondas, onda ultra corta (microwave) transmitida por los satélites.

Por lo tanto es útil comparar la configuración de la órbita y la descripción de GPS y Glonass y las estructuras correspondientes de las señales de la onda ultra corta, con objeto de comprender los beneficios potenciales y los problemas de combinar los dos sistemas. Porque ambos sistemas sirven mas o menos al mismo propósito, las semejanzas en su diseño no deberían de resultar como una sorpresa.

### Orbitas de los Satélites

Los satélites GPS fueron lanzados uno a la vez, con propulsores de cohetes Delta 2 de la Base de la Fuerza Aérea de Cabo Cañaveral en Florida. El proyecto pidió mas o menos un despliegue de cinco satélites por año hasta que se completó la constelación. En el año de 1990, nueve satélites operacionales correspondientes al (Block II) fueron colocados en órbita y un prototipo de seis satélites adicionales (Block I) permanecían utilizables.

Los satélites GLONASS fueron lanzados desde la cumbre Proton D - 1 - e con cohetes de gran capacidad desde Tyura - Tam, localizada al este del Mar de Aral en la República Soviética de Kazakhstan, con un promedio de dos lanzamientos por año. Cada lanzador Proton puede transportar hasta tres satélites Glonass a la vez, y un total de 46 satélites Glonass se habían puesto en órbita hasta el año de 1990. Algunos han fallado, y otros aparentemente, nunca han sido puestos en funcionamiento. Hasta esa fecha la constelación activa de Glonass consistía de ocho satélites.

Después de completarse, ambos sistemas consistirán de 24 satélites cada uno. Sin embargo, el arreglo orbital de los satélites no será el mismo como puede verse en la siguiente tabla:

Nominal Satellite orbits		
	GPS	GLONASS
Orbital planes	6, spaced by 60°	3, spaced by 120°
Satellites per orbital plane	4, unevenly spaced	8, evenly spaced
Orbital plane inclination	55°	64.8°
Orbital radius	26, 560 Km	25, 510 Km
Orbital period	1/2 of a sidereal day aprox. 11h. 58m.	8/17 of a sidereal day aprox. 11h. 16m.
Repeat ground track	every sidereal day	every 8 sidereal days

Tabla 5.- Orbitas Nominales de los Satélites

Cuatro satélites GPS están distribuidos en cada uno de los seis planos orbitales. Estos planos están inclinados con respecto al ecuador 55° y están separados uno de otro por 60° en longitud. Nominalmente, las órbitas de los satélites son circulares con un radio de mas o menos 26,560 kilómetros. La tercera Ley de Kepler relaciona el radio de la órbita al período orbital, el tiempo requerido por el satélite para viajar un círculo completo en su plano. Resulta que el período orbital del GPS es exactamente la mitad de un día sideral. Un día sideral es el período de rotación de la Tierra y es igual a un día de calendario menos cuatro minutos. Por lo tanto, después de un

día sideral la relación geométrica entre lugares determinados de la tierra y los satélites se repite. Para un observador sobre la Tierra, todos los satélites reaparecen en la misma parte del cielo día tras día, siempre cuatro minutos mas temprano cada día.

La constelación GLONASS consiste en tres planos orbitales con ocho satélites distribuidos en forma pareja equitativa en cada plano. Los planos tienen una inclinación nominal de  $64.8^\circ$  y están espaciados por  $120^\circ$  en longitud. La altura orbital es de mas o menos 1, 060 kilómetros menos que la de los satélites GPS. De acuerdo al período orbital mas corto rinde un período orbital mas corto de  $8/17$  de un día sideral de manera que, después de ocho días siderales, los satélites GLONASS han completado exactamente 17 revoluciones orbitales. Para un observador sobre la Tierra, un satélite en especial reaparecerá en el mismo lugar en el cielo después de ocho días siderales. Debido a que cada plano orbital contiene ocho satélites igualmente espaciados, uno de los satélites estará en el mismo lugar en el cielo al mismo tiempo u hora sideral cada día.

Aunque la configuración orbital es diferente para GPS y GLONASS, los dos sistemas proveerán una cobertura bastante semejante cuando sean completamente desplegadas. Cuando menos 6 y hasta 11 satélites serán visibles en cualquier lugar de la Tierra a cualquier hora. La confianza geométrica de la configuración satelital como se expresa por la Dilución de la Precisión de la Posición (PDOP) debería de ser así mismo semejante. En suma, no existe ventaja obvia por la configuración de los satélites GPS o GLONASS desde el punto de vista del usuario.

### Señales de los Satélites

Debido a que ambos GPS y GLONASS son básicamente un sistema del alcance en un sentido sirviendo al mismo propósito, ellos exhiben una radio - señal estructural muy semejante. Los satélites transmiten dos señales semejantes L1 y L2 en la banda L del espectro de radio frecuencia. Estas señales son moduladas por dos códigos binarios, el código C/A y el código P y por el mensaje de información. La siguiente tabla sirve para enfocar y esclarecer las diferencias entre las señales del GPS y GLONASS.

Todos los satélites GPS transmiten las dos señales a la misma banda L de frecuencia y las modula con código C/A y código P. El equipo que las usa, recibe la suma de las señales transmitidas por todos los satélites visibles. Una señal en particular puede ser rastreada con un canal de radiofrecuencia en el receptor GPS buscando la modulación única, inimitable del satélite, por lo tanto rechaza todas las señales con un código diferente. Este procedimiento de separar el total de las señales que entran en los componentes transmitidos por diferentes satélites se llama acceso al código de división múltiple (CDMA).

En contraste, todos los satélites GLONASS transmiten señales en diferentes canales de banda L, esto es, a diferentes frecuencias. Un receptor GLONASS separa el total de señales que entran de todos los satélites visibles asignando diferentes frecuencias a sus canales de rastreo. Este procedimiento es llamado acceso múltiple (FDMA). Debido a que el FDMA no necesita distinguir satélites, por su única (que no es igual a ninguna otra) modulación de señal, todos los satélites GLONASS transmiten los mismos códigos.

En ambos sistemas, el código C/A es modulado encima del mensaje L1 solamente, mientras que el código P aparece en ambos L1 y L2. De acuerdo a esto, los receptores C/A pueden usar solamente la señal L1, y los receptores del código P pueden captar ambas frecuencias para la corrección de la refracción ionosférica.

En ambos sistemas, la frecuencia del código C/A es diez veces mas baja que la que la frecuencia del código P. Como regla general, la frecuencia mas alta rinde una mejor y mas exacta medida de alcance que las frecuencias mas bajas. Por lo tanto, ambas GPS y GLONASS tienen un modo preciso de operación con el código P y un modo menos preciso usando el código C/A., Como puede verse en la siguiente tabla:

	GPS	GLONASS
Señales Portadoras	L1: 1 575.42 MHz L2: 1 227.60 MHz	L1: (1 602 + k x 9/16) MHz L2: (1 246 + k x 7/16) MHz k = Número de Canal
Códigos	diferente para cada satélite Código C/A en L1 Código P en L1 y L2	igual para cada satélite Código C/A en L1 Código P en L1 y L2
Frecuencia del Código	Código C/A: 1.023 MHz Código P 10.23 MHz	Código C/A: 0.511 MHz Código P: 5.11 MHz
Información del Reloj	Deriva del Reloj, Desviación de la frecuencia, variación de la frecuencia	variación del reloj y de la frecuencia.
Información Orbital	modificación de los elementos Keplerianos Orbitales a cada hora	posición de los satélites, velocidad, y aceleración a cada media hora.

Tabla 6.- Modos precisos de operación usando código P y C/A de GPS y GLONASS

Las frecuencias del código GLONASS son más o menos la mitad de los valores correspondientes a GPS. Esto indica un alcance ligeramente más bajo en precisión para GLONASS.

Cada satélite en ambos sistemas transmite, a una velocidad de 50 bits por segundo, (bit cantidad de información aportada) una corriente enorme conteniendo un caudal de información con respecto al status de la transmisión individual del satélite y a la configuración total del satélite. De principal importancia desde el punto de vista del usuario son dos subconjuntos (aparato telefónico especial para recibir en tonos audibles las señales digitales de una computadora) del mensaje, la información describiendo el error del reloj del satélite y la información representando la posición del satélite, llamada la efemérides del satélite (efemérides.- tabla que explica la posición de los astros en la esfera celeste). Los receptores necesitan ambos tipos de información para hacer adecuados cálculos del rango de las mediciones.

La información GPS del reloj generador de sincronismos es transmitida en términos de información de salida del reloj, (clock frequency offset.- información de salida del reloj que indica la frecuencia de los impulsos periódicos que determinan el ritmo de funcionamiento de la máquina) y (clock frequency rate.- información del reloj que indica el ritmo con que se transfieren los bits o las palabras entre los elementos internos de la computadora) y que permiten el cálculo de la diferencia entre el tiempo individual del satélite GPS y el tiempo del sistema GPS. Lo último está relacionado a la tiempo universal coordinado como se mantiene por el Observatorio Naval de los Estados Unidos (U.S.A.) UTC (USNO). En contraste, la transmisión del reloj GLONASS y la frecuencia del reloj rinden la diferencia del tiempo o la hora del satélite GLONASS, el cual está relacionado al UTC como se mantiene o conserva en la Unión Soviética UTC (S.U.).

Las efemérides del satélite transmitidas por los satélites GPS contienen los parámetros de la órbita de los satélites en términos de una elipse lineal variante, más pequeños términos de corrección que tienen que ver con las irregularidades en la órbita. La información de las efemérides es actualizada o ajustada cada hora. Desde estas, el usuario puede calcular las coordenadas del satélite para una medición particular del tiempo usando ecuaciones conocidas. Las coordenadas que resultan ECEF están referidas al Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS - 84).

GLONASS tiene una diferente manera de transmitir información orbital de los satélites. Por cada período de media hora, cada satélite transmite directamente sus tres posiciones dimensionales, ECEF velocidad y aceleración. Por un tiempo de medición en alguna parte entre estas épocas de media hora, el usuario intercala las coordenadas del satélite usando posición, velocidad, e información de aceleración de las marcas de media hora antes y después del tiempo de medición. Las coordenadas ECEF resultantes son referidas al Sistema Geocéntrico Soviético 1985 (SGS 85).

### **Comparando los Sistemas**

Ambos GPS y GLONASS han sido diseñados para ser sistemas militares de navegación autosuficiente y, como tales, ellos realmente no se necesitan uno al otro. Sin embargo, al darse cuenta del potencial de estos sistemas, mas y mas grupos de usuarios, GPS y GLONASS ahora son vistos como sistemas de todos los propósitos de posición y navegación para usarse en diversas aplicaciones. Los requerimientos de algunos de estos grupos de usuarios no están bastante satisfechos por cualquiera de los sistemas. En particular, los usuarios de la aviación civil han argumentado que solo ningún sistema puede proveer la necesaria integridad y confiabilidad con el único propósito de la navegación. Por lo tanto, durante los pasados años del 88 al 90 se suscitaron iniciativas para valorar los beneficios potenciales y problemas de un sistema combinado que comprenda ambos GPS y GLONASS.

**Problemas.-** Combinando GPS y GLONASS, significa primeramente la construcción de un receptor que pueda simultáneamente rastrear las señales GPS y GLONASS. Los alcances medidos de estas señales deben ser combinados con el reloj GPS y GLONASS y la información orbital para computar la posición del receptor. Cada uno de estos pasos tiene su propio pequeño problema.

Como se discutió antes, GPS y GLONASS tienen diferentes maneras de acceso y rastreo de señales de los satélites. A un receptor útil en un sistema satelital combinado le debe ser posible rastrear simultáneamente las señales GPS en una modalidad CDMA y las señales GLONASS en el modo FSMA. No puede ser simplemente un GPS con unos pocos canales de mas. Consecuentemente, los diseños para receptores combinados publicados hasta ahora muestran básicamente módulos separados de receptores GPS y GLONASS manejando o funcionando por la misma frecuencia osciladora local todo empacado en una envoltura o estuche.

Las medidas de alcance de ya sea satélites GPS o GLONASS están combinadas con la información de los satélites y de las efemérides para determinar la posición del receptor y el tiempo del receptor con respecto al sistema de tiempo del satélite. Como se discutió antes, GPS y GLONASS tienen sistemas diferentes de coordenadas y de tiempo. Con satélites GPS solamente, la posición computada del receptor es referenciada al sistema de coordenadas del WGS 84, y el tiempo computado del receptor es referido al UTC (USNO). Con satélites GLONASS, la posición del receptor es computada en SGS 85, y el tiempo del receptor es UTC (SU).

¿ Así, que obtendremos de un receptor combinado?. Si nada es hecho acerca de la diferencia en los sistemas de coordenadas y, especialmente acerca de las diferencias de tiempo, simplemente obtendremos basura. Hay dos modos de superar este problema. Uno puede establecer la relación entre WGS 84 y SGS 85 e incluir los parámetros de transformación para convertir de un sistema al otro dentro del conjunto de todos los elementos que intervienen en la programación y utilización de una computadora. Estos parámetros entonces pueden ser usados ya sea para transformar las posiciones del satélite GLONASS en WGS 84. La diferencia entre los dos sistemas puede ser manejada en una forma semejante, o alternativamente la diferencia entre GPS y GLONASS el tiempo puede ser determinado como parte de la solución de la posición.

Estos problemas podrían ser mas fácilmente resueltos con el sistema de control de nivel. Si las efemérides para ambos sistemas de satélites fueran computarizados en el mismo sistema de referencia de coordenadas, y si ambos sistemas fueran sincronizados con respecto al mismo

tiempo superior del marco de referencia, las dificultades mencionadas antes no existirían, y el usuario no tendría que preocuparse por deshacerse de ellos.

### Ventajas

La ventaja mas obvia de un sistema combinado es la obtención de dos veces mas satélites. Del total de 48 satélites, cuando menos 12 serán visibles en cualquier parte a cualquier hora. La redundancia resultante en medidas de rango permite la detección de tiempo verdadero e identificación de señales defectuosas por el receptor autónomo de integridad de monitoreo (RAIM).

Hay también otro giro en la integridad del asunto. GPS y GLONASS son sistemas independientes siendo manejados por organizaciones independientes. De la medición de un receptor combinado, el usuario puede calcular posiciones separadas GPS y posiciones base GLONASS. Cualquier mayor discrepancia entre estas soluciones, o un comportamiento anómalo entre estas soluciones, puede indicar un problema con uno de los sistemas como un todo. En tales casos puede resultar mejor confiar o apoyarse temporalmente en solo el "sistema que opera o funciona normalmente".

En la navegación terrestre el monitoreo integral no es una prioridad tan alta como en la navegación aerea civil. Por otro lado, los vehículos algunas veces tienen que ser navegados sobre tierra bajo severas condiciones de "sombra", especialmente en áreas montañosas y urbanas. En estos casos GPS y GLONASS no pueden proporcionar suficiente cobertura para una solución. Los estudios han mostrado que un sistema combinado rendirá una robusta solución de navegación aún si la visibilidad del satélite está mas o menos obstruida en un lado en el cielo.

Otra posible ventaja de un sistema combinado es una mejoría en su precisión. Un ejemplo típico relaciona una disponibilidad selectiva (SA) en GPS. Bajo SA, la precisión de la posición de GPS es severamente degradada. No se han anunciado planes para una disponibilidad selectiva para GLONASS. Si SA permanece implementada en GPS. Las posiciones derivadas GLONASS serán mas precisas que las posiciones derivadas GPS. Para obtener lo mejor de un receptor combinado el usuario basaría las posiciones de GLONASS en mediciones solamente, y usaría las mediciones GPS simplemente para asegurar la integridad de la señal.

La ultima ventaja que se discutirá aquí es de naturaleza económica, como un anticipo en agrimensura. Los topógrafos usan la fase PORTADORA del GPS en un modo de operación estática diferencial para determinar tridimensionalmente una línea base entre vértices geodésicos con precisiones al centímetro. Esta precisión se obtiene si se acumulan mediciones sobre varias decenas de minutos. El tiempo requerido de medición podría ser dramáticamente reducido si el número de satélites es el doble vía un sistema combinado.

Deberíamos mencionar también que la Organización Marítima de Satélites (INMARSAT) planea incluir transmisores GPS como señales en su próxima generación de satélites (INMARSAT -3). La red de INMARSAT - 3 consistirá de cuatro satélites geoestacionarios. La transmisión de señales por estos satélites permitirá mediciones semejantes a las de GPS o GLONASS y puede ser que también transmita información adicional de estado o condición de todos los satélites GPS y GLONASS.

Los receptores prototipo capaces de rastrear señales de satélites de ambos sistemas estan ahora en operación y se podrán obtener como productos comerciales en un futuro muy cercano. Deberíamos de anticipar estos desarrollos como los pasos de mayor importancia en el futuro hacia un mejoramiento en cuanto a la seguridad en la navegación por tierra, mar y aire.



## CAPITULO IX

### LA RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA

Ubicar, delimitar, medir linderos y superficies, son algunas de las funciones del Ingeniero Topógrafo, para realizar estas tareas es preciso emprender determinadas acciones conducentes a la obtención de insumos de referencias geodésicas y topográficas. Tales referencias serán determinadas teniendo como marco la **Red Geodésica Nacional Activa (RGNA)**.

A lo largo de la Historia de nuestro País, se han realizado diversos trabajos avocados al estudio de la figura y dimensiones del Territorio Mexicano, y acciones encaminadas a la construcción de redes geodésicas; sin embargo, en la red geodésica primaria existen áreas en que los vértices geodésicos están muy dispersos por lo cual se precisa su densificación.

Por lo tanto, es necesario establecer y mantener una estructura geodésica en todo el Territorio Mexicano, cuya distribución y densidad sea tal, que proporcione los insumos y medios necesarios para llevar a cabo los trabajos técnico operativos para su realización. Actualmente el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI, ejecuta estas acciones a través del Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos.

#### Conceptos Básicos

La red Geodésica Nacional (RGN) se define como "el conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecidos físicamente mediante monumentos permanentes, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición y altura geográfica, así como el campo gravimétrico asociado, con relación a un sistema de referencia dado". Definición que aporta el Documento "Conceptualización" de la Dirección de Operaciones de la Dirección General de Cartografía Catastral. Julio de 1992

La RGN se conforma por una estructura de bloques de polígonos de longitud variable. Cada polígono se forma por eslabones de triangulación o poligonación de primer orden, cuyos lados oscilan entre 10 y 50 Kms. La superficie interior de estos bloques se densifica mediante redes de triangulación o poligonación de segundo y tercer orden, que se apoyan en los puntos de las cadenas de triangulación de primer orden.

ORDEN	CLASE	PRECISION
Primero	Unica	1 : 100 000
Segundo	I	1 : 50 000
	II	1 : 20 000
Tercero	I	1 : 10 000
	II	1 : 5 000

De tal forma, la RGN constituye una estructura única de referencia del país, gracias a la cual los trabajos de delimitación, se relacionan y subordinan a un solo criterio normativo.

Los trabajos geodésicos en México son normados por los artículos Décimo y Decimoséptimo de la Ley de Información Estadística y Geográfica.

El artículo 17o. señala a los estudios geodésicos, geográficos, aerofotogramétricos de zonificación, regionalización y otros de teledetección sobre el territorio nacional para la información geográfica, como algunas de las fuentes de información estadística y geográfica que deben utilizarse para la integración y funcionamiento de los sistemas nacionales. Los catastros existentes en el país son otra fuente indicada en esta ley para homogeneizar los procedimientos de captación de datos de tal orden.

Lo anterior nos proporciona un panorama general del significado de la estructura geodésica y la importancia de una normatividad que regule los trabajos para la realización de los mismos. Conviene que, para abundar al respecto, se miren los antecedentes históricos de las tareas y productos de esta clase.

### **Antecedentes Históricos**

En el trazado de la Red Geodésica Nacional intervienen varias ramas de la geodesia, como la geodesia de posicionamiento, la esferoidal, la física y la cósmica, entre otras.

Con este fundamento, el desarrollo de los trabajos astrónomo geodésicos en nuestro país, se pueden remontar a la época prehispánica.

Así, a partir del desarrollo que logró la astronomía en las culturas maya y azteca, se infiere que estas contaron con importantes geodestas, como lo demuestra, por ejemplo, su construcción arquitectónica. Sin embargo, no existe prueba alguna de trabajos geodésicos realizados por tales civilizaciones, ni algún indicador de que hubieran estudiado la forma y las dimensiones de la Tierra.

No así en la época colonial; para este período si se conocen constancias de este tipo de trabajos. La primera Carta de la Nueva España fué elaborada por Carlos Sigüenza y Góngora, entre otros mapas.

En el siglo XVIII destaca el geodesta y cartógrafo José Antonio Alzate, quien elaboró una carta de la Nueva España (1768), misma que fué trazada apoyándose en el Manuscrito General de todo el Reino de Sigüenza y Góngora, en el material de los párrocos del Virreinato, en los levantamientos de Alvarez Barredoy el Ingeniero Miguel Costanzo, y en las orientaciones astronómicas de Joaquín de Velázquez.

Debe mencionarse, además, a Alexander Von Humbolt, quien determinó a principios del siglo XIX, en diferentes lugares de la Colonia, 36 puntos astronómicos con los que se complementaron 142 observaciones astronómicas. Estos puntos y la Carta de Alzate fueron la base para la elaboración de otra Carta General de la Nueva España, de mayor precisión que la cartografía anterior.

No es, sin embargo, hasta 1837 que se crea la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística que, si bien pretendió elaborar una carta única del territorio mexicano, su avance en este sentido fué mínimo. Dicha Sociedad concentró su atención y esfuerzos en la delimitación de las nuevas fronteras entre México y Estados Unidos, una vez que gran parte del área de nuestra República le fué arrancada en 1847.

En este mismo siglo, sobresalen tres personajes más. El Ingeniero Antonio García Cubas, quien además de presentar una recopilación cartográfica, elaboró la Carta de la República Mexicana (escala 1 : 2 000 000) y un Atlas Pintoresco.

Las otras dos personalidades son el Ingeniero Francisco Díaz Covarrubias, quien aportó importantes resultados astronómicos y el Ingeniero Manuel Orozco y Berra que a iniciativa suya se fundó la Comisión del Valle de México.

Ya en 1878 se creó la comisión Geográfica Exploradora cuyo objetivo principal fue obtener la Carta General del país a escala 1 : 100 000; no obstante, esta labor no se concluyó.

También a finales del siglo XIX, México se convierte en miembro de la Asociación Internacional, fundada en 1864. Con este antecedente, en 1899 se instituye la Comisión Geodésica Mexicana. Tal comisión utiliza, por primera vez en nuestro país, el método de

triangulación geodésica, al participar junto con Canadá y Estados Unidos en las tareas de medición del arco meridiano 98° al oeste del meridiano de Greenwich, en la parte que atravieza a estos países. Debe señalarse que en México la organización estuvo a cargo del Ingeniero Angel Anguiano.

El meridiano 98° en la República Mexicana cruza, de sur a norte, los estados de Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, Veracruz y Tamaulipas; en lo que respecta a Guerrero, Hidalgo y San Luis Potosí, por estar cerca del meridiano referido, quedan comprendidos en los trabajos de triangulación propios del establecimiento de los vértices geodésicos. Cabe indicar que la longitud determinada para el arco meridiano 98°, dentro de territorio mexicano, es de 1 100 kilómetros, y la triangulación que se construyó cubre un área de 80 000 kilómetros cuadrados. La cadena está formada por 76 vértices que van del nivel medio del mar (N.M.M.) hasta alturas de 2 500 metros sobre el N.M.M., y las longitudes de los lados están comprendidas entre 10 y 130 kilómetros.

Para 1913, dado el gran avance que se tenía en el proyecto, se estableció un acuerdo entre Canadá, Estados Unidos y México para determinar un control de las mallas geodésicas de estos países; la parte mexicana estuvo representada por el Ingeniero Pedro Celestino Sánchez.

Dicho acuerdo consistió en utilizar como superficie de referencia el elipsoide de Clarke de 1886; sistema que se redefinió en 1927 en los Estados Unidos y que se conoce como **Datum de Norte América 1927 (NAD27)**, cuyo vértice de origen fué designado en Kansas City en el Meade's Ranch. El NAD27 es el sistema geodésico de referencia vigente.

La unión con la triangulación estadounidense se efectuó en 1915, obteniéndose un estandard de calidad semejante al de Estados Unidos, por lo que fué reconocida la calidad de los resultados concretados a nivel mundial.

A pesar de esto, la Comisión Geodésica Mexicana fue disuelta en 1916. Entonces el gobierno mexicano creó la Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos, la cual agrupó áreas que se dedicaban a la producción geodésica y cartográfica. Tal dependencia se denominó después Dirección de Geografía y Meteorología. Esta última tuvo bajo su responsabilidad la labor de cubrir el territorio mexicano con una triangulación geodésica de primer orden. Tal proyecto se cumplió efectivamente en gran parte de la región norte de la nación, no así en el resto del país. La dirección, además, enlazó la cadena de triangulación ubicada sobre el meridiano 98° con la red geodésica de Guatemala. También, aportó dos productos: en 1919 se editó el Segundo Atlas Mexicano que contiene una Carta General de la República (escala 1 : 5 000 000) y, en 1921, la Carta General de la República Mexicana (escala 1 : 2 000 000); la última edición de esta Carta se realizó en 1960: En estas labores destacaron las aportaciones de los geodestas José Pedro Sánchez y Manuel Medina Peralta.

Después de la II Guerra Mundial, Estados Unidos, en 1946, signó un acuerdo bilateral con 17 países latinoamericanos para elaborar una cartografía integrada. El conjunto de estos convenios se rotuló como "Programa MAPPLAN".

Para la realización del MAPPLAN, Estados Unidos estableció, a la par, el Servicio Geodésico Interamericano, que tuvo a su cargo la preparación de los recursos humanos de los países asociados. En México, la ejecución de este proyecto fué dirigida por la entonces Comisión Geográfica Militar, y se concluyó en 1957 con la construcción de varias redes de triangulación, en las que se determinaron 600 vértices y se hicieron 12 observaciones de azimut Laplace.

En 1955, se configuró la Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Topográfica de la República Mexicana, la cual elaboró la Carta General de México (escala 1 : 500 000).

Con el fin de obtener una cartografía de mayor acercamiento, en 1968, se aprobó el proyecto presentado por un grupo de técnicos mexicanos, encabezados por el Ingeniero Juan Puig de la Parra. La propuesta consistía en elaborar la cartografía del país a escala 1 : 250 000 y

1 : 50 000; misma que sería concretada por la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). Ahora Dirección General de Geografía (INEGI).

Entonces se vió la necesidad de densificar a la RGN existente. Dicha densificación se efectuó aplicándose el método de poligonación y apoyándose en telémetros, geodímetros y telurómetros. Fué el Ingeniero Alberto Villasana, al principio de los años setenta quien señaló la necesidad de ajustar las poligonales que se intercalaban entre los eslabones de la Red Geodésica Primaria. Tal situación motivó al gobierno mexicano a ajustar su red geodésica conjuntamente con las de Canadá, Estados Unidos y los países de Centroamérica. Este proyecto fue nombrado como National Adjustment Datum 83 (NAD 83) coordinado por John D. Booster.

El NAD 83, es el sistema geodésico de referencia que se adoptó para el establecimiento de la estructura de posicionamiento geodésico altamente precisa (Red Geodésica Nacional Activa).

A partir de 1973, año en que se iniciaron los trabajos del NAD 83, México está realizando observaciones satelitales Doppler, la construcción de la Red Nacional Gravimétrica y una recolección de catálogos antiguos de coordenadas geodésicas, y de los mas recientes trabajos en este orden.

### **Red Geodésica Nacional**

Partiendo del hecho de que para realizar cualquier proyecto, se requiere del conocimiento del espacio geográfico, entonces una red geodésica tiene una participación activa en el establecimiento de las referencias espaciales.

Haciendo un poco de memoria y apoyándonos en la Historia; recordaremos que cuando Cristóbal Colón trazó el viaje para llegar a las Indias Orientales, se tenía una idea aproximada de las dimensiones de la Tierra; sin embargo, los cálculos distaban mucho de ser tan sofisticados como los que se emplean hoy en día para determinar ángulos y distancias que se deben considerar, digamos, para dar la vuelta al globo terrestre. fueron errores de cálculo de las dimensiones y formas de los espacios localizados en el planeta, los que fortuitamente guiaron a Colón al descubrimiento accidental del Nuevo Continente.

Con la evolución de técnicas y métodos se empezaron a diseñar mejores mapas. De hecho, cuando los españoles llegaron al nuevo continente, encontraron que la cultura azteca mostraba un excelente desarrollo cartográfico. Tal cartografía fué elaborada a fin de dominar simbólicamente los espacios geográficos en que se movían y entonces, trazar sus rutas de travesía, ubicar los pueblos con los que comerciaban, y diseñar sus estrategias y tácticas guerreras.

A través de los años, las técnicas, procedimientos y el equipo tecnológico han experimentado un desarrollo notable, lo que redundo en un mejor conocimiento de los espacios geográficos.

Así la Red Geodésica Nacional (RGN) se aprecia como un elemento fundamental para la ubicación de los diferentes fenómenos geográficos, demográficos, sociales y políticos (en lo relativo al establecimiento de los límites político - administrativos). La RGN es, un marco de referencia espacial. Es decir, si queremos ubicar con precisión un lugar necesitamos llevar a cabo mediciones geodésicas. Existe un esquema general en el cual se encuentran con alta precisión ciertos puntos que físicamente se puedan establecer y conocer sus coordenadas con alta precisión. Estos puntos nos sirven de referencia para ubicar a todos los sucesos que ocurren dentro de esta área y, además, para identificar las ciudades, las vías de comunicación, las construcciones importantes y estratégicas entre otras.

Las ciudades siempre se han establecido en los espacios territoriales en los cuales han satisfecho sus necesidades de vida. Al crecer la población es preciso obtener mas satisfactores del mismo espacio geográfico, lo que obliga a conocer con mayor precisión sus características para su

mejor aprovechamiento. De aquí que se debe tener mejores elementos de representación. Dicho de otra forma; básicamente necesitamos sistematizar la información que que nos haga comprensible la configuración, dimensiones y ubicación de las áreas que nos interesen para la solución del problema que nos ocupe. Como el requerimiento de servicios alternos como son: el servicio de energía eléctrica, de agua potable de drenaje y alcantarillado, de vías de comunicación, de construcción de obras hidráulicas. Para ello, también se precisa ubicar a todos estos en un determinado entorno, éste lo ofrecen los mapas y cartas topográficas, geológicas. de uso del suelo, entre otros.

Para lograr esto se debe poseer un marco de referencia, para poder efectuarse una representación de los fenómenos geográficos.

Ejemplificando: Si estuviéramos en la Ciudad de Aguascalientes, sin conocer absolutamente nada de su ubicación, y necesitáramos trasladarnos a Piedras Negras, Coah. Seguramente, lo primero por hacer es buscar información que indique de dónde vamos a partir y como es ese lugar. Luego, ubicar a Piedras Negra y determinar la ruta a seguir. Esto significa que se debe trazar un programa para emprender todo proyecto, definiendo el punto al que se pretende arribar, de que sitio se partirá y la distancia que media entre estos.

Mencionando un caso práctico. Para crear una infraestructura habitacional es imprescindible la descripción correcta de las dimensiones y características del espacio geográfico en que se efectuará tal evento, u otros cualquiera: un parque industrial, un camino, o la construcción de una presa. Todo esto inmerso en un marco de referencia. Tal contexto espacial lo proporciona el levantamiento geodésico.

El levantamiento geodésico nos ubica con gran exactitud las coordenadas de Latitud, Longitud y Altitud de puntos específicos sobre la superficie de la Tierra, tales puntos son tomados como referencia para establecer dentro de las áreas de estudio, con precisión, las dimensiones y características de una región.

En este caso, la RGN se refiere a todo nuestro país, conforma el marco de referencia geométrica; expresado de otra manera. la RGN determina que distancia hay entre los diversos puntos y cual es la orientación geográfica de estos.

Aquí conviene anotar la relación de lo anterior con aspectos tradicionales de tenencia de la tierra. Sabemos que todo propietario de un bien inmueble quiere conocer con certidumbre las dimensiones y la ubicación de su posesión; tal situación como persona pero, como sociedad también el administrador de una ciudad precisa interpretar correctamente las características de la comarca que dirige y planear, de esta manera, el crecimiento de la misma. Para que un municipio se caracterice por su desarrollo apropiado debe identificársele correctamente; si es poseedor de bosques o selvas, de zonas ganaderas o agrícolas, además, sus dimensiones de perímetro y de área. Dichas características se desprenden de los levantamientos geodésicos correctos e interrelacionados.

Siguiendo esta última idea. Un municipio del sureste del país debe estar correlacionado con otro del noroeste, dentro del marco único de referencia de la nación, no importa que los municipios no sean colindantes.

A las áreas municipales, entonces, se les definen sus propiedades privadas, sus zonas urbanas, sus ejidos respectivos, las zonas federales, estatales y municipales que son el conjunto de células que conforman el territorio nacional. Para unirlos congruente y consistentemente es indispensable un contexto referencial de posición Longitud, Latitud y Altitud.

#### **Importancia de la RGN para la delimitación de propiedades.**

En torno a lo que se comentó de la integración de las diversas áreas que componen la superficie de México, y puesto que todas estas áreas están distribuidas a lo largo y ancho de éste,

es una prioridad contar con un marco de referencia espacial integral; en este sentido, es fundamental la RGN.

Aclarando un poco. Es de suma importancia que un área "X", dentro de un municipio, con relación a un área "Y", vecina a la primera, tengan una línea de colindancia - que deben tenerla -, pero que matemática y geográficamente estén definidos dichos límites. El objetivo es evitar que problemas técnicos abran espacios inexistentes entre área y área por una mala referenciación espacial, o la sobreposición de éstas por una deficiente red geodésica. Entonces la RGN es el marco referencial uniforme y homogéneo, que definirá la relación espacial no solo entre áreas colindantes, sino, incluso, entre áreas muy retiradas, y que la suma de ellas siga siendo igual a la suma total de estas áreas.

Sintetizando, la RGN proporciona el conocimiento global posicional de todo nuestro país.

### **La Situación Actual de la RGN.**

La RGN se empezó a construir prácticamente a finales del siglo pasado, con las técnicas al alcance en ese tiempo. La mayor parte de la red geodésica actual se construyó a partir de los años veinte a la fecha.

Primero, se cubrió por el método de triangulación geodésica que involucraba observaciones astronómicas, mediciones de distancias directamente en campo y, después, la construcción de triángulos a partir de observaciones angulares. Pero dado el desarrollo tecnológico de esa época, no se podían medir adecuadamente largas distancias. De aquí que se buscaba ubicar los vértices geodésicos en partes elevadas, en las partes altas de los cerros normalmente, para ir trasladando esa información a lo largo del territorio. Esta red se hizo básicamente como apoyo a la construcción de cartas a pequeña escala ( 1 : 500 000 y 1 : 250 000 ).

Luego en 1968, con la creación de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional ( CETENAL ) se amplió considerablemente el trabajo geodésico para construir la carta 1 : 50 000 esto es un patrimonio nacional generado por el INEGI y que ha servido de base para innumerables proyectos de desarrollo nacional. Tal producto se logró gracias a una densificación muy intensa. Sin embargo, debido a situaciones naturales del terreno, o bien, a condiciones humanas se destruyó una cantidad importante de los monumentos de la red geodésica.

Dentro de la Dirección General de Geografía ( INEGI ) se ha tenido un programa permanente de verificación de la existencia de los vértices geodésicos establecidos a lo largo de casi un siglo, y se ha recuperado aquello de lo que se tienen testigos precisos. No obstante, se encontró un elevado porcentaje de destrucción y de no posibilidad de recuperación de tales vértices.

La cifra de los vértices con que actualmente cuenta la RGN es entre 900 y 1 000 vértices de primer orden. Existen redes geodésicas secundarias que aportan información; sin embargo estas últimas únicamente deben usarse si así lo amerita la calidad del trabajo que se vaya a ejecutar.

### **Ventajas para las Instituciones de los Sectores Público y Privado que aporta la Precisión de la Nueva Información de la RGN**

Cualquier institución pública, privada y social, empezando por las instituciones públicas, como administradoras del patrimonio social en lo general, se ven beneficiadas porque les es posible tener elementos geométricos para poder administrar eficientemente su área de responsabilidad; por ejemplo: el control de los límites territoriales, vigilar los crecimientos urbanos, determinar la planeación y la programación de nuevas obras de infraestructura.

Las Instituciones u organismos de carácter privado ya no tendrán la necesidad de realizar grandes trabajos de densificación para ligar sus propios levantamientos geodésicos y topográficos, ya que, merced a las tareas del Programa de Certificación de Derechos Ejidales, esta se está densificando.

Cuando una empresa privada precise de estudios geodésico - topográficos para construir una determinada obra de infraestructura podrá recurrir, ahora, a esta información de la RGN, puesto que estará a disposición de todos los usuarios; lo cual, permitirá abatir costos y tiempos por estudios geodésicos.

### **La importancia de Normas Técnicas**

El Registro Agrario Nacional ha emitido las Normas Técnicas para el levantamiento de la RGN. De las Normas Técnicas debe recobrase el siguiente aspecto: Se ha integrado todo lo rescatable de la información geodésica generada en México, así como la experiencia que se ha tenido en levantamientos geodésico - topográficos por las diferentes Instituciones que han llevado a cabo este tipo de actividad. La importancia fundamental radica en que fungen como un criterio de regularización de los procedimientos, de los métodos y de las precisiones con los cuales se deben operar estas labores. De tal forma, se logra una homogeneidad en los levantamientos, y permiten que, aún cuando participaran diversas instancias en estos trabajos, se rijan todos bajo una sola norma técnica y siguiendo procedimientos perfectamente establecidos, obteniéndose, por lo tanto, una calidad uniforme en la determinación de los vértices que conformen la RGN.

Las Normas Técnicas presentan, además, una ventaja: no son solo lineamientos, si no que, de igual manera, constituyen procedimientos, que indican como cumplir tal reglamentación.

### **La Manera en que se Complementará el Sistema de Posicionamiento Global con los Métodos de Levantamiento Clásicos**

El Sistema de Posicionamiento Global es un concepto mas o menos moderno de geodesia. Los satélites artificiales para levantamientos geodésicos empezaron a usarse en México en la década de los setenta; el INEGI desde entonces ha empleado técnicas satelitales.

Este tipo de sistema tiene la ventaja fundamental de ser global; de tal manera, no está referido a un conjunto de datos locales.

Es decir, el Datum que actualmente se utiliza oficialmente en México es el Datum Norteamericano de 1927 (NAD 27), el cual relaciona los levantamientos geodésicos y topográficos. Sin embargo, la tecnología de satélites, permite ya no tener datum de caracter local. De no ser así, implicaría, por ejemplo, que una posición geográfica dada en el Continente Americano no esté correlacionada con una posición geográfica señalada en cualquier otro continente, puesto que se rigen por diferentes modelos geométrico - matemáticos para referir las posiciones.

En un esquema global se pueden referir coordenadas en cualquier parte del mundo, lo que permite ir afinando precisión y calidad. Además, se logra un levantamiento mas rápido gracias a la amplia constelación de satélites artificiales que, en cualquier momento, informan sobre la posición precisa de un punto determinado.

Tal procedimiento proporcionará el primer marco de referencia; sin embargo, se deberá combinar la información de los satélites con datos terrestres; los vértices que se establezcan vía satélite servirán como puntos de referencia global para de ahí derivar los levantamientos terrestres con la estación total e ir trasladando las coordenadas a lo largo de las áreas de trabajo.

Hay que señalar que las tareas de establecimiento, densificación y mantenimiento de la Red Geodésica Nacional (RGN) se han efectuado técnicas y métodos de los levantamientos

clásicos como triangulación, poligonación, nivelación y recientemente, se aplican además técnicas Doppler de rastreo de satélites y del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Precisamente, el uso del GPS ha permitido modificar la forma de llevar a la práctica tales levantamientos. De tal manera, en el contexto de la conformación de la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), la estación ocupada de la red geodésica no solo precisará de los datos de las coordenadas o de la elevación de la estación, sino también se utilizarán los datos de las observaciones del rastreo de los satélites en ella; entonces, se refiere a un posicionamiento diferencial relativo.

El diseño de la RGNA se apoya en la operación de 14 estaciones fijas GPS de rastreo continuo, distribuidas en todo el territorio nacional de acuerdo a un patrón de cubrimiento de 500 kilómetros de radio, de tal forma que ningún punto del país, en la parte continental, esté más allá de dicha distancia respecto a alguna de las estaciones fijas. Esto hará posible combinar las observaciones GPS efectuadas en cualquier punto con al menos una de estas estaciones, incluso, con dos o tres, garantizando una alta exactitud en su posicionamiento.

### **La Nueva Red Dinámica**

El procedimiento que se siguió para el establecimiento de la RGNA, mediante el rastreo continuo del sistema de posicionamiento global fué:

Tomando en cuenta que ya no es preciso utilizar como esquema relacional a la red geodésica anterior. A partir de las estaciones activas, ahora se definen los vértices de los levantamientos geodésicos o topográficos, y, así, la nueva malla geodésica se correlacionó con la anterior.

Pero se debe señalar, en relación a que el Dátum oficial es el NAD 27, que se realizaron observaciones sobre varias estaciones de las ya determinadas para establecer correspondencia entre el Datum del satélite con el NAD 27. Como son diferentes dimensiones y orientaciones de elipsoide, entonces las coordenadas resultan distintas. Así pues, se examinó una serie de puntos existentes para obtener los parámetros que licitaran la transformación de las nuevas observaciones al Datum oficial. Este proceso se ejecutó por una sola vez y sirve para referenciar ambos sistemas ; el del satélite y el oficial en México.

Lo anterior significa que, en lo sucesivo, ya no se precisa ocupar los puntos anteriores; solamente, se observarán de manera sincrónica un par de vértices o uno solo, en un levantamiento y procesarlo conjuntamente con una estación o varias del monitoreo de las catorce denominadas como estaciones fijas.

Uno de los criterios que determinaron la ubicación de las catorce estaciones fijas, es que su distribución en el territorio nacional asegure que ningún punto del país, esté más allá de 500 kilómetros de alguna de ellas.

Otra pauta que se consideró fué que la ciudad donde se estableciera la estación mantuviera una comunicación ágil con las oficinas centrales del INEGI, de preferencia vía satélite, a través de modem telefónico, o bien, un buen servicio de transporte aéreo.

La ubicación de las estaciones considera que pueden aprovecharse las instalaciones del área central de cinco Direcciones Regionales y de cuatro Coordinaciones Estatales (INEGI). Así las 14 estaciones fijas se localizan en las siguientes ciudades:



1. Hermosillo, Son.
2. Mexicali, B.C.
3. La Paz, B.C.
4. Culiacán, Sin.
5. Chihuahua, Chih.
6. Monterrey, N.L.
7. Tampico, Tamps.
8. Aguascalientes, Ags.
9. Toluca, Méx.
10. Colima, Col.
11. Oaxaca, Oax.
12. Villahermosa, Tab.
13. Mérida, Yuc.
14. Chetumal, Q.R.

En estas ciudades, la instalación de las estaciones fijas GPS observan, entre otras, las siguientes características:

1. Horizonte mayor de 360° con una visibilidad libre de 15° de elevación.
2. Que a menos de 360 metros no se encuentren antenas emisoras o retransmisoras de frecuencias muy altas que pudieran interferir u obstruir la recepción de datos de los satélites.
3. A no más de 30 metros de la ubicación de la antena deberá tener un local de trabajo de 3 por 3 metros para resguardar los equipos.

Los sitios mas apropiados para instalar las estaciones de la RGNA serán los edificios de las Direcciones Regionales o de las Coordinaciones Estatales del INEGI; o bien, inmuebles de gobierno, instituciones educativas, u otros que satisfagan las determinaciones antes señaladas.

#### **Las observaciones realizadas diariamente por las estaciones fijas de la RGNA.**

Estableciendo una comparación con un rompecabezas. En el cual se trata de un conjunto de figuras en desorden que no nos indican nada, por lo que es muy importante amarlo teniendo como guía un cartabón. De esta forma se determina la ubicación correcta de cada una de las piezas.

Esto es, la información geodésica nos establecerá la orientación y posición de los vértices de las áreas por levantar. Entonces se determinará en la misma estructura referencial, la correlación que existe entre ellos. Para ello, se exige un estudio a fin de ligar las áreas colindantes, guiándose por ciertos indicadores. Tales indicadores serán los puntos de control activo de la RGNA.

#### **La manera en que se integró la RGNA con la información de los vértices ya establecidos.**

En cualquier estado, municipio o área en donde se necesite establecer las posiciones GPS de los puntos de control, simplemente se instalarán los equipos de acuerdo a lo que técnicamente se llama ventana de satélite; dicho de otra forma, es el momento en que se pueden captar cuatro o mas satélites en forma simultánea, efectuandose una observación. Esta información se envía a un centro de proceso a nivel regional en donde, vía satélite, se estarán recibiendo los datos procesados de oficinas centrales del INEGI, enseguida, se hará el cálculo conjunto de las estaciones en el área del levantamiento con la posición de las estaciones fijas, de ahí, resultarán

las coordenadas de la zona levantada, las cuales se utilizarían como puntos de control que registrarán el procedimiento posterior.

**La manera en que se efectúa el proceso de conversión que permite el manejo simultáneo de posiciones en el sistema geodésico de referencia vigente NAD27 y el NAD 83.**

Para un mismo punto se tendrán dos juegos de coordenadas diferentes, puesto que son dos sistemas distintos de referencia.

Ejemplificándolo de la siguiente forma: en un sistema referencial geodésico se emplean elipsoides, en este caso hablemos de cajones. Ocurre que para un mismo espacio tenemos dos cubos que no son iguales en sus dimensiones. Supongamos que se quiere medir todo con referencia solo a uno de ellos, que no es el caso de la geodesia pero lo pensaremos así para simplificar. Ahora imaginemos que uno de estos cajones tiene un metro por lado y está ubicado en una determinada posición, el otro cuenta con 90 centímetros por arista además, está un poco desplazado y girado con respecto al anterior. Lógicamente al ser de diferente tamaño, al estar orientados de manera diferente y estar desplazados, nos dan dos coordenadas, dos tamaños y dos orientaciones diferentes entre sí.

Lo indicado es obtener tales diferencias; para tal efecto, se medirán las estaciones ya determinadas con el nuevo sistema y, así, se verificará el grado de discrepancia que manifiestan dichas coordenadas, misma que se tomará como modelo matemático para establecer referencia a la red NAD 27.

Si la conclusión es que, en un "X" número de puntos en todo el territorio nacional, los desplazamientos resultan de "N" metros de un sistema con respecto al otro, entonces en toda esa área, las coordenadas de satélite se desplazarán ese mismo número, es decir, se obtendrán parámetros de transformación, esto es, se hará un escalamiento para bajar al sistema oficial.

#### **Grado de precisión de la información que aportan las estaciones fijas.**

A nivel global y como parte del sistema, la información es altamente precisa, supera las determinaciones establecidas en la normatividad, en términos relativos; sin embargo, dentro del NAD 27 y en un esquema realista se puede asegurar que las Normas Técnicas han sido cumplidas cabalmente.

#### **Ventajas que aporta la RGNA, en términos de costos y tiempos.**

Además de hablar de tiempos y costos, hay que mencionar que la instalación de la RGNA es una necesidad que debió cubrirse, a fin de desarrollar labores propias del gobierno e iniciativa privada en lo que toca a levantamientos de alta precisión geodésicos y topográficos. Desde luego, con la tecnología actual dicho establecimiento también significa incrementar la productividad y la calidad de las acciones al desarrollo nacional. La RGNA presenta una amplia gama de utilidades para cualquier tipo de proyecto de desarrollo nacional.

La información que obtiene la RGNA puede ser aprovechada por quienes lo soliciten y cuenten con equipo de una o dos frecuencias. También suministra información para estudios de movimientos de la corteza terrestre, monitoreo de actividad sísmica y un sinnúmero de estudios más, que requieran las instituciones de investigación u otros organismos de los sectores público y privado que posean instrumentos GPS.

### **El modelo de equipo tecnológico que se usó para el levantamiento de la RGNA**

Existen en el mercado dos tipos de equipos GPS. Un equipo que cuenta con dos frecuencias: frecuencia L1 y frecuencia L2, y que como vimos anteriormente sirve para compensar la refracción ionosférica y troposférica y además la desviación Doppler. Son equipos de alta precisión que por otra parte de las características anteriores las dos frecuencias permiten comparar en una sola estimación las diferentes mediciones.

Adicionalmente, se considera el equipo denominado de una sola frecuencia, el cual opera en distancias mas cortas. Para que arrojen resultados confiables se requiere que no esté alejado mas de 20 kilómetros uno de otro cuando se establezcan líneas base o se midan perímetros de polígonos.

### **El mantenimiento que precisa la RGNA**

La RGNA prácticamente tiene un mantenimiento permanente, puesto que los equipos están operando en forma continua. Estos instrumentos están instalados bajo una caseta, es decir, en las condiciones propicias para que se conserven y que siga obteniendo información de la constelación satelital.

Aunque a decir verdad estos equipos casi no requieren de mantenimiento, el único mantenimiento es preservarlos de la humedad y únicamente cuando el desecador interno se ha saturado de humedad es que debe dársele mantenimiento, o "formatearlos" cuando se ha saturado la memoria con información.

### **Forma en que se ligará la RGNA con las mallas geodésicas de las naciones geográficamente vecinas.**

De hecho, México al participar dentro del esquema de la RGNA tiene la posibilidad de integrarse a las estaciones de monitoreo, administradoras de estos satélites, para retroalimentar información. Es decir, además de recibir se transmitirán referencias para corregir las trayectorias de los satélites, elevando la calidad del conocimiento de la órbita y de la recepción de la señal del satélite.

Con la RGNA, México participará sustancialmente en el desarrollo tecnológico del uso de satélites artificiales para fines geodésicos, ya que nuestro país tendrá una gran densidad de estaciones de monitoreo.

En síntesis, la RGNA permitirá adoptar información para realizar cálculos de datos precisos de órbitas de los satélites; de tal manera, la RGNA mexicana se integrará y cooperará con otras mallas geodésicas internacionales de monitoreo. Esta contribución involucrará a nuestro país, aún mas, en el desarrollo científico y tecnológico de alto nivel en este rubro.

COORDENADAS PUBLICADAS DE LAS ESTACIONES FIJAS DE LA R.G.N.A

LUGAR	CLAVE	LATITUD NORTE	LONGITUD W.	ALTURA ELIPSOIDAL	DESVIACION STANDARD		
					LAT.	LONG.	ALT.
AGUASCALIENTES, AGS.	INEG	21° 51' 22."15629	102° 17' 03."12358	1889. 332	0.000	0.000	0.000
CHETUMAL, Q.R.	CHET	18° 29' 42."99560	88° 17' 57."216776	2. 817	0.044	0.095	0.131
CHIHUAHUA, CHIH.	CHIH	28° 38' 56."48293	106° 03' 55."382	1399. 223	0.011	0.028	0.032
COLIMA, COL.	COLI	19° 14' 56."90224	103° 43' 05."64331	511. 835	0.015	0.044	0.047
CULIACAN, SIN.	CULI	24° 47' 54."78796	107° 23' 02."18627	75. 562	0.019	0.050	0.058
HERMOSILO, SON.	HERM	29° 05' 59."73554	110° 56' 27."34406	209. 489	0. 016	0. 024	0. 042
LA PAZ, B.C.S.	LPAZ	24° 08' 19."66169	110° 19' 09."62127	6. 946	0.019	0.036	0.046
MERIDA, YUC.	MERI	20° 58' 48."16423	89° 37' 13."13718	7. 734	0. 008	0. 024	0. 017
MEXICALI, B.C.N.	MEXI	32° 37' 58.275802	115° 28' 32."51229	22. 687	0. 021	0. 037	0. 049
MONTERREY, N.L.	FMTY	25° 40' 38."81094	100° 17' 07." 83187	497. 521	0.008	0. 022	0. 022
OAXACA, OAX.	OAXA	17° 04' 49."64216	96° 43' 09."50449	1595. 777	0. 011	0. 035	0. 031
TAMPICO, TAMPS.	TAMP	22° 16' 41."95852	97° 51' 50."48624	21. 063	0. 026	0. 067	0. 065
TOLUCA, MEX.	TOLU	19° 17' 24."61505	99° 38' 18."55019	2649. 176	0. 005	0. 015	0. 014
VILLAHERMOSA, TAB.	VILL	17° 59' 45."92664	92° 54' 47."83942	21. 118	0. 012	0. 037	0. 029

Tabla 7

# Red Geodésica Nacional Activa

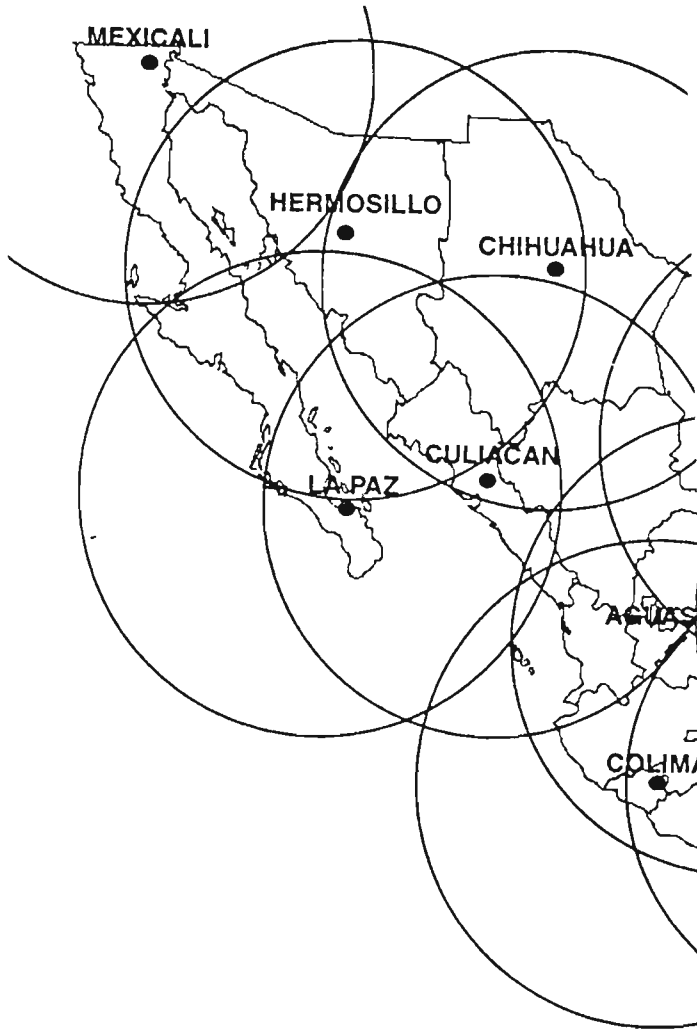
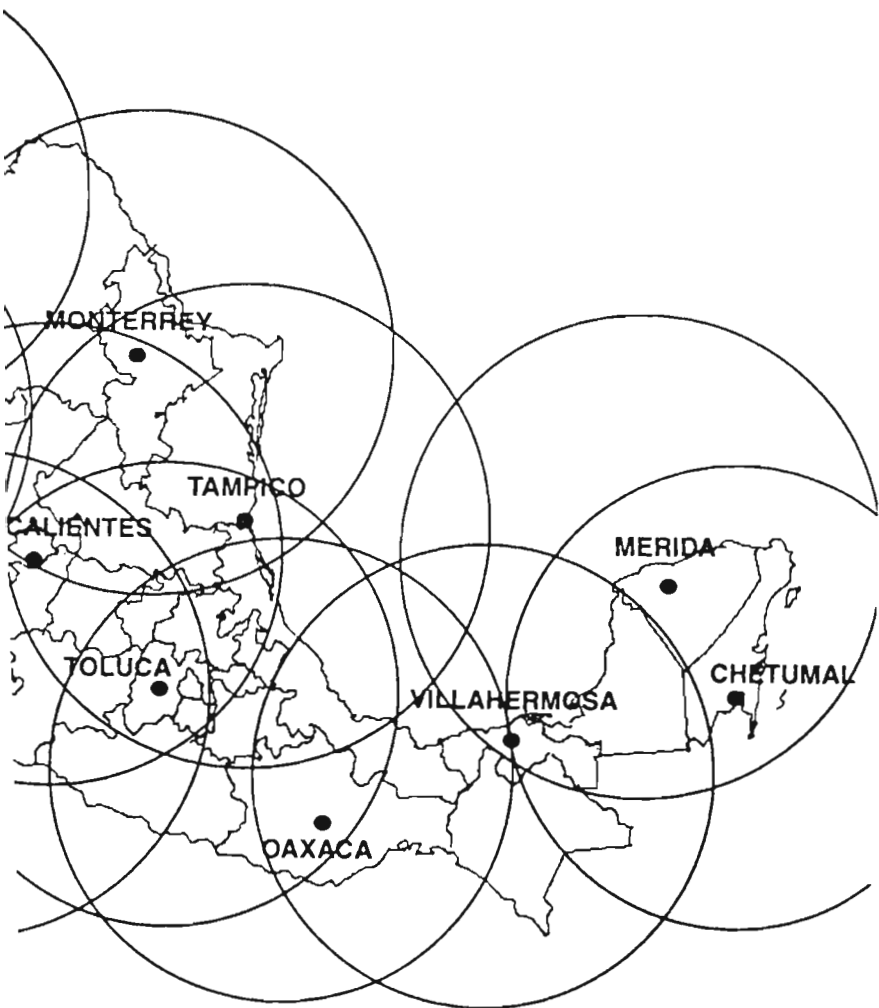


Figura VIII - 66



## CAPITULO IX

### MISSION PLANNING (PLANEACION DE LA MISION)

El propósito de la planeación de la misión es determinar el mejor horario de posicionamiento, de acuerdo principalmente a dos factores que son el PDOP y la cantidad disponible de satélites. Este análisis se puede realizar por sitio individualmente o por el conjunto de sitios que intervienen para la medición, este programa permite también analizar la viabilidad del levantamiento mediante la previsión de obstáculos.

El único requerimiento del programa es un archivo de almanaque actualizado. Este archivo proporciona información de los satélites necesaria para garantizar confiabilidad en los resultados de este programa. Si un almanaque tiene 60 días o más sin actualizar el programa desplegará un mensaje de advertencia señalando que el almanaque ya no es confiable y debe ser actualizado.

Previo a la actualización del almanaque, se hace una observación durante hora y media con el equipo GPS como si se estuviera posicionando en un vértice para su medición.

Para facilitar la redacción durante la parte restante de éste documento se hace necesaria la definición de los siguientes términos:

SELECCION	Se referirá a la acción de presionar el cursor del mouse sobre el área que se indique y presionar el botón izquierdo del mouse (el botón derecho se utiliza sólo para salir del programa)
OPCION	Representa un área gráfica o recuadro en la pantalla con un icono o texto que permite activar o desactivar alguna función.
SALIR DE PANTALLA	Esta acción se realizará seleccionando la opción llamada QUIT.

### ACTUALIZACION DEL ALMANAQUE

Hay que mencionar la importancia que tiene la actualización de este, porque de él depende el éxito de nuestros levantamientos futuros

Aunque el Mision Planning nos previene cuando un almanaque es obsoleto, es decir en ese momento ya no nos sirve la información del estado de los satélites, (según el fabricante debe actualizarse cada 60 días); INEGI, para garantizar la calidad de los levantamientos con GPS actualiza los almanaques semanalmente cada día miércoles.

Previamente haciendo la observación por hora y media se ejecuta el siguiente Procedimiento en la computadora:

Estando en el prompt del sistema operativo...

```
C:\>
```

Cambiamos al directorio donde se encuentra el programa GPPS

```
C:\>CD/GPPS
```

Ya ubicados en el directorio

C:\GPPS>

Se llama al programa para descarga de la información contenida en el receptor

C:\GPPS>HOSE

Este programa despliega la pantalla:

<b>Main Options:</b>	
A) Display receiver directory	E) Reset for new receiver
B) Download receiver files	F) Read photogrametry data
C) Change communications parameter	G) Read almanac data
D) Change destination path	H) Edit Waypoints
File Path: C:\GPPS	Receiver Type: S XII
Files: BEN = closed	Disk Space: 100712 KB
SITE = closed	BAUD : 38400 PORT: COM1

<Esc> - QUIT

<F1> - DOS Shell

<CR> or <F10> - Accept

Se sitúa en el campo que dice "FILE PATH:" y se teclea el nombre del directorio donde se encuentra instalado el programa MP, luego selecciona la opción "G" (READ ALMANAC DATA) y presione <<ENTER>>.

Al finalizar la descarga de datos, presione <ESC> para salir del programa y quedar de nuevo en le prompt del sistema.

### ACCESO AL PROGRAMA MISSION PLANNING

Estando en el prompt del sistema operativo.

C:\>

Cambiamos al directorio donde se encuentra el programa MP

C:\>CD/MP

Una vez ubicados en el directorio

C:\MP>

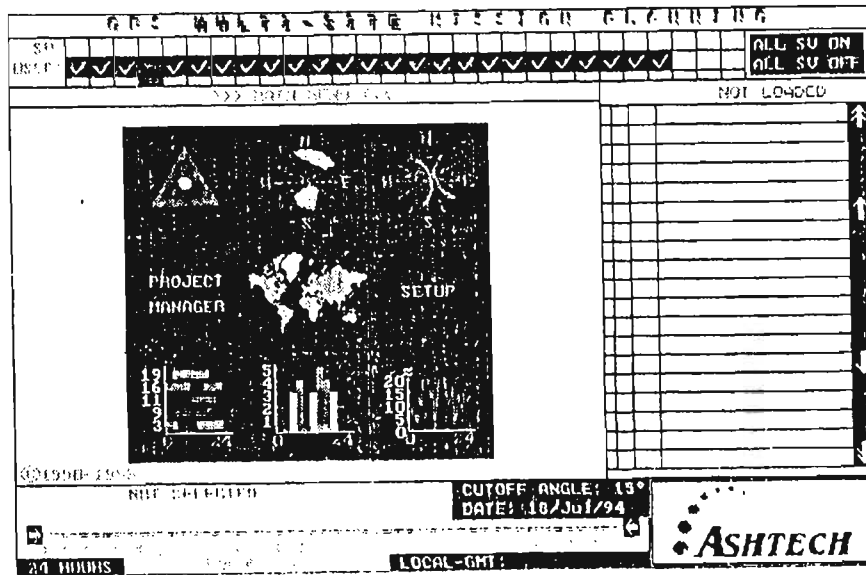
Se llama al programa tecleando MP <RETURN>

C:\MP>MP<RETURN>

Aparecerá la pantalla:



Figura 66.- Pantalla Principal de Opciones MP.



Para describir la pantalla principal, se dividirá en cuatro secciones.

1. En la parte superior el PANEL DE SELECCION DE SATELITES que cuenta con dos opciones, la primera (ALL SV ON) activa la información de todos los satélites (indicado con una paloma aquellos que estén activados). La segunda (ALL SV OFF) los desactiva. Se puede activar satélites individualmente seleccionándolos.

2. En la parte inferior, el PANEL DE ESTADO se incluye información sobre el sitio, rango de horario y fecha de análisis, ángulo de observación y tiempo GMT (Tiempo del Meridiano de Greenwich).

La alteración de cualquiera de estos valores se realiza de la siguiente manera:

Para el rango de horario (que inicialmente es de 24 horas) se selecciona cualquiera de las flechas de los extremos y mientras mantenemos presionado el botón izquierdo, movemos el mouse a la izquierda o derecha, para soltar luego el botón izquierdo sobre la hora en que queremos dejar el límite.

La selección de fecha y ángulo de elevación para librar obstáculos se realiza de la siguiente manera:

Posicionamos el cursor del mouse sobre el campo que deseamos cambiar y mientras presionamos el botón izquierdo del mouse movemos a la izquierda o derecha para disminuir y aumentar respectivamente sus valores

3. En la parte derecha la LISTA DE SITIOS EN ANALISIS.

Aquí se observan los sitios o estaciones que se tienen registradas dentro del proyecto en edición. Cuando el número de sitios excede a 18, éstos pueden ser vistos seleccionando las flechas de la extrema derecha.

Cuando algún sitio se encuentra seleccionado, se marca con una paloma al lado izquierdo de su nombre.

4. Al centro se encuentra el PANEL DE OPCIONES del cuál se describirán todas estas y cuya identificación estará dada en el orden en que presenta el siguiente esquema:

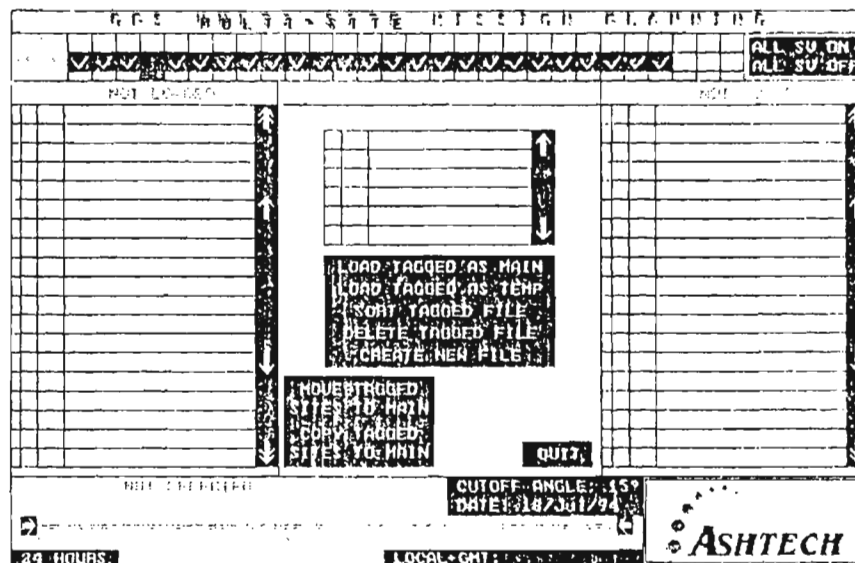
SITE EDITOR B	SITE OBSTRUCTION EDITOR C	SATELLITE SKY PLOT D
PROJECT MANAGER A	SITE LOCATION ON ON THE MAP E	SET UP F
SATELLITE VISIBILITY G	SATELLITE AVAILABILITY H	GEOMETRIC DILUTION OF PRESITION I

Los nombres en inglés identifican cada una de las opciones que serán analizadas en los siguientes capítulos y la letra indica el orden en que se recomienda el acceso a estas opciones para la creación o edición y análisis de un proyecto.

#### A. PROJECT MANAGER (ADMINISTRADOR DE PROYECTOS)

Este icono lleva a la pantalla ella permite crear o editar un proyecto, este nombre se sujeta a las mismas reglas para nombrar un archivo en D.O.S.

Figura 67.- Administrador de Proyectos



El panel más pequeño dentro de esta pantalla muestra la lista de proyectos ya existentes y las opciones que afectan a este panel son:

**CREATE NEW FILE**

Crea un nuevo proyecto.

- Coloca la flecha en el renglón CREATE NEW FILE y automáticamente se ilumina el último renglón de Project Selection para introducir el dato deseado.

El panel más largo de la izquierda nos muestra una lista de sitios temporales que pueden ser integrados al proyecto principal con las siguientes opciones:

**LOAD TAGGED AS MAIN**

Activa el proyecto seleccionado como el proyecto principal.

**LOAD TAGGE AS TEMP**

Activa el proyecto seleccionado para trabajo temporal.

- Se selecciona la opción LOAD TAGGED AS TEMP y automáticamente copia todos los sitios del proyecto del archivo temporal.

**SORT TAGGE FILE**

Ordena alfabéticamente la lista de sitios correspondientes a este proyecto

- Seleccione esta opción y presione Enter.

**DELETE TAGGED FILE**

Borra el proyecto seleccionado.

- Seleccione el proyecto que desee borrar y con la flecha posicione DELETE TAGGED FILE y presione Enter y Yes

**MOVE TAGGE SITES TO MAIN**

Mueve los sitios seleccionados dentro de esta pantalla hacia el proyecto principal activo.

**COPY TAGGED SITES TO MAIN**

Copia los sitios marcados al proyecto principal activo.

**B. SITE EDITOR (EDITOR DEL SITIO)**

Esta pantalla permite crear o editar la información referente a un sitio o estación.

Para trabajarlos se pueden usar las siguientes opciones:

**ADD NEW SITE TO FILE**

Agrega un nuevo sitio al archivo o proyecto.

- Anote el nombre del sitio, sus coordenadas, altura y tiempo local según meridiano de Greenwich, hecho esto seleccione ADD NEW SITE TO FILE y presione el botón izquierdo del ratón.

**DELETE TAGGED SITE**

Borra el sitio activado.

**REPLACE TAGGED SITE**

Reemplaza el sitio seleccionado con la información que estamos editando.

Figura 68.- Editor del Sitio

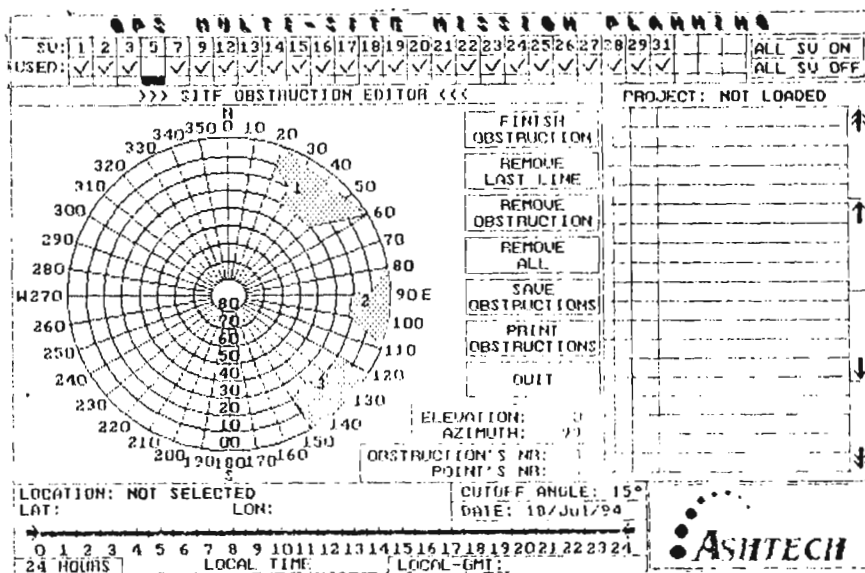
### C. SITE OBSTRUCTION EDITOR (EDITOR DE OBSTRUCCIONES EN EL SITIO)

Esta pantalla permite posicionar obstrucciones detectadas dentro del radio de un sitio en análisis.

- 1o. Seleccionar el sitio (✓) con el que se va a trabajar
- 2o. Introducir las obstrucciones existentes en el sitio
- 3o. Seleccionar con la flecha la opción (Save Obstructions) aparece una barra vertical junto al sitio seleccionado que indica que las obstrucciones están activadas.

La ubicación de obstrucciones se obtiene mediante el formato "Ubicación de Obstáculos" que se llenará durante el reconocimiento de campo.

Figura 69.- Editor de Obstrucciones en el Sitio



#### D. SATELITE SKY PLOT (TRAYECTORIA DE SATELITES)

Muestra la órbita que recorren los satélites sobre el sitio seleccionado.

Esta gráfica sólo se observa para un sitio a la vez, ya que en el modo multisitio no es posible observarla al igual que las opciones B y C.

Existen cuatro opciones en esta pantalla:

**OBSTRUCTIONS ON/OFF**

Activa (ON) o desactiva (OFF) el análisis con obstrucciones.

**FULL SCREEN**

Presenta la gráfica en todo el espacio de la pantalla y despliega información más específica sobre el sitio en cuestión.

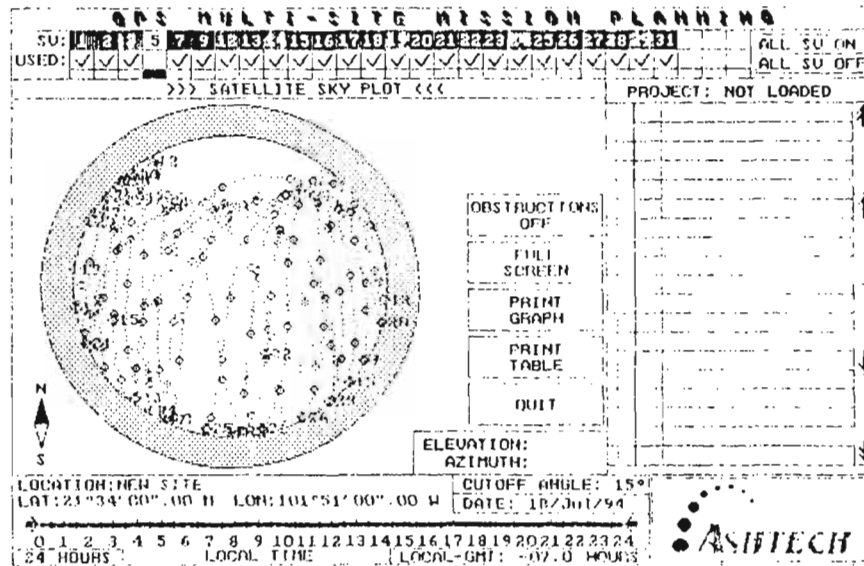
**PRINT GRAPH**

Impresión de la gráfica en pantalla.

**PRINT TABLE**

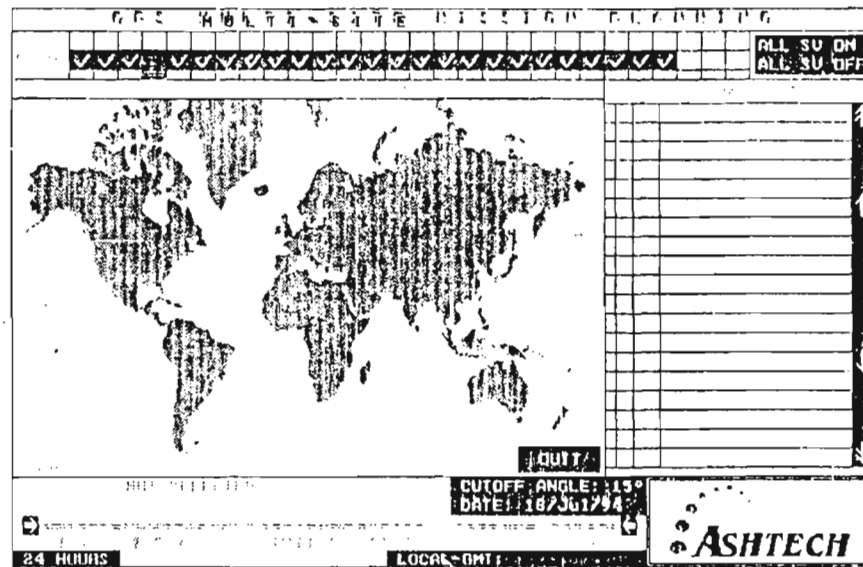
Imprime una tabla que describe cronológicamente la trayectoria de los satélites.

Figura 70.- Trayectoria de Satélites



**E. SITE LOCATION ON THE MAP (LOCALIZAR UN SITIO EN EL MAPA)**  
 Esta pantalla permite conocer las coordenadas geográficas de un sitio seleccionado en este mapa.

Figura 71.- Localizar un sitio en el Mapa



Esto se hace posicionando el cursor del mouse sobre el punto que interesa ubicar y presionando el botón izquierdo del mouse, entonces aparecerá un punto amarillo que indica dicha

posicion y da las coordenadas obtenidas. Dichas coordenadas se almacenan automáticamente en el sitio que se tenga en edición o en su defecto las asignará a un nuevo sitio.

## F. SETUP (CONFIGURACION)

Las funciones básicas de esta pantalla son:

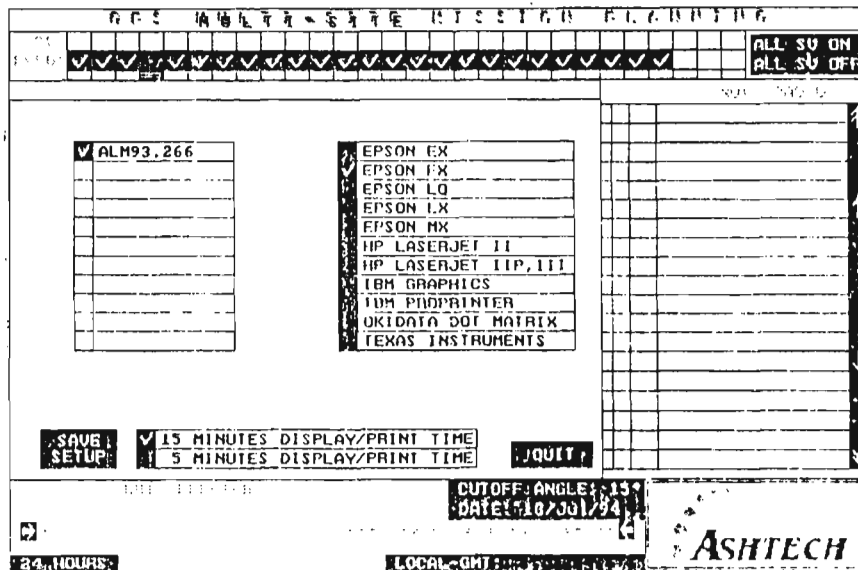


Figura 72.- Configuración

- Selección de impresora.
- Selección de calidad de impresión.
- Selección de almanaque (asegurarse que el almanaque tiene la actualización adecuada para trabajar con este programa).

NOTA: La elección de modo multisitio se realiza seleccionando dos o más sitios para la planeación al mismo tiempo.

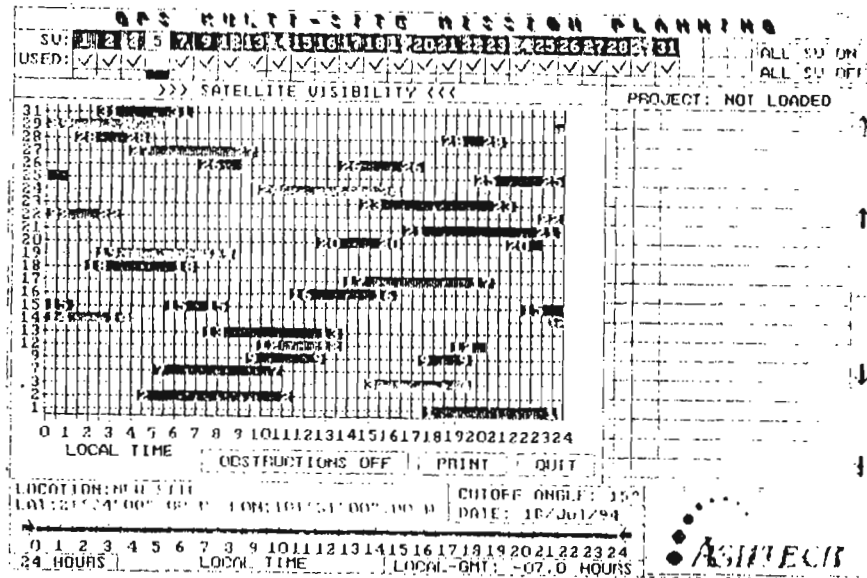
Estando en la pantalla principal se posiciona el mouse en el primer sitio a seleccionar y oprimiendo simultáneamente la tecla Shift y el botón izquierdo del mouse hasta marcar todas las estaciones de interés.

## G. SATELLITE VISIBILITY (VISIBILIDAD DE SATELITES)

Esta gráfica muestra la aparición desatélites en el transcurso del día seleccionado.

El eje "Y" muestra el número del satélite y el eje "X" el rango de horario que se analiza. Las opciones que se observan en esta pantalla son:

Figura 73.- Visibilidad de Satélites



**OBSTRUCTIONS ON/OFF**

Activa (ON) o desactiva (OFF) el análisis considerando las obstrucciones registradas.

PRINT Imprime la gráfica obtenida.

**H. SATELLITE AVAILABILITY (DISPONIBILIDAD DE SATELITES)**

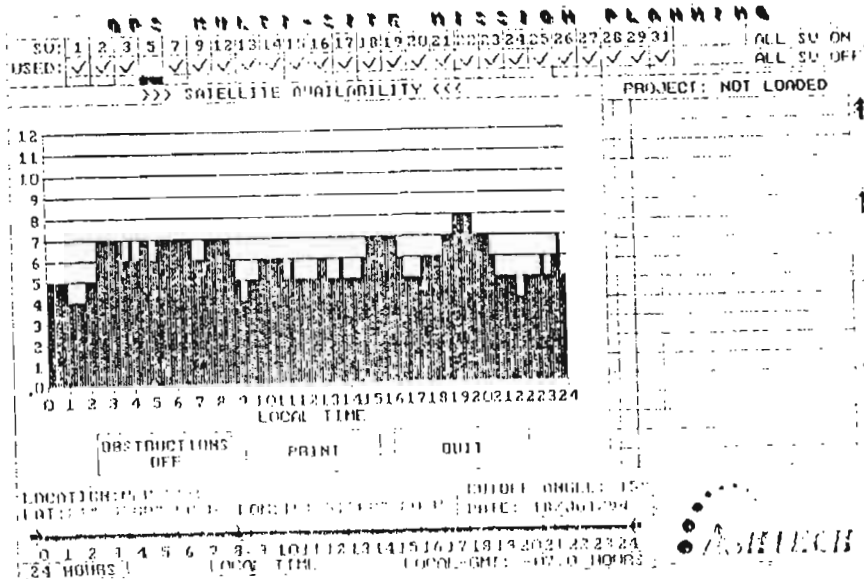
Esta pantalla presenta la cantidad disponible de satélites a través del día en cuestión.

En el eje "Y" se presenta la cantidad de satélites y en eje "X" el horario. Para facilitar el análisis de esta gráfica el programa despliega, en color verde, el horario en el que se registran 4 o más satélites disponibles, en amarillo la disponibilidad de 3 y en rojo una cantidad menor.

Quando se registren obstrucciones en alguno de los sitios que intervienen en este análisis deberán ser activadas seleccionando la opción que dice "OBSTRUCTIONS" para que diga "OBSTRUCTIONS ON".



Figura 74.-  
Disponibilidad de Satélites



### I. GEOMETRIC DILUTION OF PRECISION (DILUCION DE PRECISION GEOMETRICA)

Esta gráfica es la de mayor representatividad dentro del análisis con MP ya que muestra el comportamiento de las dos variables principales para determinar el mejor horario de medición (PDOP y cantidad de satélites disponibles).

Esta pantalla cuenta con varios campos de activación (ON/OFF) y son:

**PDOP**  
Elevación general de errores de los valores comunes de la medición (GDOP, HDOP, VDOP, TDOP).

**GDOP**  
Dilusión de la precisión geodésica.

**HDOP**  
Dilusión de la precisión horizontal.

**VDOP**  
Dilusión de la precisión vertical.

**TDOP**  
Dilusión de la precisión del tiempo.

**OBSTRUCTIONS**  
Esta opción debe estar activada (ON) para que la gráfica presentada considere las obstrucciones existentes en cualquiera de los sitios.

AVAILABILITY

Debe estar activada (ON) para que sea posible detectar aquellos horarios en los que coincidan una cantidad de 4 o más satélites disponibles con un PDOP menor o igual a 5.

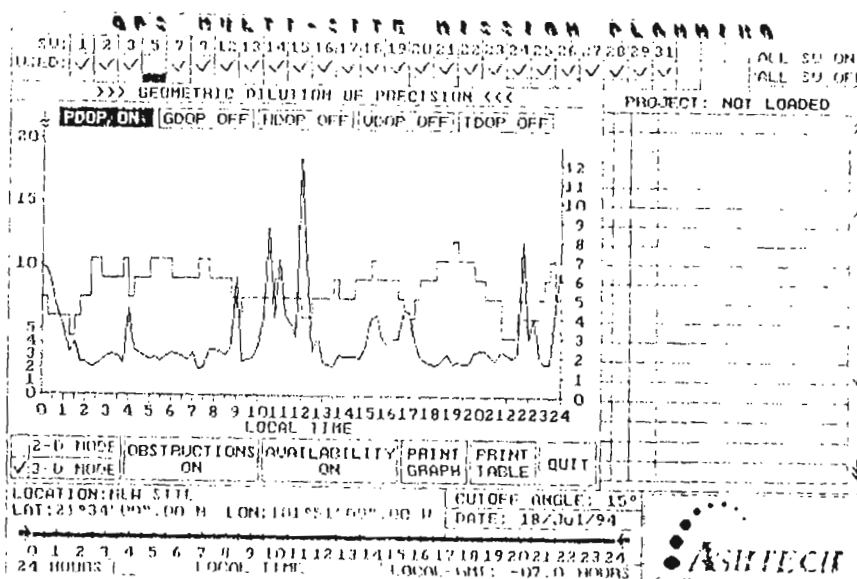
**PRINT**

Imprime la gráfica en pantalla.

**SALIDA DEL PROGRAMA**

- a) Se presiona el botón derecho del mouse y aparece un mensaje.
- b) Se selecciona la opción EXIT

Figura 75.- Dilución de la Precisión



## CAPITULO X

### USO Y MANEJO DEL EQUIPO GPS

#### NOMENCLATURA DEL RECEPTOR ASHTECH (P-XII)

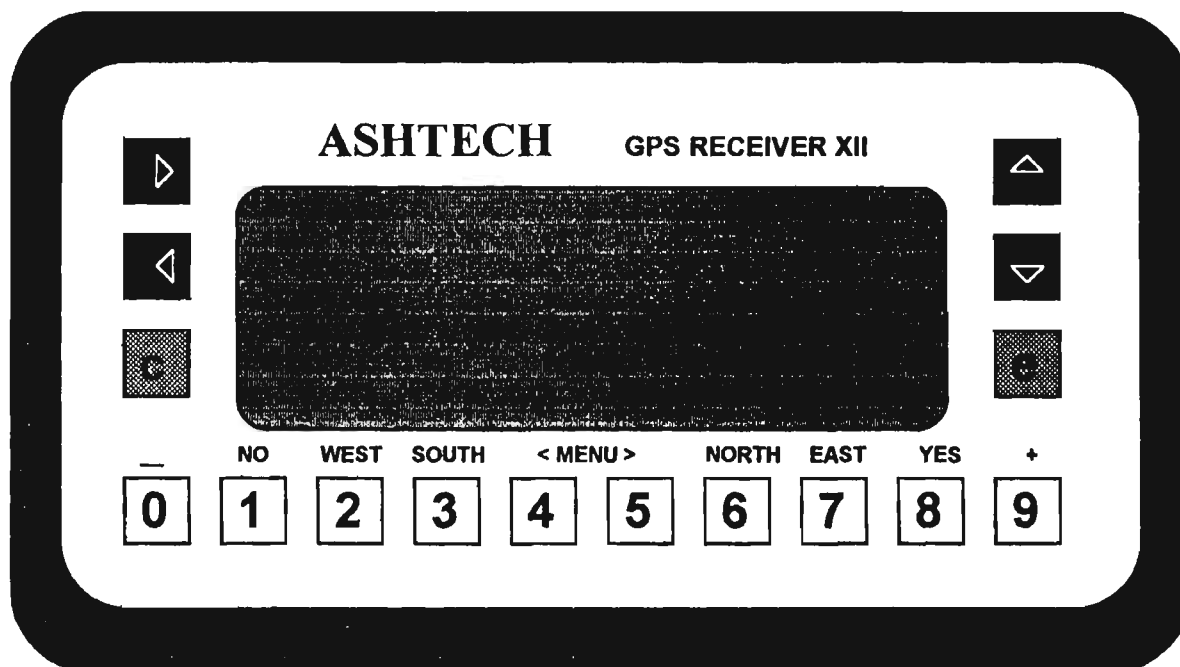


Figura 76.- Receptor GPS -Vista de Frente.

#### INFORMACION GENERAL

El receptor GPS ASHTECH P-XII está diseñado para hacer uso total del sistema de Posicionamiento Global Navstar, proporciona posicionamiento y navegación de la mas alta precisión. Este modelo fué uno de los primeros en ofrecer un verdadero rastreo automático " TODOS A LA VISTA ". Con doce canales independientes, el receptor rastrea automáticamente todos los satélites visibles, eliminando la necesidad de una selección manual programada o pre-programada de satélites comunes entre sitios a posicionar.

El sistema incluye la antena microstrip montada sobre una plataforma para posicionamiento con exactitud sobre la marca del punto.

El receptor ASHTECH P-XII también es fácil de operar. Después de posicionar el tripié, solamente es necesario conectar la batería para los trabajos de campo. Los controles de operación están al frente. Las conexiones de entrada y salida están en la parte posterior.

El funcionamiento es posible a través de varias pantallas de fácil uso. "Información" en el título de una pantalla significa solamente despliegue. "Control" en el título indica una pantalla con la que usted interactúa, por ejemplo las pantallas 4 y 9. En este trabajo únicamente las principales pantallas se describen en detalle.

El panel frontal del receptor tiene una pantalla de LCD de 8 líneas por 40 caracteres. Proporciona reportes sobre datos satelitales y es la arena de menús interactivos para la información que introduzca el usuario.

Está rodeada de teclas que activan las funciones del receptor:

0 - 9 Presionando un número se llama directamente una Pantalla específica. La esquina inferior derecha muestra el número de la pantalla.

Dentro de las pantallas, las teclas de números son usadas para la entrada de datos tales como mediciones de la altura de la antena o la latitud. También se usan para la entrada de información alfanumérica tal como el nombre del sitio. Dependiendo de la pantalla, estas teclas pueden tener otras funciones; por ejemplo, la tecla (8) para "YES"

(c) El uso de esta tecla cancela la entrada de datos.

(e) Esta tecla se presiona para la entrada del modo datos de entrada, para salvar valores que el usuario haya introducido y para volver a despliegues de mayor nivel (funciona muy parecido a la tecla <ENTER> de una computadora).

▷ ◁ En el modo de despliegue, use la tecla ▲ o la ▼ para cambiar a la pantalla o subpantalla numerada siguiente mas alta o mas baja.

▲, ▼ Se usan para elevar o bajar el contraste cuando el receptor está en modo de despliegue. Después de dos minutos de inactividad en el teclado, se apaga automáticamente la pantalla para conservar la vida de la batería. Para restaurar la pantalla, presione cualquier tecla. Se recomienda que sea (e) para que no cambie lo que deseaba en el despliegue.

▷ ◁ ▲ ▼ En modo de entrada de datos, use las teclas de flecha para mover el cursor: para iluminar un campo o para "flashear" en la posición de un carácter donde se tendrá la siguiente entrada. Las teclas ▷ ◁ mueven horizontalmente el cursor y las teclas ▲, ▼ lo mueven verticalmente.

**Iluminación:** Para iluminar un parámetro, use una tecla de flechas (▷ ◁ ▲ ▼) para mover el cursor hasta que el campo sea desplegado en video inverso y esté "flasheando" un carácter posicionado en ese campo.

**Selección:** Para seleccionar un parámetro, ilumínesse y presione la tecla (e)

**Sujetar:** Para sujetar un campo, ilumínesse y presione la tecla (+) ó (-) hasta que despliegue el dato que quiere. Por ejemplo, debajo de la Pantalla 4, en la Selección del Parámetro Puerto A/B, se pueden establecer varias tasas baud. Use la tecla ▷ para iluminar el indicador **BAUD RATE** y presione la tecla (+) ó (-) para barrer a través de 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, y 115200 hasta la tasa baud que se desee.

## Receptor GPS - Vista Posterior.

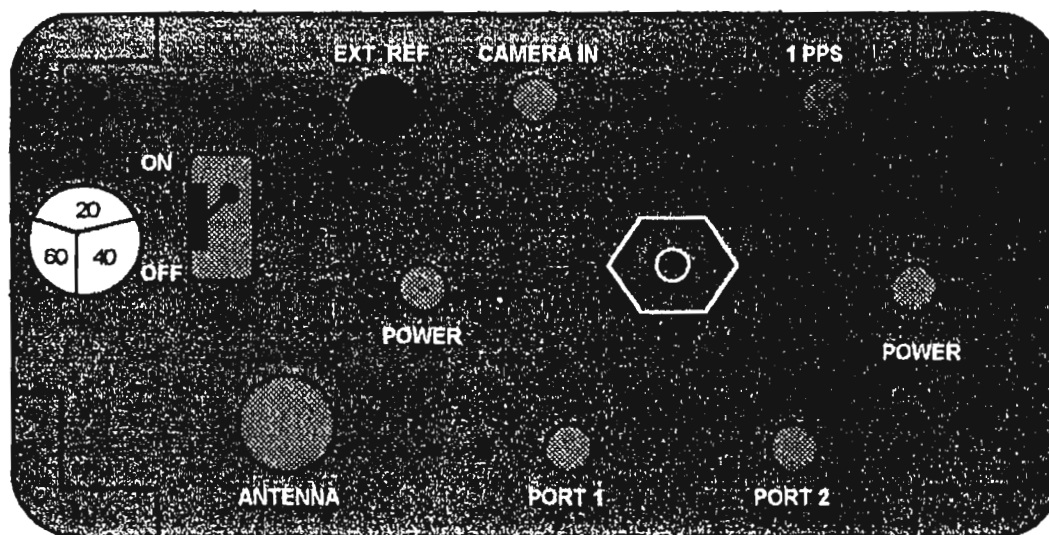


Figura 77

El receptor ASHTECH P-XII está diseñado para operar con un voltaje de entrada entre 10 y 32 VCD de una fuente externa. Dos contactos POWER-IN permiten el uso de dos baterías externas. Antes de descargarse se oír un tono continuo reportando que el voltaje ha caído por debajo de los 10 voltios.

Se puede conectar la segunda batería al segundo conector y continuar registrando datos sin interrupción. O se puede conectar en los dos contactos al mismo tiempo cuando se deja solo el receptor para la toma de observaciones; el receptor jalará energía de la batería con mayor voltaje.

**EXT REF.** Esta conexión se encuentra sellada de fábrica y no se emplea en este tipo de receptor.

**CAMERA IN:** Permite el registro exacto del tiempo de un evento con una opción de entrada con cámara fotogramétrica y cableado.

**1PPS:** Acepta un conector BNC. Se usa cuando el receptor tiene instalada la opción de generación de pulso, se genera una señal sincronizada de un pulso por segundo con tiempo GPS.

**ANT:** Es un conector para la combinación L1 y L2 del cable de la antena.

**SERIAL PORT 1 y 2:** Existen dos puertos series RS-232 para transferir datos registrados del receptor a una computadora para post - procesamiento. También pueden usarse para otras comunicaciones para y desde el receptor.

**CAPS:** Para protección, las tapas roscadas, ajustadas a los conectores deberán estar en su lugar cuando no se use el conector.

El círculo graduado con números 20, 40, 60 indican el porcentaje de humedad existente dentro del receptor cambiando a un color azul; porcentajes de humedad cercana al 60% afecta al equipo.

**PLATAFORMA DE LA ANTENA**

Una antena geodésica se asienta sobre una plataforma de acabado fino protegida con una cubierta a prueba de agua. El pre - amplificador de ruido bajo situado en la base de la antena tiene suficiente ganancia para un cable de hasta 30 metros.

Para distancias mayores se cuenta con un amplificador de línea. Los cables usan conectores tipo N en ambos extremos los cuales se conectan por su centro.

Ocho entradas pata de perro, clasificadas de la A a la H en el plano de la antena misma, permiten medir su altura (altura del instrumento). Se usará la regla de medir seccionada especial que se suministra con el equipo. La altura se mide del vértice en donde está posicionada la antena hasta la ranura pata de perro, la distancia desde el centro de la antena al diámetro de las ranuras es de 0.1318 metros. Del centro al borde del plano de la antena es de 0.1430 metros. Nota: la medición de la altura de la antena se hace en forma inclinada, debido a que el software para el procesamiento de la información, tiene integrado un paso en el que calcula automáticamente la distancia vertical de la antena en función de su radio.

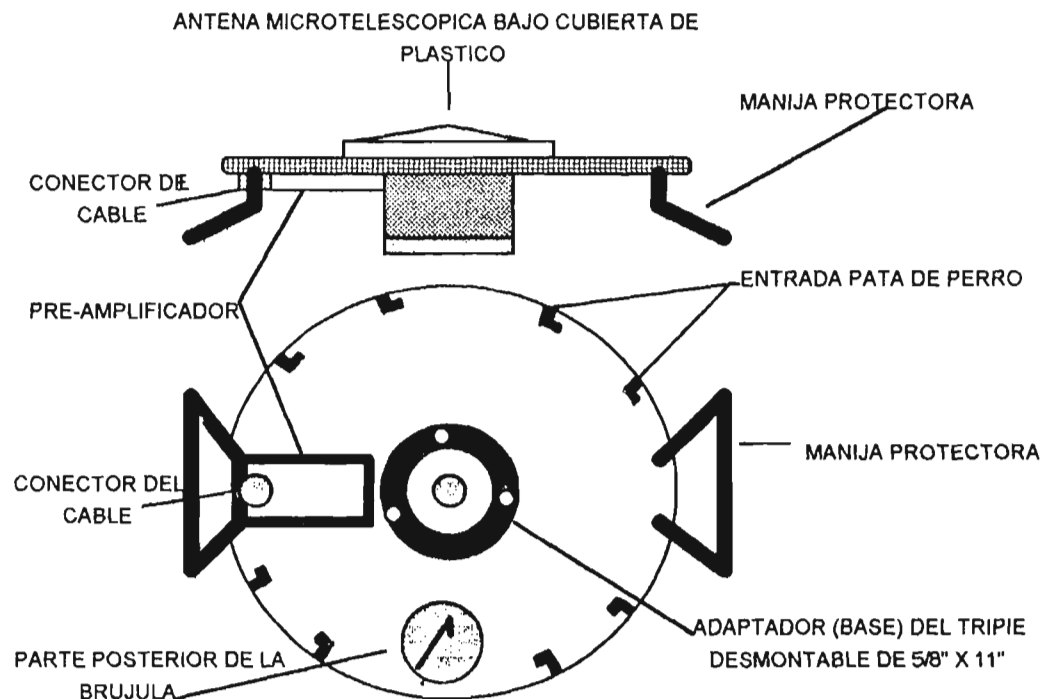


Figura 78 Plataforma de la antena (Vistas lateral y de fondo)

La plataforma de la antena puede montarse sobre un tripié o de un bípode, usando un conector de rosca o el conector de tripié de 5/8" X 11". El bípode es muy útil para usarse en los levantamientos cinemáticos.

### **UBICACION E INSTALACION DEL EQUIPO (P-XII).**

Para llevar a cabo esta actividad es necesario seguir en el orden descrito las funciones que se presentan a continuación.

1. Localización del equipo o vértice en el que se va a realizar el posicionamiento.

2. Centrado y Nivelado.

a) Instalar el tripié a la altura aproximada de la barbilla, de tal manera que no se obstruya la señal que recibe la antena.

b) Colocar la base nivelante sobre el plato del tripié y ajustarla con el tornillo sujetador.

c) Haciendo uso de la plomada óptica, centrar el tripié sobre la marca que identifica el vértice a medir.

d) Girando los tornillos niveladores y observando el nivel de búrbuja, nivelar el tripié. En caso de que se haya perdido el centrado, aflojar el tornillo sujetador y desplazar la base nivelante hasta colocarlo en la marca. Revisar con el nivel de búrbuja que no se haya desnivelado.

3) Colocar el adaptador sobre la base nivelante de tal manera que el tornillo del adaptador quede en la ranura de la base nivelante y sujetarlo con el tornillo de fijación.

4) Aflojar el tornillo del adaptador e instalar la antena, orientarla al norte y fijarla.

5) Instalar el cable de poder del receptor a la batería, verificando la polaridad de la batería.

6) Instalar el cable de la antena receptor.

7) Medir la altura de la antena, ésta se mide del centro de la marca a la parte superior de la antena en 3 muescas "Pata de perro" diferentes formando un triángulo, los resultados se promedian y se registran posteriormente en la pantalla (9) del receptor, 5 minutos antes de concluir la sesión se vuelve a medir la altura de la antena siguiendo el mismo procedimiento.

Habrán ocasiones en que al realizar el posicionamiento en algunos puntos, será necesario elevar la antena a una altura que libre los obstáculos existentes como, vegetación, construcciones, etc. utilizando la baliza (extensión).

Para este caso habrá que considerar las indicaciones siguientes:

El centrado y nivelado del tripié se hará de acuerdo a las indicaciones marcadas en los incisos a) a d) del punto 2.

Para hacer las instalaciones de la extensión se separa la antena del adaptador y se desprende del tornillo rotativo del adaptador.

Se toma la medida de la extensión a utilizar.

Se coloca la antena en el extremo superior de la extensión cuidando que el nivel de burbuja quede hacia abajo.

En el extremo inferior de la extensión se coloca el tornillo rotativo del adaptador.

Se procede a instalar la extensión (antena) sobre el adaptador, manteniendo conectado el cable de antena receptor.

La orientación de la antena al Norte, se hace girando suavemente la parte inferior de la extensión.

Una vez orientada se fija el tornillo del adaptador. Verificar el nivelado, para lo cual debe coincidir el nivel de la base nivelando con el nivel de burbuja de la extensión, garantizando así que la extensión quede nivelada.

Si al instalar la extensión se desnivela el tripie se ajustará con los tornillos niveladores, siguiendo los procedimientos antes mencionados.

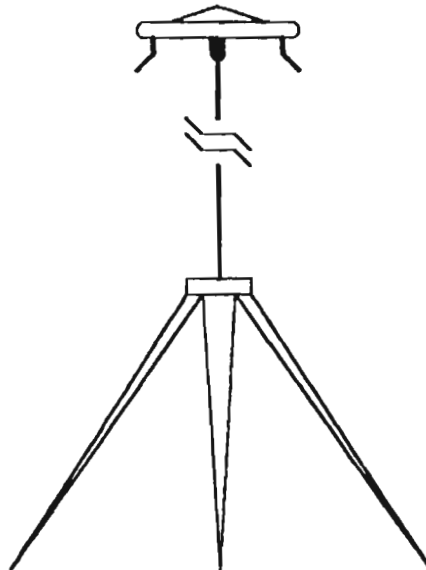


Figura 79.- Tripié con Extensión

NOTA: Antes de encender el receptor se recomienda verificar los pasos anteriores para tener la seguridad que los datos a obtener sean confiables y precisos.

#### INICIALIZACION DEL RECEPTOR "GPS" (P-12)

1. Encender el receptor accionando el interruptor de la cara posterior a la opción (ON).
2. Al encenderlo aparece en pantalla de la cara frontal del receptor el logotipo de la compañía.



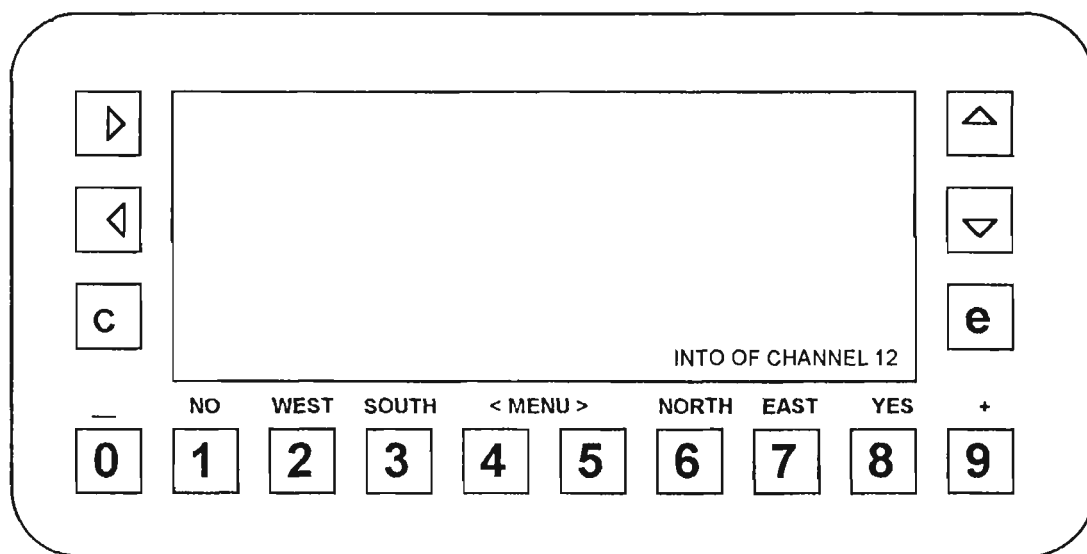


Figura 80

3. Automáticamente despliega la pantalla (0) "Información sobre búsqueda espacial".

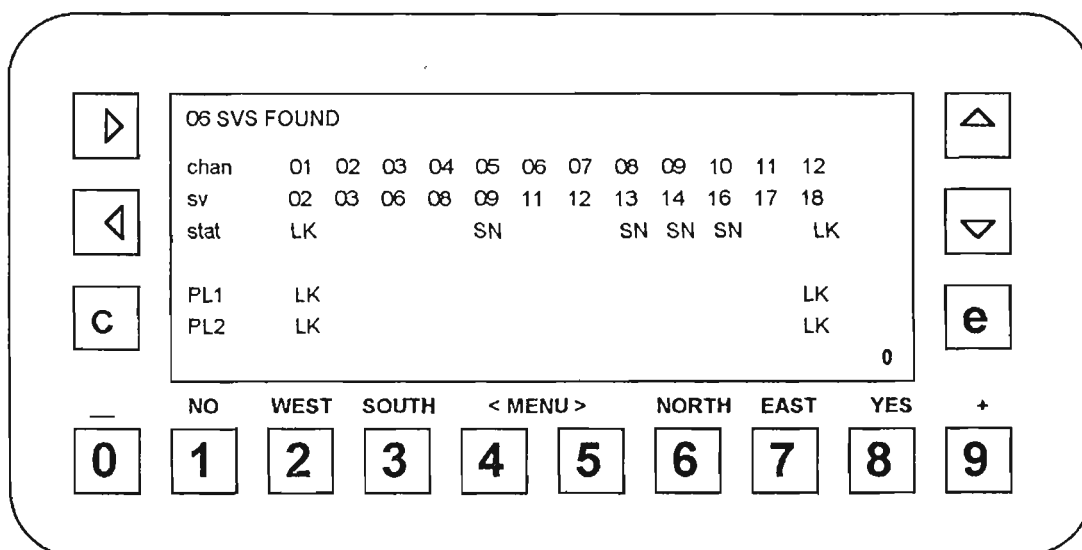


Figura 81

En esta pantalla verificamos que el proceso de rastreo de satélites se está realizando, cuando un satélite es enganchado será señalado con las letras (LK).

Una vez que se ha enganchado 3 satélites, el receptor comenzará a computar posición y almacenar información.

Si después de 2 minutos de haber encendido el receptor, ningún satélite es enganchado, inspeccionar el cable y las conexiones de la antena y receptor.

Si no existe suficiente contraste para leer la información ajústelo con las flechas (  $\Delta$   $\nabla$  )

**NOTA:** Es importante verificar si el código P está activado al momento del posicionamiento, esto se puede hacer de dos maneras:

a) En pantalla (0)

Si en los renglones o campos sombreados aparecen etiquetados con PL1 y PL2 y además las letras LK en los canales en que se engancharon los satélites significa que el código P está activado en ambas frecuencias y se procederá con la medición.

Cuando aparecen etiquetadas con L2Q y L2C, y en vez de las letras LK aparecen números, significa que el código P está restringido o desactivado, si esto sucede es necesario cambiar el receptor a la opción CA para la recepción de la señal.

Para hacer el cambio se posicionará en la pantalla 8 y presionar (e) para entrar al programa, introducir el código de cambio (222), presionando 3 ocasiones la tecla marcado con el número (2) presionar (e) para aceptar los datos.

Si no se hace este cambio el receptor PXII no registrará datos de los satélites enganchados.

b) En la pantalla 1 el procedimiento se describe en la página 144.

4) Llamar la pantalla 4 (Control de modos) presionando la tecla 4.

The image shows a screen with a central text area and a numeric keypad below it. The screen is framed by a rounded rectangle. On the left side, there are three square buttons: the top one with a right-pointing triangle, the middle one with a left-pointing triangle, and the bottom one with the letter 'C'. On the right side, there are three square buttons: the top one with an upward-pointing triangle, the middle one with a downward-pointing triangle, and the bottom one with the letter 'e'. The central text area contains the following information:

```
POS 00:00.0000N      000:00.0000 W      +00000.00m
ALT KNOWN N    RANGER 0    UNHLT SV N
REC INTVL 015  MIN SV3      ELV. MASK 15    RNGR 0
POSITION          DIFFERENTIAL    PULSE GEN
DATUM SELECT     PORT A SEUP      PORT B SEUP
SESSION PGM      EXT. FREQ.      MODEM SETUP
SUBCOMMANDS
press e to change values
```

At the bottom right of the text area is a small number '4'. Below the text area is a row of labels: NO, WEST, SOUTH, < MENU >, NORTH, EAST, YES, +. Below these labels is a row of ten square buttons numbered 0 through 9.

Figura 82

Para introducir los datos en esta pantalla presione "e".  
En esta pantalla registraremos:

- a) (REC. INTVL) Intervalo de registro a cada 15 segundos
- b) (ELEV. MASK) Elevación de Satélites a 15 grados sobre el horizonte.

Para aceptar los datos presionar "e".

5) Llamamos la pantalla (9) (información de sitio), presionando la tecla 9.

The screenshot shows a handheld device screen with a numeric keypad at the bottom. The screen displays the following fields and data:

SITE	SESS	RCV	ANT				
MMDD	OPR	CODE					
BEF	0.0000	+00	+00	00	0000	RECORD	Y
AFT	0.0000	+00	+00	00	0000	EPOCHS	00

Below the screen, the numeric keypad is shown with the following labels above the numbers:

	NO	WEST	SCUTH	< MENU >	NORTH	EAST	YES	+	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Navigation buttons are visible on the left (right arrow, left arrow, 'c') and right (up arrow, down arrow, 'e') sides of the screen. The text "Push e for data entry" and a small '9' are also present on the screen.

Figura 83

a) Para introducir los datos en esta pantalla presionar la tecla (e).

b) (SITE) registramos el número del punto en donde se está posicionando (4 dígitos). Para el caso de puntos GPS de control se registra la letra (c) y los tres últimos números de la clave del punto.

Ejemplo: 14120016 se registra C016  
y para medición al interior PE06  
AP15 según el área y  
punto a posicionar

c) (SESS) clave de la sesión (1 dígito).

d) (RCV) número de serie del receptor (3 últimos números).

e) (ANT) número de serie de la antena (3 últimos números).

f) (MMDD) mes y día.

g) (OPR) Iniciales del operador (3 letras).

h) (CODE) registrar la clave que identifica el punto, el ejido y el polígono donde se localiza.

"Esta clave de identificación del punto es empleada por INEGI en el Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos"

Ejemplo: 1412001601002

Estos números corresponden a:

EJEMPLO

EDO.	MPIO.	NO. DEL PUNTO	NO. POLIGONO	CLAVE DEL EJIDO
14	120	016	01	002

Cuando se realicen mediciones al interior del Ejido se registrarán los siguientes datos, de acuerdo al área del ejido que se esté trabajando, con ésto se ubicará geográficamente la localización del trabajo.

CLAVES A ASIGNAR

EDO.	MPIO.	FOL.	EJIDO	AREA DE TRABAJO	PARA
14	120	01	002	PE	PERIMETRO
00	000	00	000	PA	POL. APOYO
00	000	00	000	UC	AREA USO COMUN
00	000	00	000	AP	AREA PARCELADA
00	000	00	000	AH	ASENTAMIENTOS HUMANOS
00	000	00	000	EC	AREA DE EXPLOT. COLECTIVA
00	000	00	000	PI	PARCELA INDIV.

**EJEMPLO PANTALLA 9**

SITE PEQ3 SESS   A   RCVNo.   123   ANTNo.   195    
MMDD 01 15 OPR   VGG   CODE 1412001002PE

---



---



---



i) (PEP) altura promedio de la antena al iniciar la sesión (en metros y centímetros).


j) (APT) altura promedio de la antena, este dato se registra 5 minutos antes de finalizar la sesión (en metros y centímetros).

k) Presione (e) para aceptar los datos.

l) La tecla (c) sirve para cancelar toda la información anotada antes de presionar la tecla (e).

USO DE LAS TECLAS MARCADAS CONFLECHAS (     ) UTILIZADAS EN LA PANTALLA 9).

(   ) Estos sirven para iluminar el campo en que se desea introducir el dato.

(  ) Sirve para mover el cursor hacia abajo.

(  $\Delta$  ) Sirve para desplegar la tabla de conversión alfanumérica.

$\Delta$  + 1 = NO.       $\Delta$  + 8 = YES

Presione la tecla. (  $\Delta$  )

The screenshot shows a receiver's display screen with the following text and controls:

Navigation buttons:  $\triangleright$ ,  $\triangleleft$ ,  $\Delta$ ,  $\nabla$ ,  $\square$  (C),  $\square$  (e)

Fields:

SITE\_\_\_\_ SESS\_\_\_\_ RCV\_\_\_\_ ANT\_\_\_\_  
MMDD\_\_\_\_ OPR\_\_\_\_ CODE\_\_\_\_

BEF 0.0000 +00 +00 00 0000 RECORD Y  
AFT 0.0000 +00 +00 00 0000 EPOCHS 00

To enter a b c d e f g h i j  
press 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Labels: NO WEST SOUTH <MENU> NORTH EAST YES +

Keypad: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Figura 84

**NOTA:** En el resto de las pantallas del receptor, no se registrará ningún tipo de dato, solo las utilizaremos para el llenado de "formato de registro de observaciones" y para verificar la información.

#### LLENADO DEL FORMATO "REGISTRO DE OBSERVACIONES"

Los datos a obtener de las pantallas (0, 1 y 2), se registrarán en el recuadro "rastreo de satélites" el formato "registro de observaciones" (Ver formato en el anexo).

1. Llamamos la pantalla (0) presionando (0).

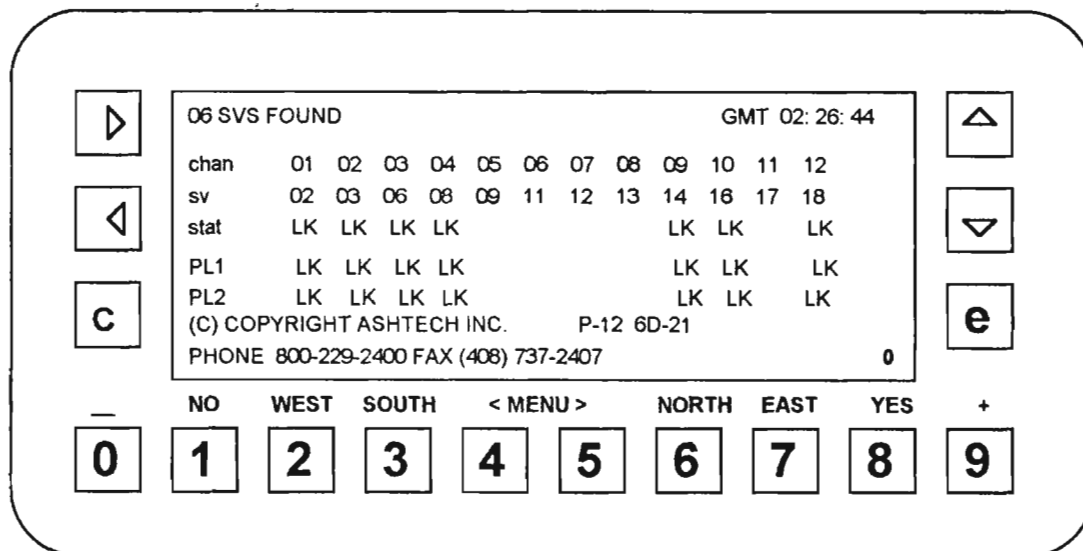


Figura 85

De ésta se obtienen:

- a) (SV) número de serie de los satélites enganchados.
- b) (CHAN) número de canal en el que se enganchó el satélite.

2. Llamamos la pantalla 1 presionando (1). INFORMACION ORBITAL.

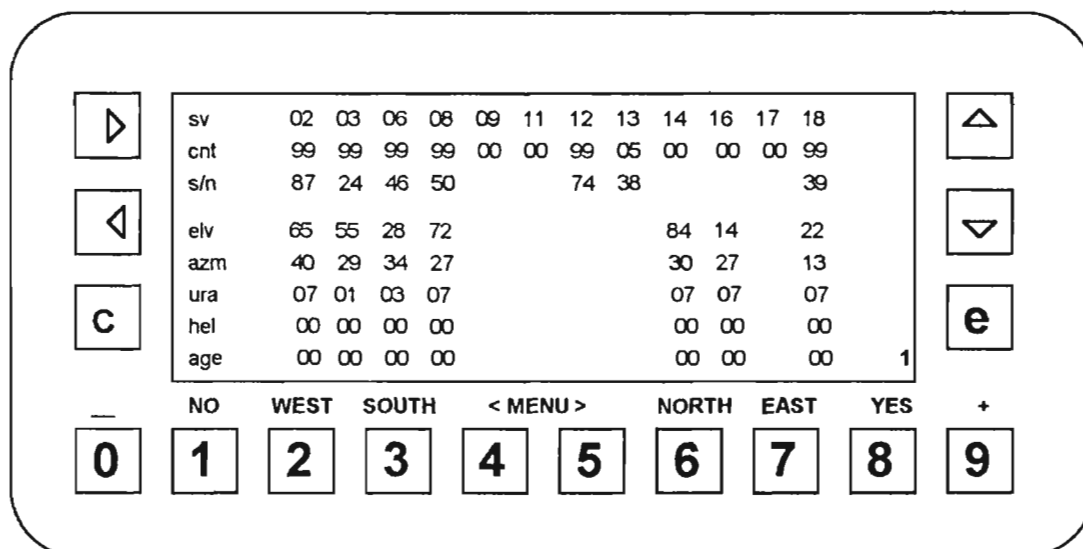


Figura 86

De esta se obtienen:

- a) (ELV) elevación sobre el horizonte de cada satélite enganchado

b) (AZM) Azimut que guarda el satélite enganchado (el dato observado en pantalla multiplicarlo por 10).

c) Clave de recepción. Para obtener esta clave presiona la tecla ( ▽ ), el número de la pantalla (parte inferior derecha) se despliega como indicando que el código P, está funcionando en la banda L1,

Nuevamente presiona ( ▽ ) para ver si el código P está activado en la banda L2, si es así aparecerá en el número de la pantalla.

Cuando al presionar la tecla ( ▽ ) no haya cambio, significa que el código P no está activado. Para volver al número de pantalla (1), presionar la tecla ( △ ) las veces que sea necesario.

Para hacer el cambio a la opción CA y recibir señal sin código P se sigue el mismo procedimiento marcado en la pantalla (o)

3) LLamamos la pantalla 2 presionando (2).

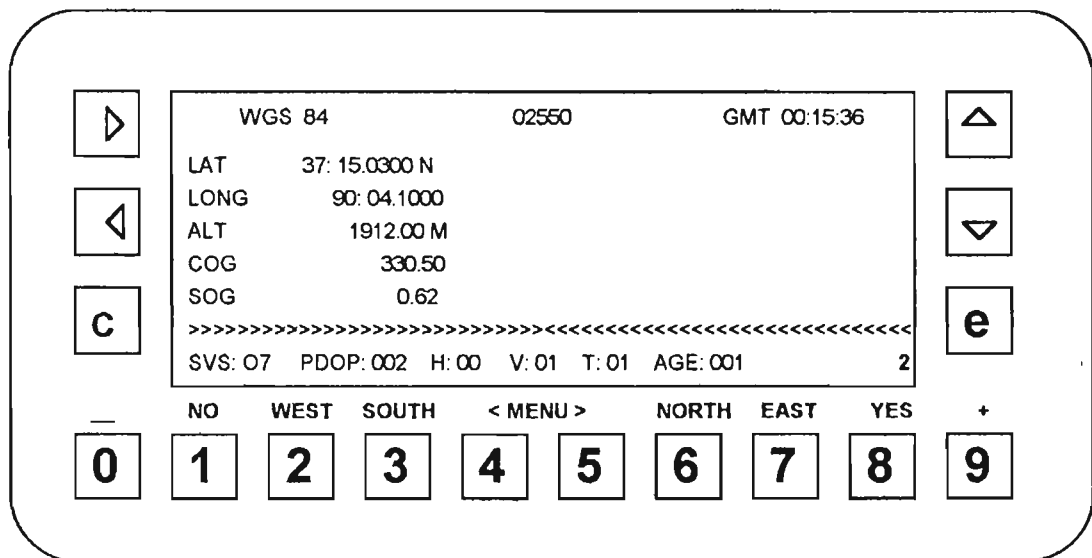


Figura 87

De ésta se obtienen:

- a) (LAT) Latitud del punto al momento de llamar la pantalla
- b) (LONG) longitud del punto al momento de llamar la pantalla
- c) (ALT) altitud del punto al momento de llamar la pantalla
- d) (COG) course over ground
- e) (SOG) speed over ground

#### VERIFICACION DE PANTALLAS

Durante el periodo que dure la sesión, se verifican periódicamente algunas de las pantallas del receptor, con el objeto de conocer las condiciones en que se realiza la medición.

Entre las pantallas a verificar están:

Pantalla 1 "INFORMACION ORBITAL"

(CNT) Es el número de datos continuos colectados de este satélite. Se actualiza cada medio segundo. Va de 0 a 99 y se mantiene en 99 hasta un error de ciclo. Si se tiene un error de ciclo el receptor restablece CNT a 0.

(S/N) En ésta se verifica la intensidad de la señal o ruido de cada satélite.

(S/N = Signal Noise)

- Menor a 30 la señal es débil.

- Mayor a 50 la señal es fuerte.

ELV - Elevación de los satélites.

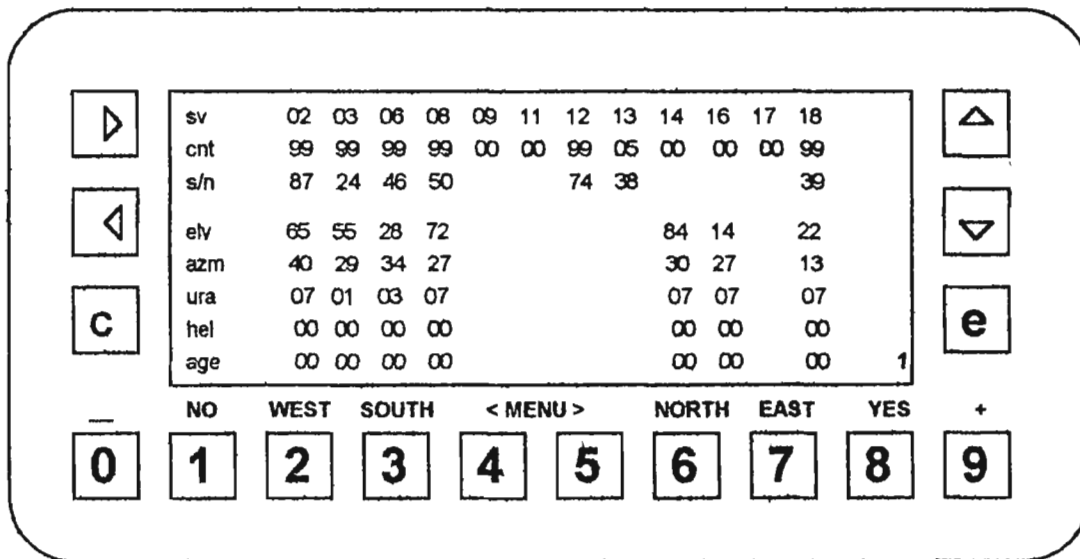
AZM - Azimut que guardan los satélites.

URA - Refleja la exactitud de rango de cada satélite. Cuando es cero, la exactitud es alta, cuando es mayor de 8 la exactitud es baja.

HEL - Cuantifica la salud (condición general) del satélite.

AGE - Muestra cuantos minutos han pasado desde que se perdió el contacto con el satélite.

Figura 88





### Pantalla 2 "INFORMACION NAVEGACIONAL"

En ésta se verifican las coordenadas WGS-84.

Número de satélites enganchados.

PDOP.

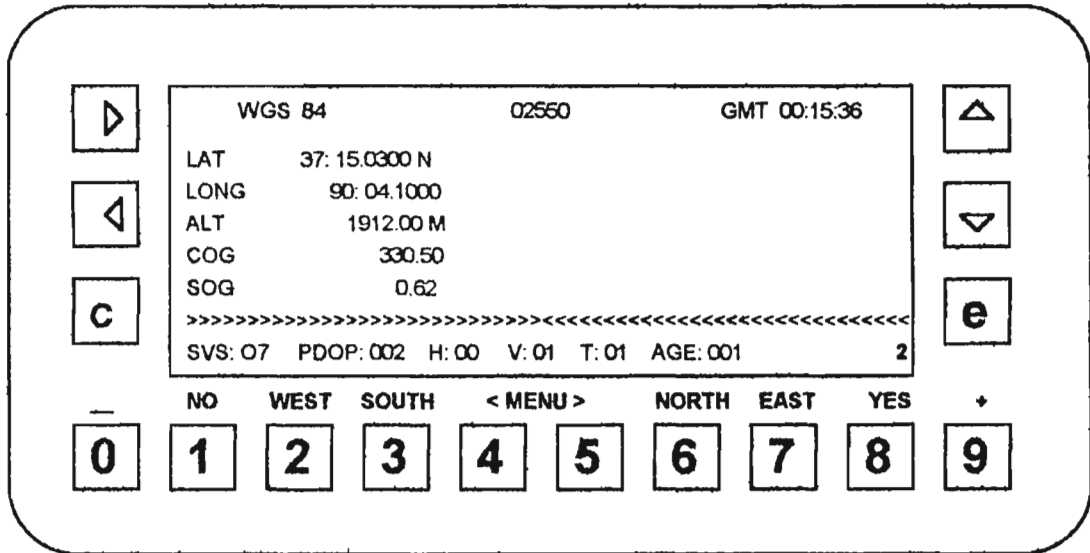


Figura 89

### Pantalla 3 "INFORMACION SOBRE RASTREO"

En ésta se verifica el tiempo de desarrollo de la medición de cada satélite donde cada (\*) representa 5 minutos.

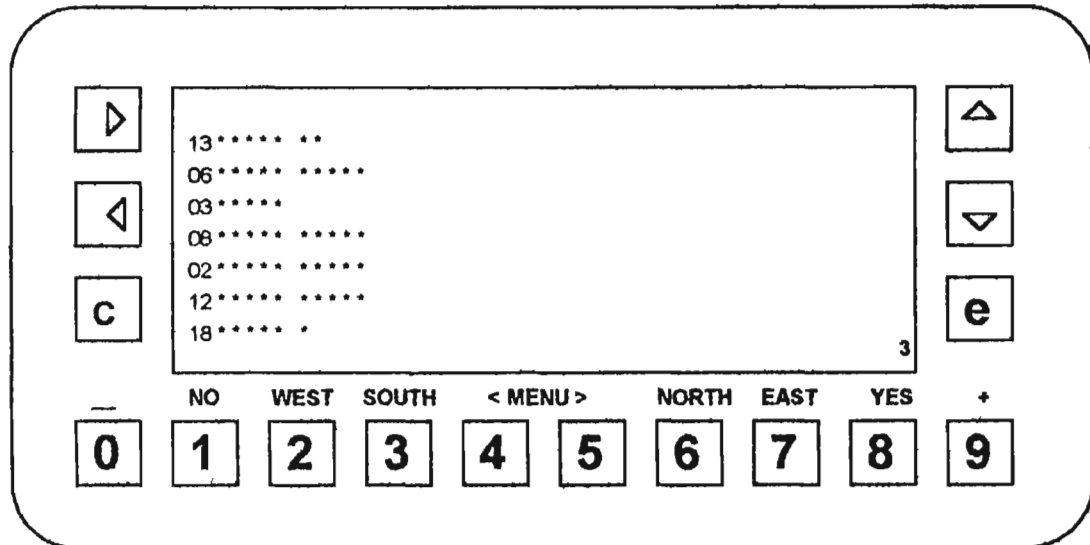


Figura 90

Pantalla 10 "INFORMACION DE VISION TOTAL"

La podemos llamar de 2 maneras, presionando la tecla (9) y luego la tecla (▷) o bien la tecla (0) y luego presionando 3 veces la tecla (◁).

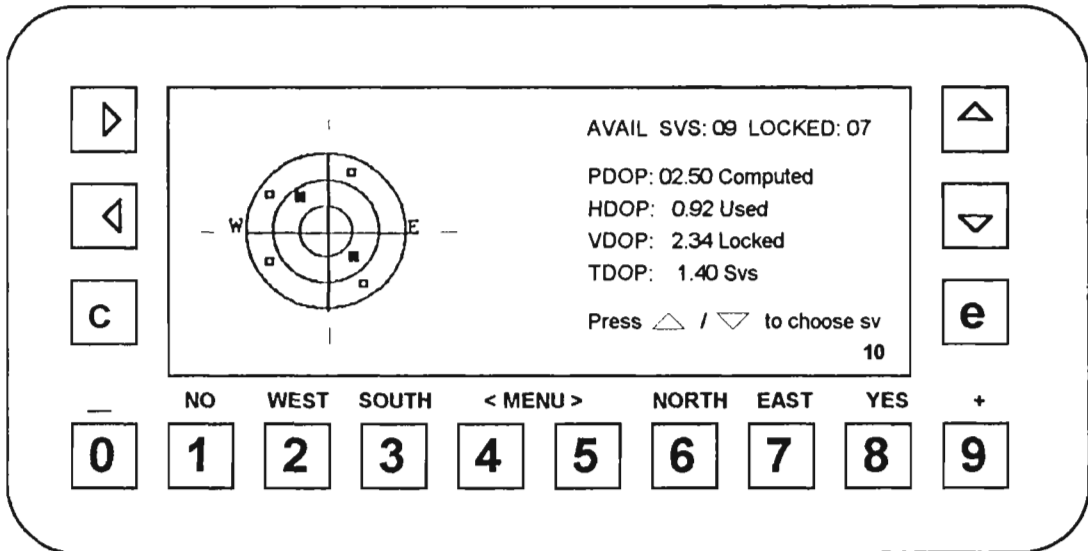


Figura 91

En ésta se verifica la posición y desplazamiento de cada uno de los satélites con respecto a la elevación y azimut que guardan.

Para ver en forma individual el desplazamiento de cada uno de los satélites, presione cualquiera de las teclas (▲) ó (▼).

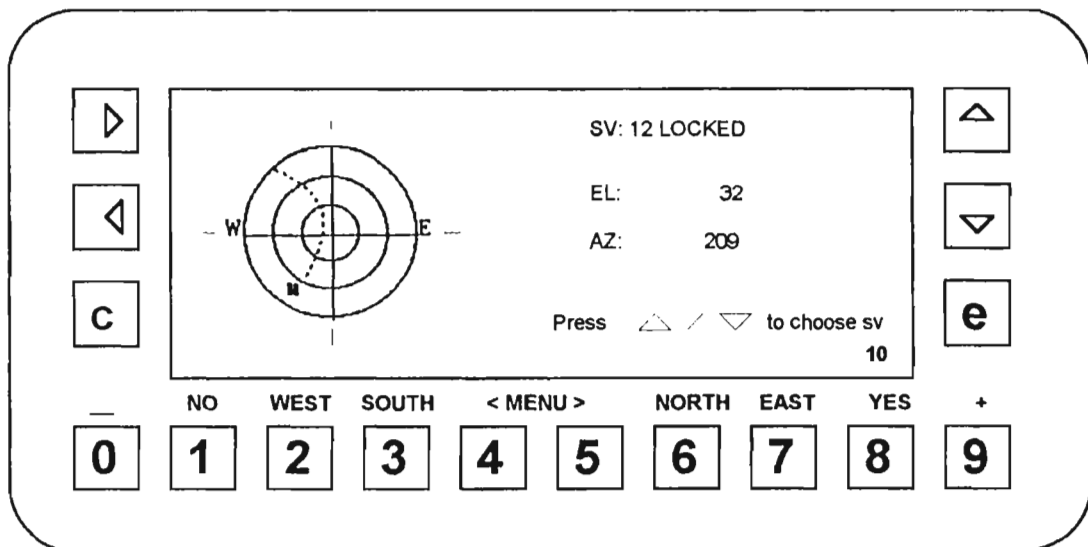


Figura 92  
Página 147

## Pantalla 8 "CONTROL DEL SISTEMA"

Momentos antes de concluir la sesión se verifica la creación del archivo realizado, el tiempo en que se tomó el último registro y la disponibilidad de memoria del receptor.

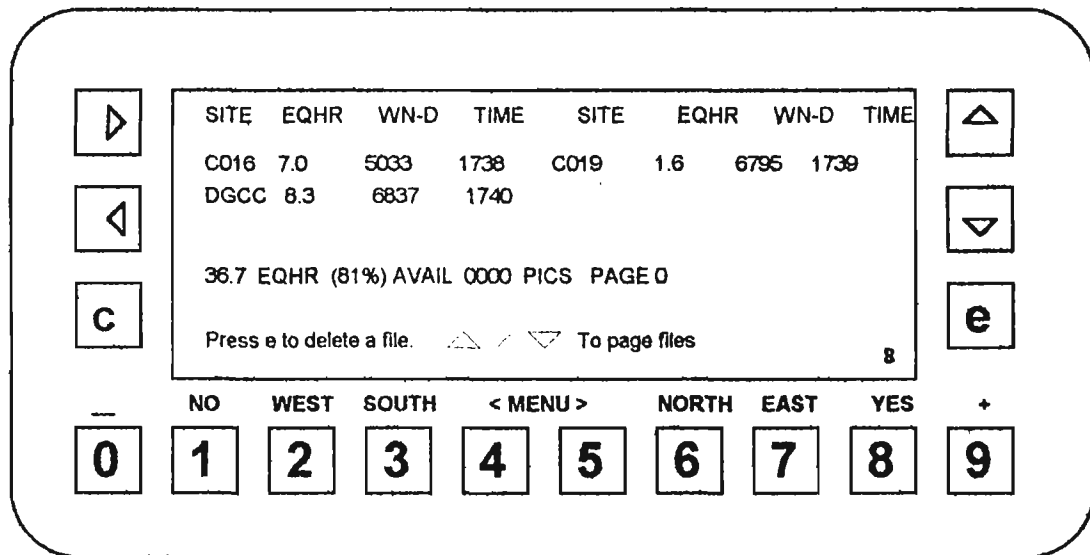


Figura 93

Al concluir el tiempo programado de la sesión se apaga el receptor moviendo el interruptor, de la cara posterior del receptor a la opción (OFF), con esto cerramos automáticamente el archivo de la sesión.

## UBICACION E INSTALACION DEL EQUIPO DIMENSION.

1. Localización del vértice en que se va a realizar la medición.
2. Centrado y nivelado.
  - a) Instale el tripié a la altura aproximada de su barbilla, de tal manera que no obstruya la señal que recibe la antena.
  - b) Coloque la base nivelante sobre el plato del tripié y ajústela con el tornillo sujetador.
  - c) Haciendo uso de la plomada óptica, centre el tripié sobre la marca que identifica el vértice a medir.
  - d) Girando los tornillos niveladores y observando el nivel de búrbuja, nivele el tripié. En caso de que se haya perdido el centrado, aflojar el tornillo sujetador y desplazar la base nivelante hasta colocarlo en la marca. Revisar el nivel de búrbuja que no se haya desnivelado.
3. Instalación de las baterías. Existen tres opciones:
  - a) Conectar la(s) batería(s) directamente a la antena receptor:
    - Se coloca la antena-receptor boca abajo.
    - Instalar la(s) batería(s) sobre la antena, girándola hasta que quede(n) ajustada(s).
    - Colocar el tornillo rotativo del adaptador a la batería.

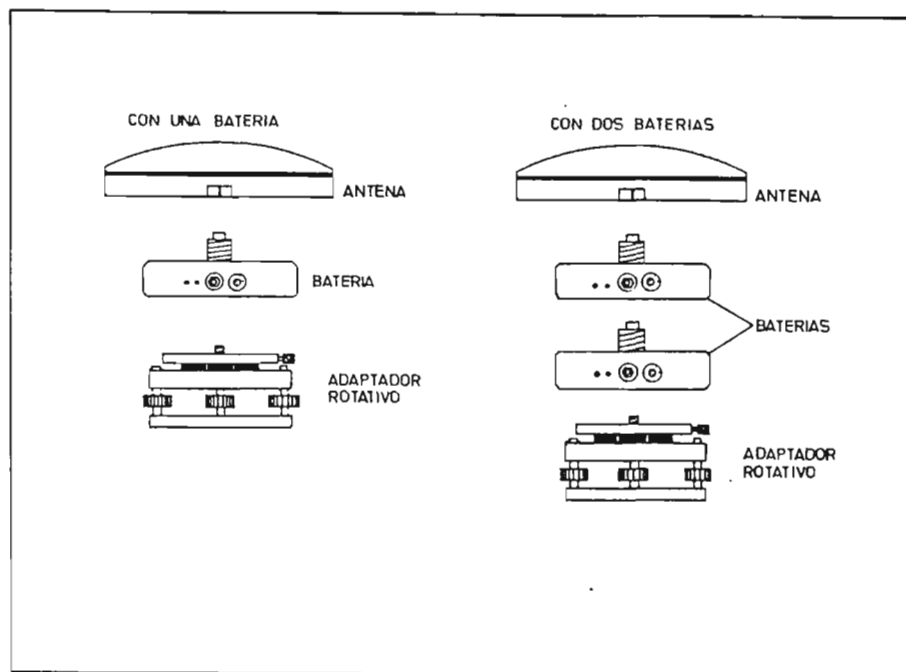


Figura 94 Forma de conectar las baterías en el equipo Dimension

**NOTA.** Al realizar la instalación se debe tener especial cuidado de no hacer presión excesiva al momento de girar y ajustar la(s) batería(s).

- b) A través del cable de poder.
- Conectando el cable al puerto de poder de la antena-receptor, y el otro extremo a la batería, en caso de que el contacto al momento de atornillar, sea defectuoso.

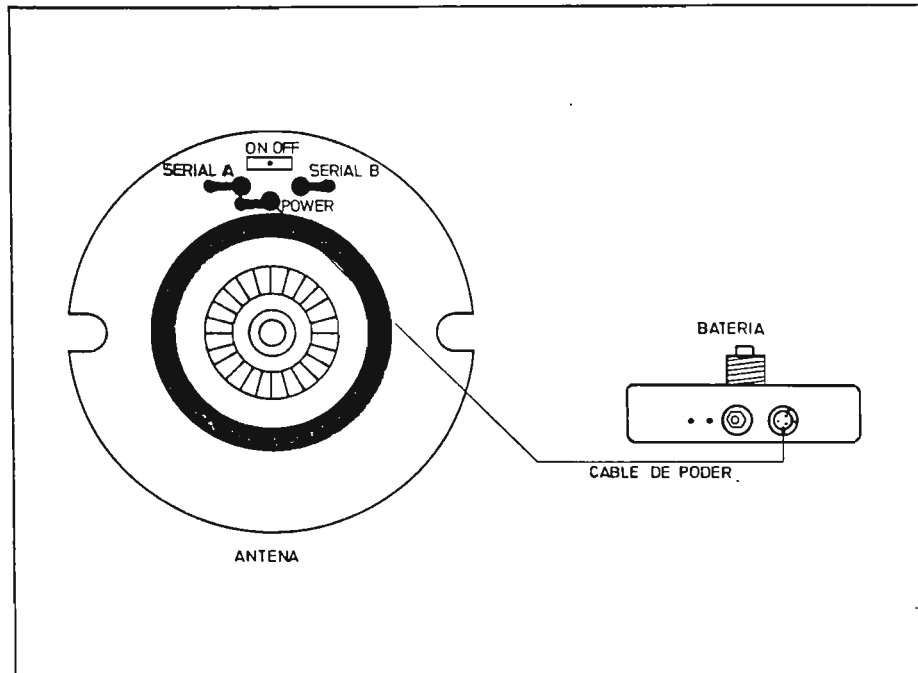


Figura 95

- c) Combinación de los métodos A y B.
- Para este método se requiere de la utilización de las dos baterías y se sigue el mismo procedimiento para cada opción anterior (a y b)

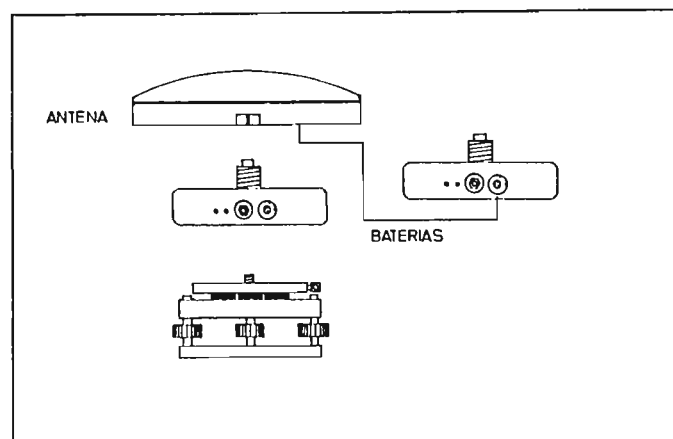


Figura 96

**NOTA.** Antes de instalar la(s) batería(s), se debe tomar en cuenta el tiempo de observación y la carga que contiene(n) cada una de ellas para evitar la falta de energía durante el periodo de medición.

4. instalar la antena-receptor sobre el adaptador (colocado ya en el tripie.)

a) Verificar que el tornillo del adaptador esté flojo.

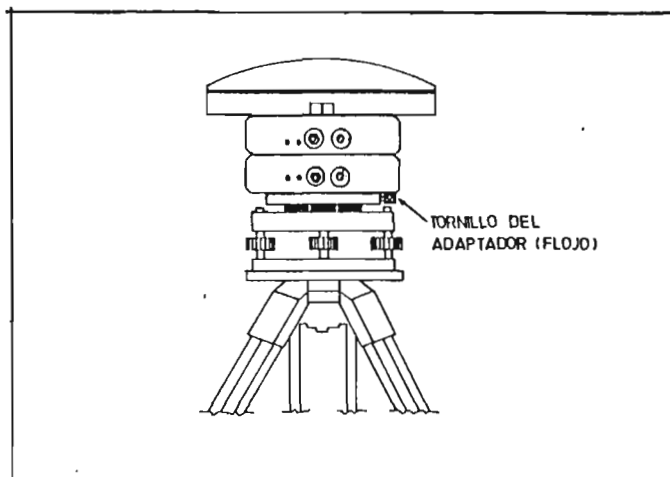


Figura 97

5. Orientación de la antena al norte.

a) Utilizando la brújula, localizar el norte.

b) Girar suavemente la antena receptor hasta que quede perfectamente orientada (al hacerlo), girarán también las baterías.

c) Fijar el tornillo del adaptador.

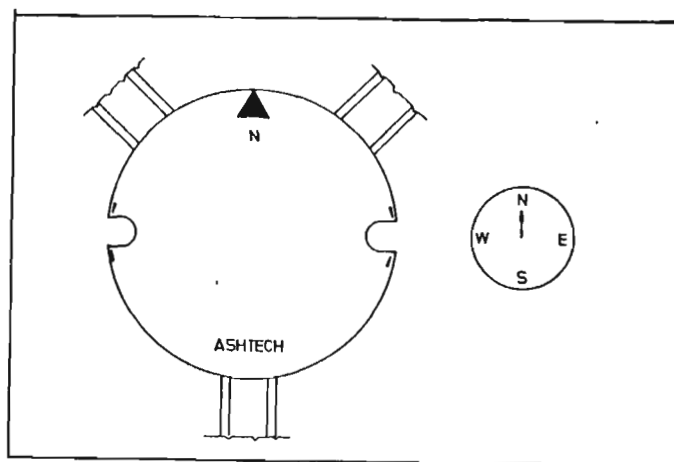


Figura 98

6. Cuando se opta por instalar las baterías mediante el modo (b) o (c) es en este paso donde se deberá colocar el cable de poder de la batería a la antena-receptor.

7. Conectar el cable HOSE de la antena-receptor a través del puerto serial A y el otro extremo (conector) a la unidad de control, a través del punto COM1.

El puerto serial A se encuentra localizado en el receptor de frente a mano izquierda.

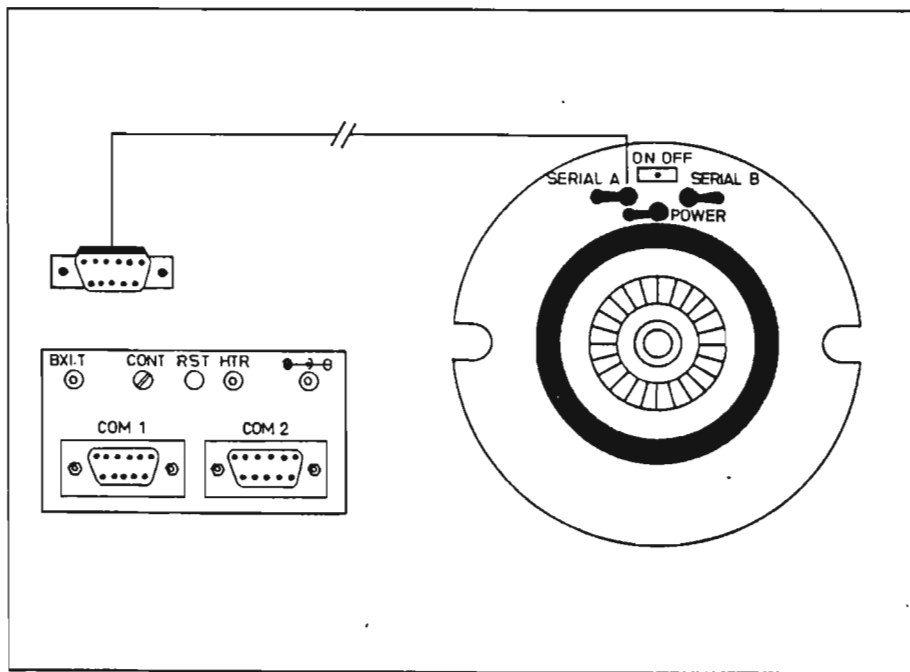


Figura 99.- Forma de conectar el cable de Hose

8. Medición de la altura de la antena.

- a) Esta se mide utilizando la varilla de medición del centro de la marca a ambas muescas colocadas en la antena-receptor.
- b) La altura se lee en el lugar de la varilla donde coinciden las flechitas marcadas en las muescas.
- c) Se promedian las dos mediciones y el resultado se registra posteriormente en la unidad de control y en el formato de datos técnicos.

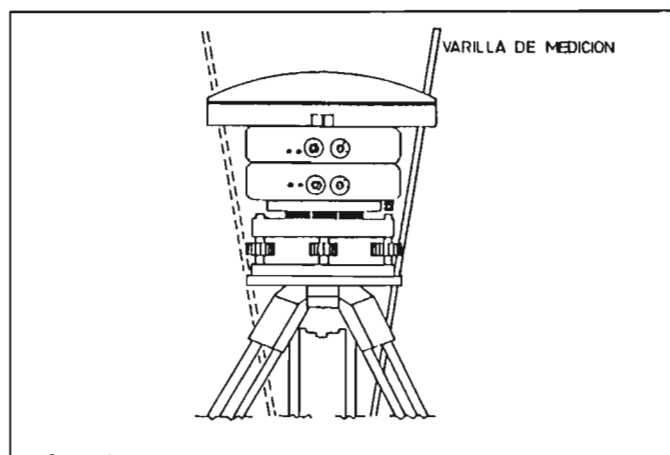


Figura 100

- d) 5 minutos antes de concluir la sesión se vuelve a medir la altura de la antena siguiendo el mismo procedimiento, esto con la finalidad de registrarlo posteriormente en el formato de registros de observaciones y comprobar que la antena no se movió.

9. Si se instala la antena-receptor utilizando extensión, sigue las indicaciones marcadas para la instalación del PXII.

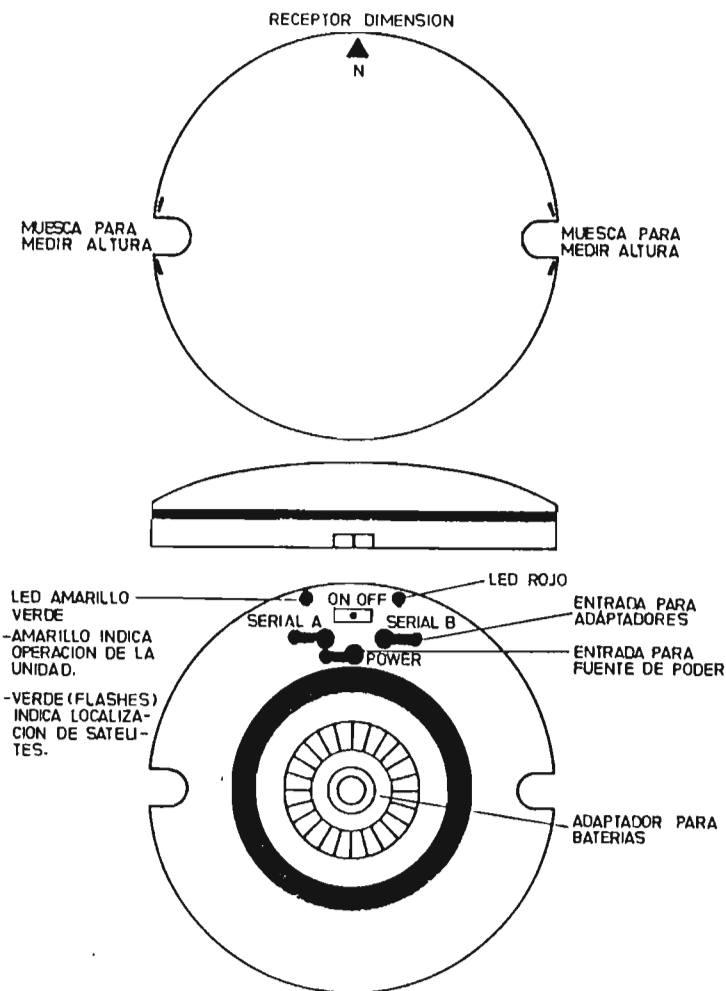


Figura 101

### Inicialización del Receptor Dimensión.

1. Encender la antena-receptor.

a) Accionado el interruptor hacia la derecha.

b) Al accionar el interruptor aparece una luz amarilla en el foquito que se encuentra a un costado del puerto serial A, lo que indica que el receptor ha sido encendido y está rastreando satélites.

c) Cuando ha enganchado satélites aparece una luz verde, la cual indica el número de satélites que se tienen enganchados (cada parpadeo significa un satélite); este proceso se repite cada 3 segundos.

2. Encender la unidad de control CMT.



a) Esto se hace presionando la tecla ON/OFF.

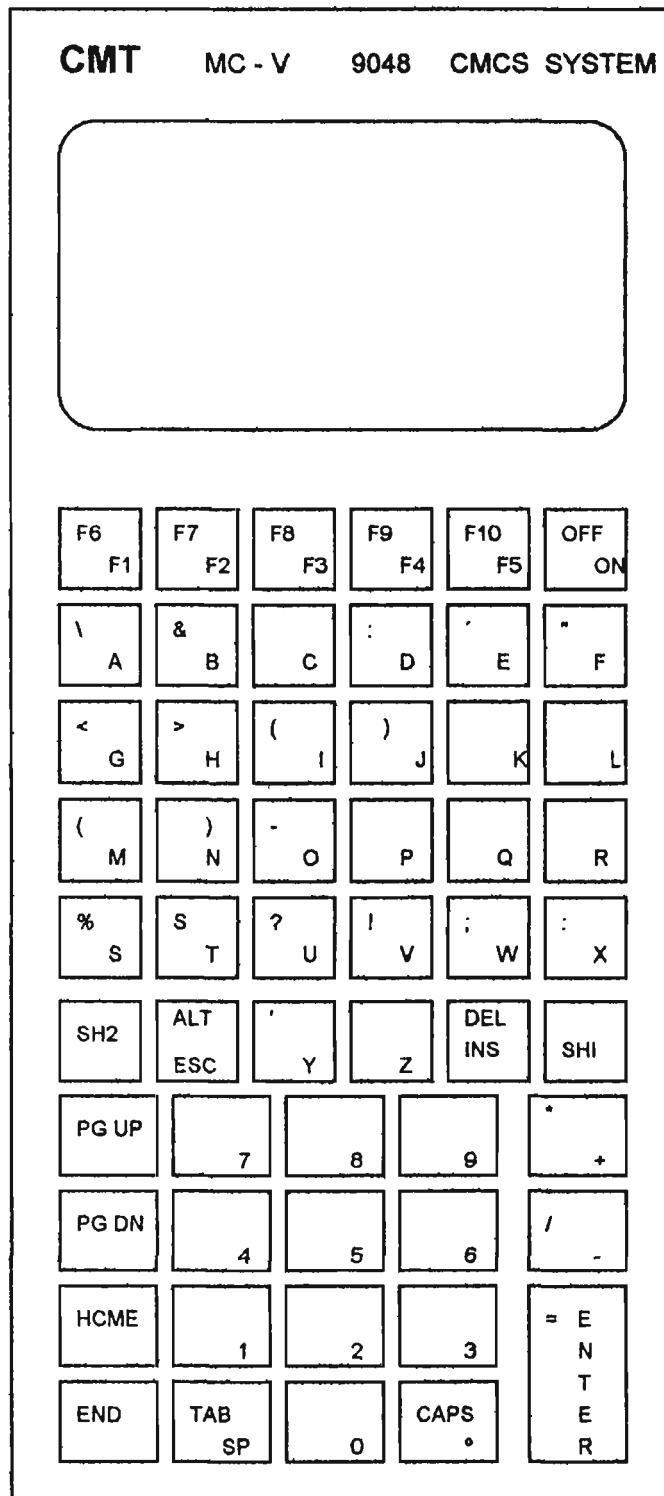


Figura 102

3. Debe aparecer la siguiente pantalla:

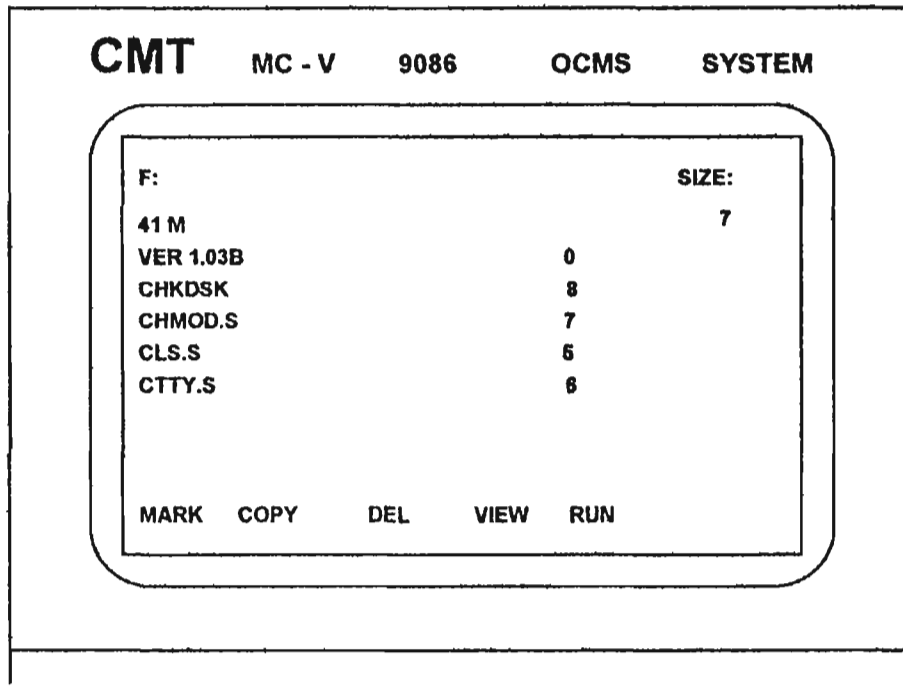


Figura 103

Cuando en la sesión anterior la apagaste en F, te aparecerá en F. Y cuando la apagaste en B, te aparecerá en B:

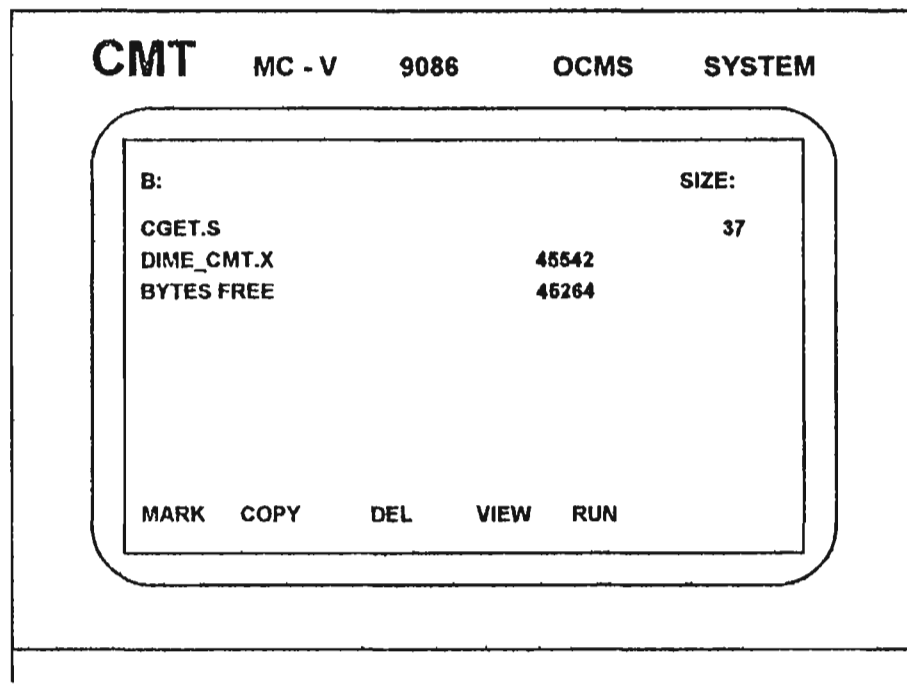


Figura 104

- a) Si estás en F, para hacer cambio de disco a B:  
Teclar: & B SH2 : X ENTER ENTER

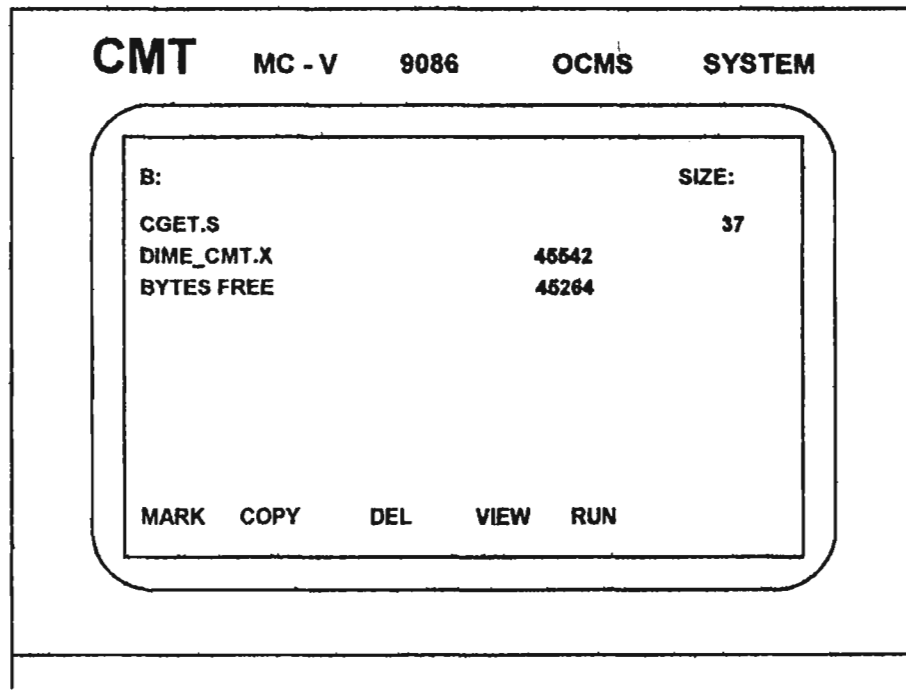


Figura 105

- b) Posicionar el cursor en DIME-cmt.X con: la tecla PGDN y presiona F10/F5 para correr el programa. Durante 3 segundos aparece una leyenda en pantalla que indica que se está inicializando el programa.

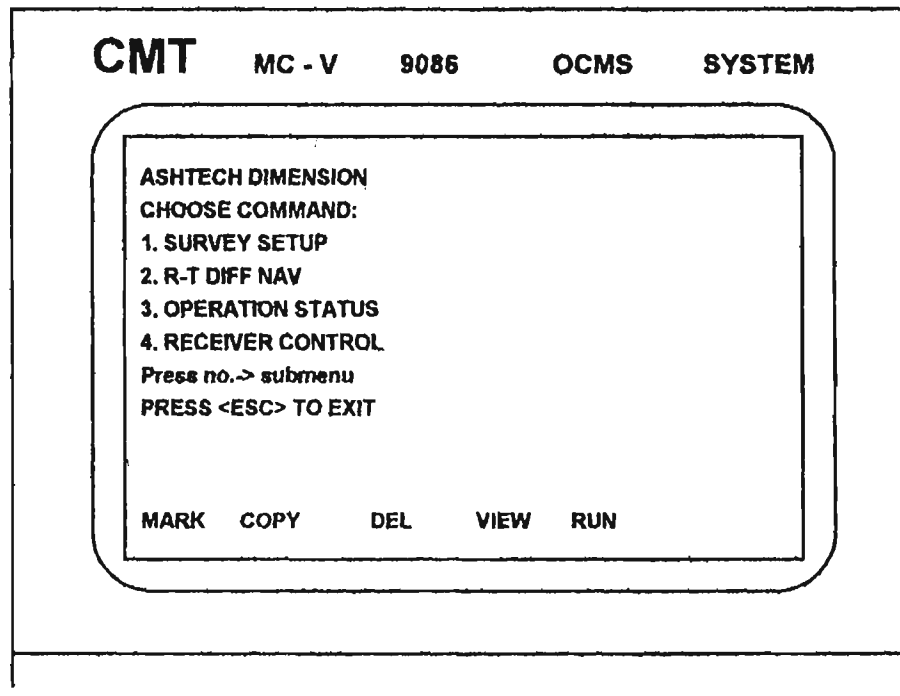


Figura 106

**SURVEY SETUP:** Permite definir datos del levantamiento.

**R-T DIFF NAV:** No es ejecutable.

**OPERATION ESTATUS:** Permite verificar el estado de la operación durante el levantamiento.

**RECEIVER CONTROL:** Se utiliza para cerrar archivos y conocer la disponibilidad de memoria del receptor.

- Cuando se desee alguna de estas opciones se deberá presionar el número de submenú a usar.

c) Para definir datos del sitio, seleccionar 1 (presionando la tecla con el número 1 y nos aparece en la pantalla:

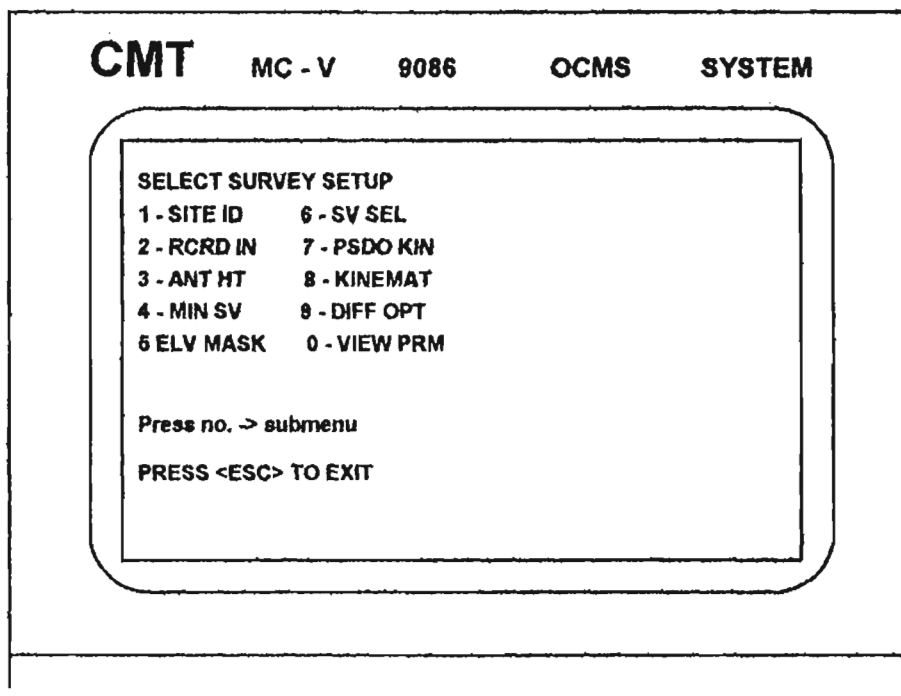


Figura 107

Ahora presionar 1 SITE ID (identificación del sitio). Y aparece en pantalla:

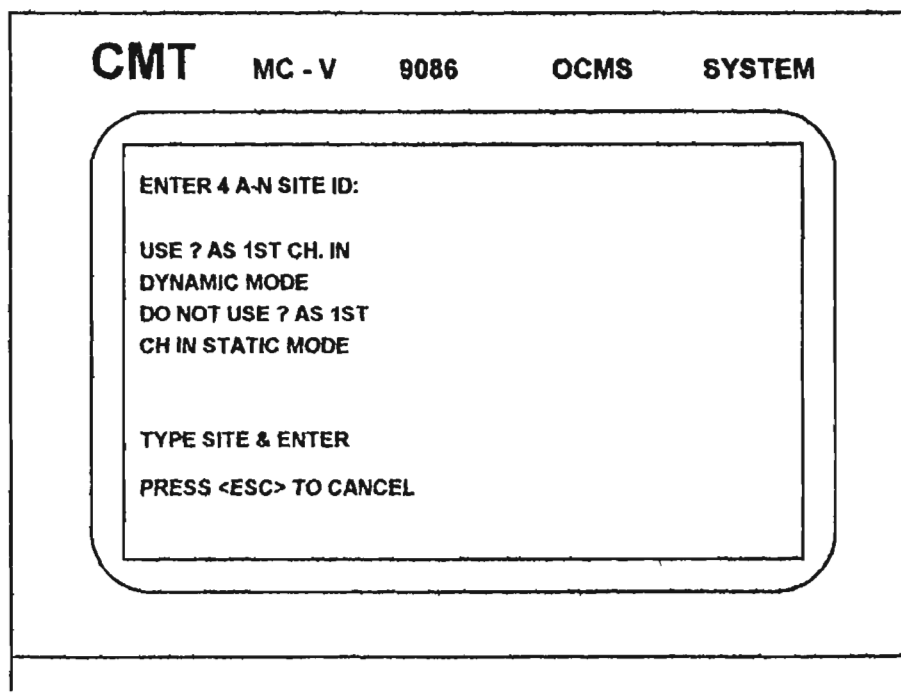


Figura 108

Aquí se debe introducir el número del sitio que se está posicionando, con 4 caracteres y presionar ENTER para que la unidad mande a almacenar la información. Ejemplo: PEO8.

d) Presionar la opción 2 (RCRD IN) para introducir el intervalo de registros a cada 15 segundos, presionar ENTER para aceptar.

**CMT**    MC - V    9086    OCMS    SYSTEM

DATA RCRD INT IN SEC  
(1 - 999)

ASHTECH SUGGESTS 20  
S. FOR STATIC SURVEY  
& 10 S. FOR OTHERS.  
Type rd Int & ENTER

PRESS <ESC> TO CANCEL

Figura 109

e) Presionar 3 ANT HT (altura de la antena).

**CMT**    MC - V    9086    OCMS    SYSTEM

ENTER ANTENNA HEIGHT:  
IN METER (0 - 6.4000)

TYPE HEIGHT & ENTER  
PRESS <ESC> TO CANCEL

Figura 110

Aquí se introduce la altura promedio de la antena y luego se presiona: ENTER

Ejemplo: 1.6010

Y la unidad le envía al receptor la información y retorna al submenú.

**NOTA:** En el resto de los submenús (PANTALLAS) no se registrará ningún dato; sólo se utilizarán para el llenado del formato "Registro de observaciones" y para verificar la información durante el periodo de medición.

Llenado del formato "Registro de observaciones"

Para el llenado de este formato se obtendrá información del submenú 3, pantalla 1, 2 y 3.

Para ir al submenú 3, estando en el menú principal, presionar el número 3.

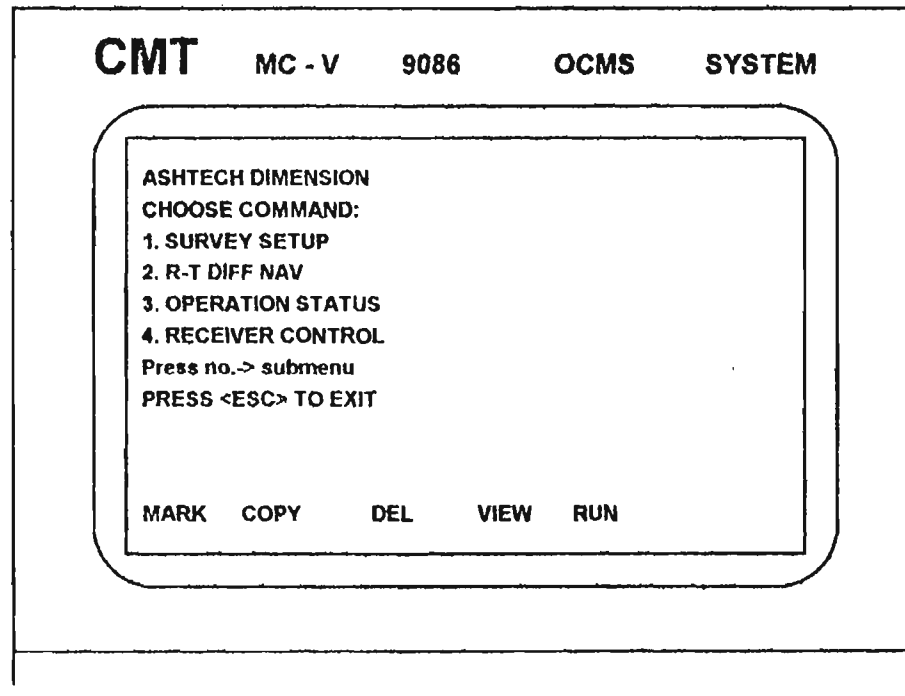


Figura 111

Menú principal: Seleccionamos la opción 3. OPERATION STATUS y nos aparece en pantalla:

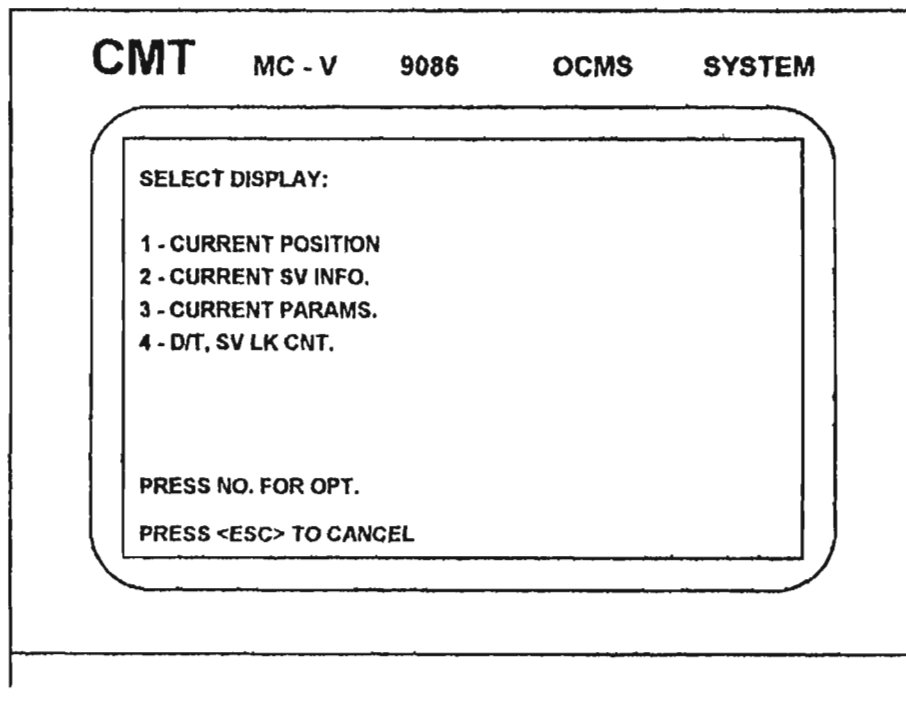


Figura 112

Aquí seleccionamos la opción 1 Current Position (Posición actual del receptor). Obteniendo en la pantalla los datos de latitud, longitud y altura.

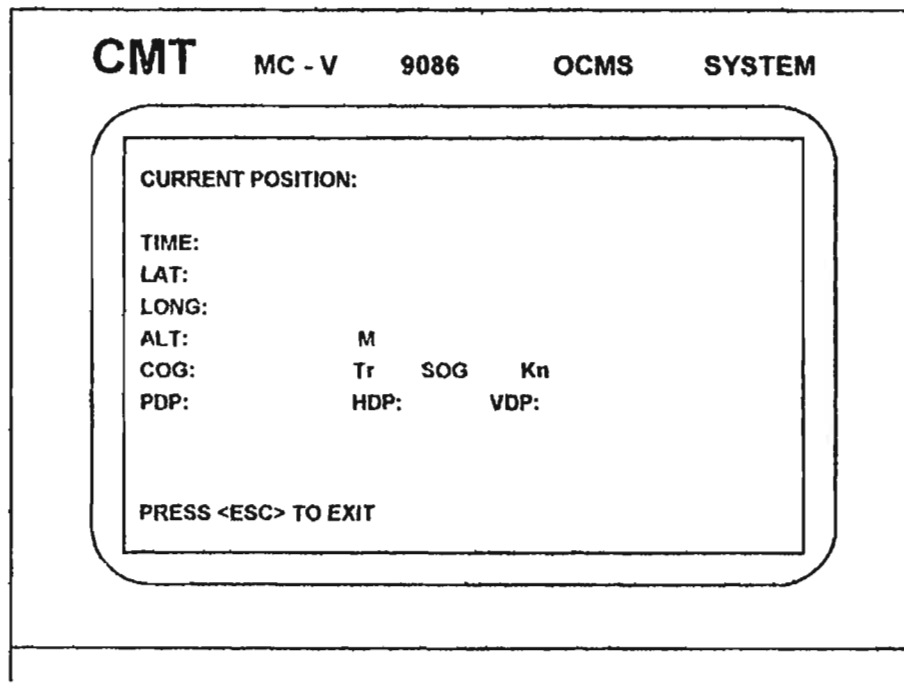


Figura 113

Una vez tomados los datos necesarios, presionar ESC para continuar (volviendo al submenú OPERATION STATUS)



Presionar 2 CURRENT SV INFO (información de los satélites para obtener los datos de:

(PRN) Número de satélites enganchando

(AZ) Azimut de cada satélite

(EL) Elevación de cada satélite

The image shows a terminal window with a title bar containing the text "CMT MC - V 9086 OCMS SYSTEM". Inside the window, there is a rounded rectangular box with the following text:

```
CURRENT SV DATA:  
  
PRN:  
S / N  
AZ:  
EL:  
USE:  
  
PRESS <ESC> TO EXIT
```

Figura 114

Una vez tomados los datos salimos al submenú presionando ESC.

**NOTA:** Los receptores Dimensión sólo reciben información con código C/A L1, cuyo dato se debe registrar en la columna código de recepción de este formato.

#### VERIFICACION DE PANTALLAS.

Durante el tiempo que dure la sesión, se verificarán periódicamente algunas de las pantallas de la unidad de control con el objeto de conocer las condiciones en que se está realizando la medición.

Las pantallas a verificar se localizan básicamente en la opción 3 (operation status) del menú principal.

Para entrar a esta opción estando en el menú principal, presionar el número (3):

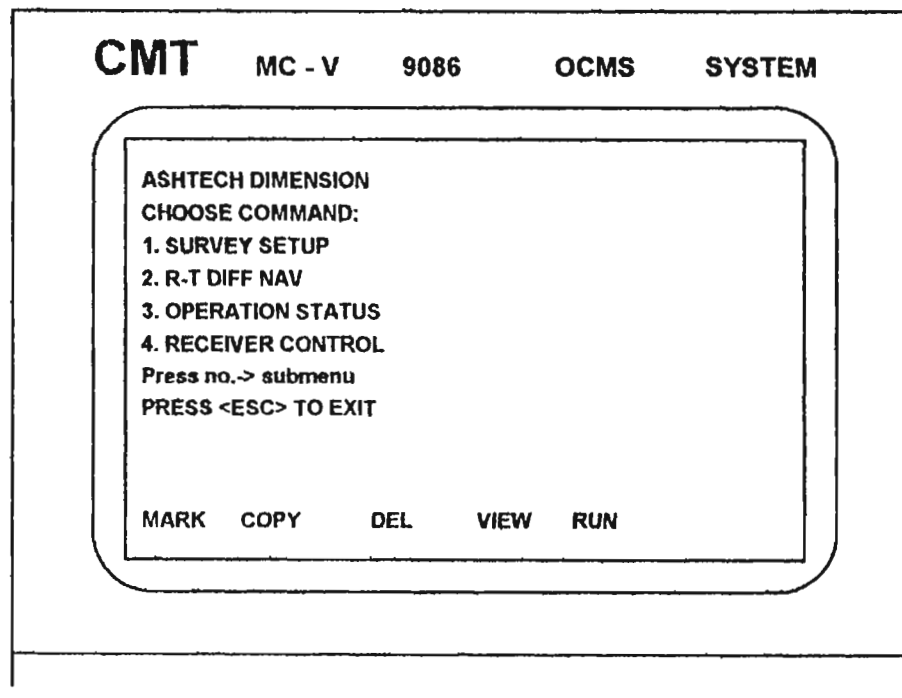


Figura 115

A continuación aparece la pantalla:

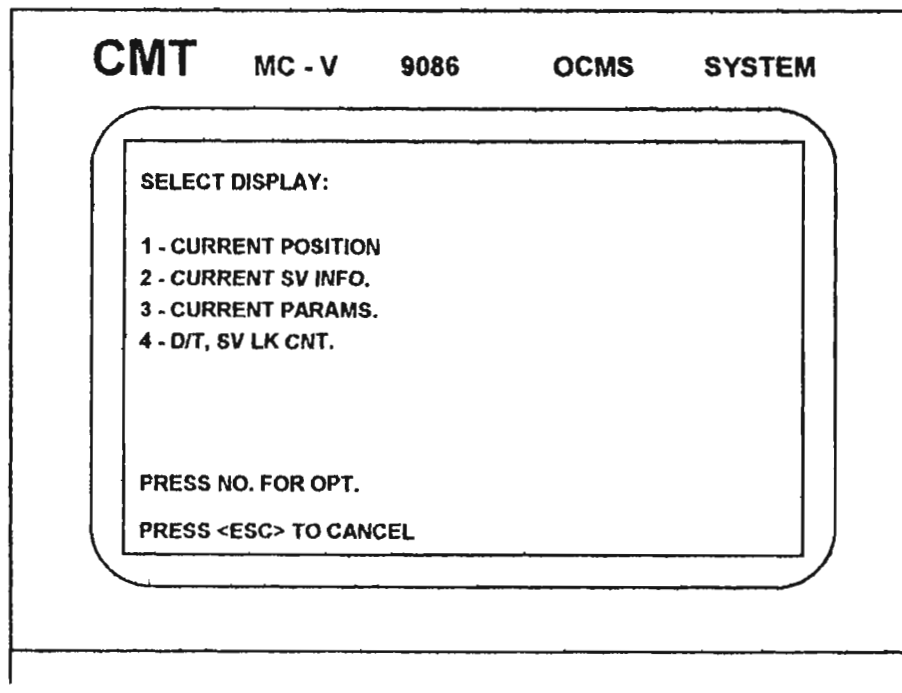


Figura 116

De este submenú verificaremos las 4 pantallas:

Pantalla 1.- Se obtiene presionando la tecla marcada con el no. 1.

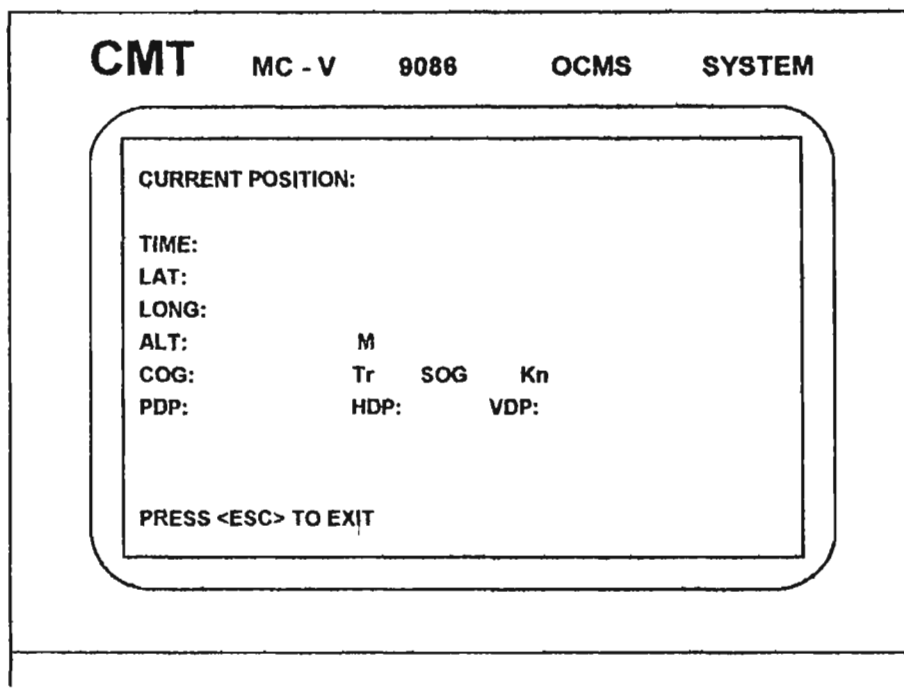


Figura 117

En esta se verifican las coordenadas WGS84 del punto posicionado y el tiempo con referencia al Meridiano de Greenwich, cuando el receptor no está computando posición aparece en la pantalla la leyenda: "NO POSITION AVAIL".

Pantalla 2.- Presionamos la tecla 2.

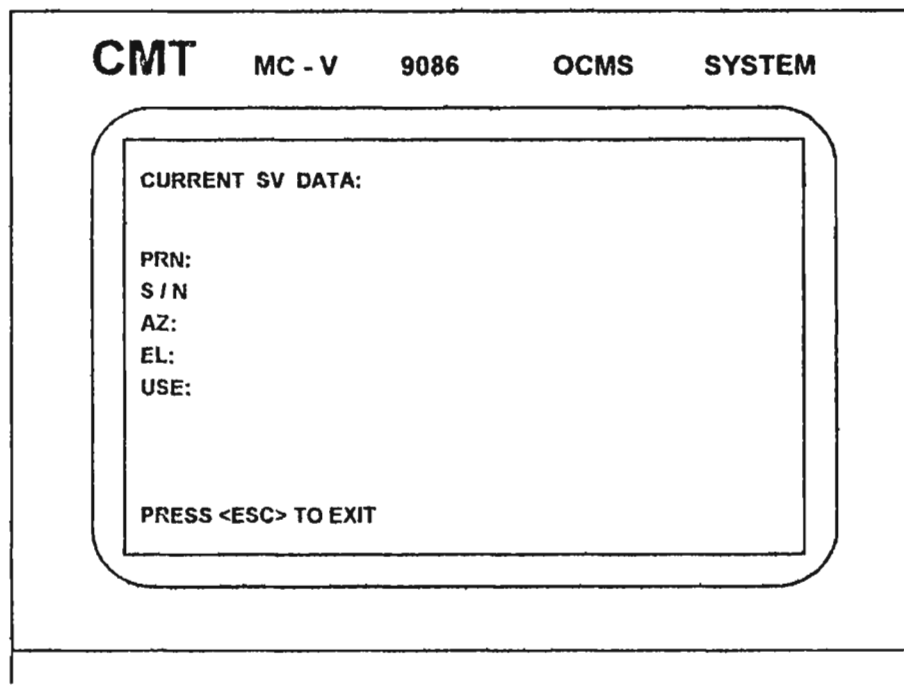


Figura 118

En esta pantalla se verifican la señal-ruido, el azimut y la altura de cada satélite e indica con una letra Y de cuales de ellos se está computando información.

Pantalla 3.- Presionar 3.

```
CMT      MC - V      9086      OCMS      SYSTEM

CURRENT PARAMETERS
SVS: YYYYYYYYYYYYYYYY
      YYYYYYYYYYYYYYYY

POS:      UNH:      HDP:
VDP:      FIX:      ION:
ELM:      RCI:      MSV:
T:        MT:      EPG:

Press ENTER -> PG2
```

Figura 119

PAG. 1

Presionar ENTER para desplegar las pág. 2 y 3.

```
CMT      MC - V      9086      OCMS      SYSTEM

REC:      ANT:
DIF:      AUTO:      PREC:
QA:      MAX:      SV:
NMEA:
PRTA:
PRTB

Press ENTER -> pg 3.
```

Figura 120

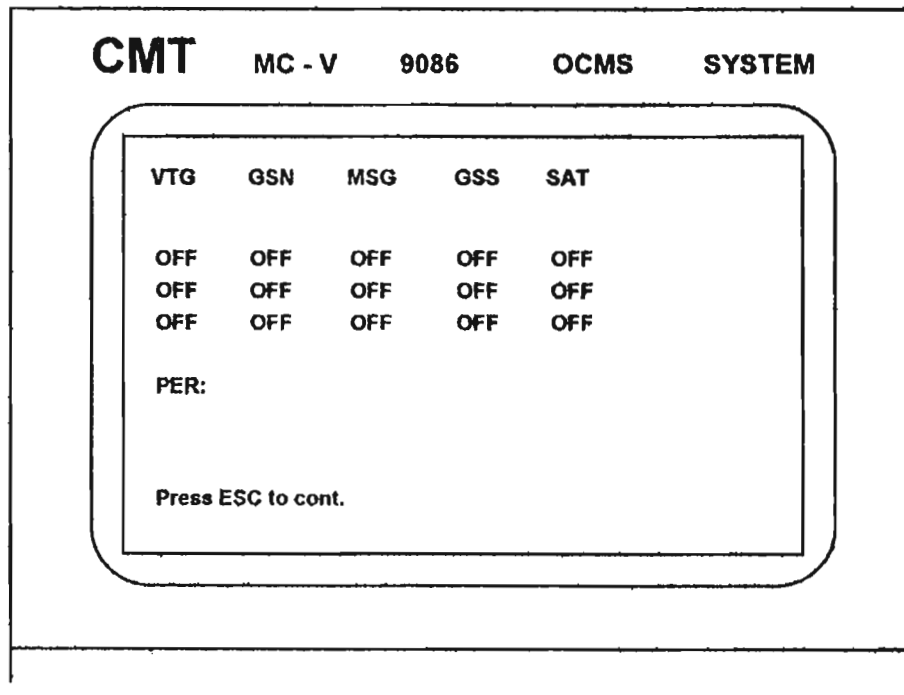


Figura 121

En estas pantallas se verificarán los datos que está midiendo el punto, como:

- (RCI) Intervalo de registro
- (MSC) Número mínimo de satélite
- (ELM) Elevación mínima de satélite
- (ST) Número de la estación
- (ANH) Altura de la antena

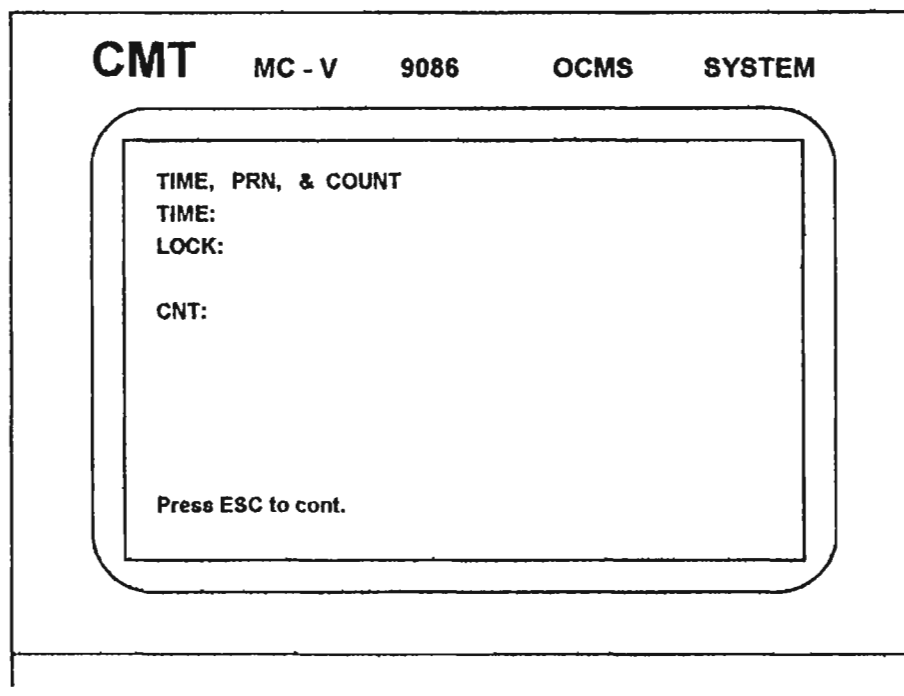


Figura 122

En esta pantalla observamos el número de datos continuos colectados por cada satélite.

Para salir de estas pantallas presionar la tecla marcada con:

ALT  
CLT  
ESC

**NOTA:** Es conveniente que una vez que se verifiquen las pantallas antes mencionadas, se vuelva a la pantalla donde aparece el menú principal. Esto facilitará el desplazamiento a cualesquiera de las demás opciones:

e) Reestablecer el programa (**RESETEAR**).

Cuando por algún motivo la unidad de control se traba, es decir, no acepta las indicaciones de ninguna de las teclas, será necesario reestablecer el programa y esto se hace presionando simultáneamente las teclas: F8 F3 y OFF ON, al hacerlo automáticamente aparece la pantalla:

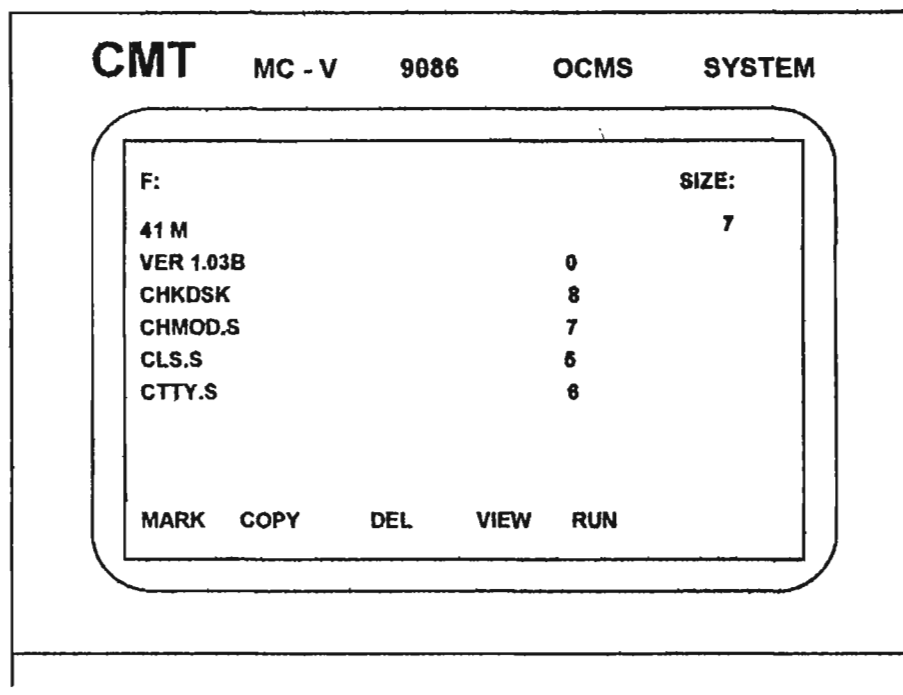


Figura 123

A continuación se sigue el procedimiento ya indicado para cambiar a B:

f) Cierre de archivos.

Existen dos maneras de cerrar un archivo:

a) Automáticamente. Se hace cuando apagamos la antena-receptor.

b) Manualmente. Cuando se requiere cerrar un archivo durante la medición, se procede de la siguiente forma:

Estando en el menú principal:

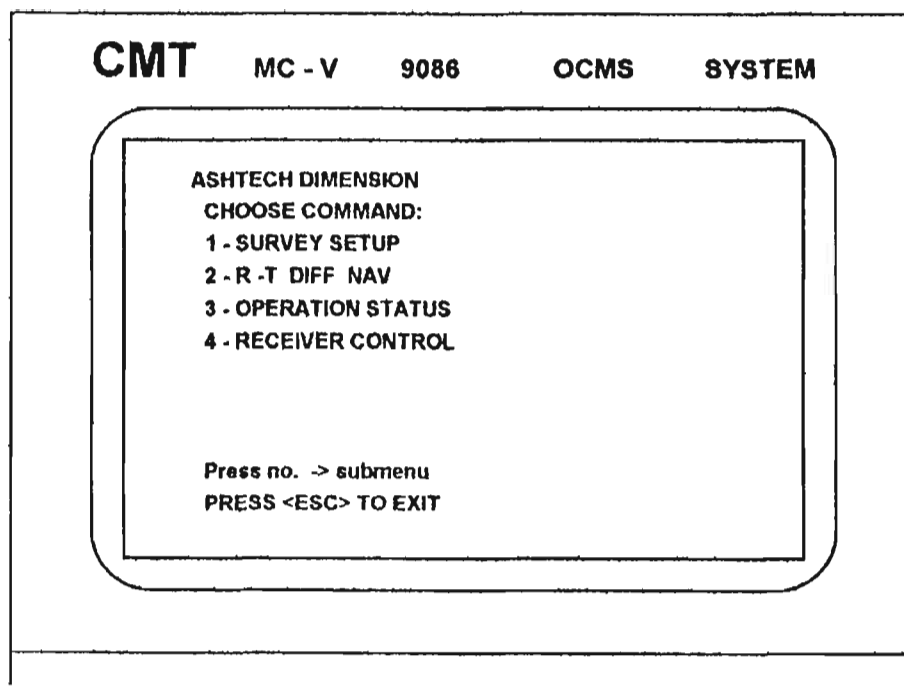


Figura 124

Presionar las teclas 4 5 2 Y

Hecho esto, presionamos: ESC y el archivo ha sido cerrado.

**NOTA:** 5 minutos antes de terminar la sesión se deberá medir nuevamente la altura de la antena y registrar el dato obtenido (promedio) en el formato "registro de observaciones".

Al concluir el tiempo programado para la sesión se procede a apagar la unidad de control y la antena-receptor. Es recomendable que primeramente sea apagada la unidad de control y luego el receptor.

Para apagar la unidad de control se presionan las teclas:

SH 2            OFF            o            SH 1            OFF  
                  ON    ON

Para apagar el receptor se acciona el interruptor hacia la izquierda y se verifica que la luz del foquito ya no aparezca.

**NOTA:** Al desactivar el equipo se deberá tener especial cuidado de no forzar las conexiones y de colocar cada uno de los componentes en su lugar correspondiente.



## CAPITULO XI

### DESCARGA DE DATOS Y PROCESAMIENTO CON GPPS

#### DESCARGA DE DATOS: DEL RECEPTOR AL COMPUTADOR

La descarga de datos tiene como objetivo la obtención del archivo del levantamiento.

Este procedimiento es el usado por el INEGI en los levantamientos que realiza en los ejidos que están incorporados al Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos.

Una vez que se ha realizado el levantamiento, el próximo paso es descargar la información.

En la computadora crear un directorio para los datos.

Por ejemplo si el ejido se localiza en el estado de Oaxaca en el municipio 002, la clave del ejido es 10 y el polígono del ejido es el número 2; el directorio deberá quedar así:

```
C:\ >md 20002010.02
```

```
C:\ >cd 20002010.02
```

Y si las observaciones se hicieron en el día 286:

```
C:\20002010.02 >md dia286
```

```
C:\20002010.02 >cd dia286
```

```
C:\20002010.02 >dia286>_ y en su caso sesión A,B,C, etc.
```

Para respaldar la información obtenida en campo:

- 1) Conectar la batería al receptor.
- 2) Conectar el cable Hose del puerto 1 del receptor al puerto serial DB-9 en la computadora.
- 3) Encender el receptor.

## CONEXION DEL RECEPTOR AL COMPUTADOR

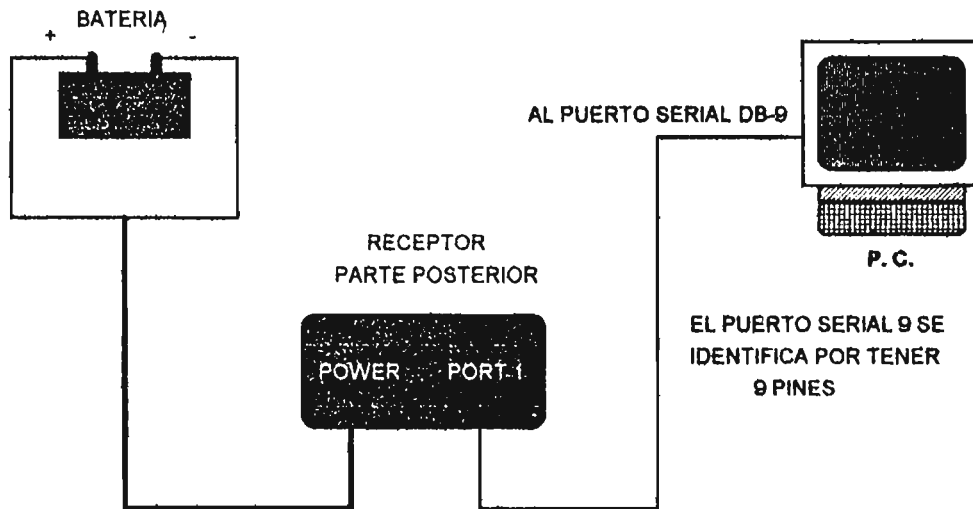


Figura 125

Una vez ubicados dentro del subdirectorio llamamos al programa HOSE

c:\20002010.02\dia286> y en su caso sesión A,B,C...= HOSE

NOTA: Para la descarga de datos puede ser utilizado opcionalmente el programa GPPS.

<b>Main options</b>		
A) Display receiver directory.		E) Reset for new receiver.
B) Download receiver files.		F) Read photogrametry data.
C) Change communication parameters.		G) Read almanac data.
D) Change destination path.		H) Edit Waypoints.
File Path : C: \GUIAS		Receiver Type: S - XII
Files: BEN = closed	EPHN = Closed	Disk Space: 18340 KB
SITE = closed		BAUD: 38400 PORT: COM1
RS - 232 Driver Installed		
Testing	38400 Baud	
Testing	9600 Baud	
Testing	38400 Baud	
Testing	112000 Baud	
Testing	1200 Baud	
<ESC>	<F1> DOS Shell	<CTR> <F10> accept

Para seleccionar alguna opción lo puede hacer de 2 maneras:

- 1) Tecleando la letra que identifica la opción (ejemplo, A o B, ...)
- 2) Moviendo con las teclas de movimiento (flechas) y tecleando RETURN.

Seleccionar la opción B) Download Receiv. files.

DOWNLOAD	TEMPLATE	BEN file	EPHM file	SITE file
Y	0001A92.254	B0001A92.254	E0001A92.254	S0001A92.254
Y	0003892.254	B0003892.254	E0003892.254	S0003892.254

Receiver files:

NAME	WORDS	WEEK	TIME	SES	RCR	ANT	MMDD	OPR	CODE	TYPE
001	8663	661	498299	A	125	951	1009	TOD	PHMEX-01	GEODETIC
003	948	661	410359	B	125	951	1009	TOD	PHMEX-01	GEODETIC

<ESC> ABORT OPERATION                      F1 DOS Shell                      <F10 > Accept/Start Download

Aparecerá la pantalla anterior.

Si existen archivos en más de una pantalla, utilizar las teclas de avances de página para moverse por páginas (Re pag = Regresa la página, Av Pag = Avanza página).

En la columna:

### DOWNLOAD

Con la letra N se identifica archivos que no se descargarán (no son útiles en este momento), con la letra Y identificamos los archivos a descargar.

### TEMPLATE

En caso de que el nombre del sitio y/o sesión fuese incorrecto mediante este campo 4 puede modificar el nombre del archivo antes de descargarlo a la computadora.

Cuando se modifique el nombre en el campo TEMPLATE automáticamente cambiará el nombre de la columna BEN FILE, EPHM file y SITE FILE.

Teclamos F10 para iniciar la descarga de datos.

Aparece la pantalla siguiente:

Main options	
A) Display receiver directory.	E) Reset for new receiver.
B) Download receiver files.	F) Read photogrametry data.
C) Change communication parameters.	G) Read almanac data.
D) Change destination path.	H) Edit Waypoints.
File Path : C:\GUIAS	Receiver Type: S - XII
Files: BEN = closed	Disk Space: 18340 KB
SITE = closed	BAUD: 38400 PORT: COM1
Transferring SITE DATA File for session 0	
Transferring ben/ephm data for session 0	
% Read	Record Number
74.7	40
Nav Msg	Block Total
5	0
Errors Recovered	
0	

<ESC> - QUIT

Esta pantalla muestra el porcentaje de avance en la lectura de los archivos del receptor.

El 100% indica que se ha descargado en su totalidad la información.

Luego se escuchará un sonido y aparecerá el resumen de la descarga de datos.

DOWNLOAD	TEMPLATE	BEN file	EPHM file	SITE file
Y	0001A92.254	B0001A92.254	E0001A92.254	S0001A92.254
Y	0003892.254	B0003892.254	E0003892.254	S0003892.254

SESSION 0						
Down Loaded to directory c:\gpps\tutor1						
FILENAME	TOT-ERRORS	RECOVER	EPOCHS	NAVS	ERROR-MSG	
S0001A92.254	0000	0000	N/A	N/A	NORMAL DOWNLOAD	
E0001A92.254						
B0001A92.254	0000	0000	54	005	NORMAL DOWNLOAD	

<ESC> ABORT OPERATION                      F1 DOS Shell                      <F10 > Accept/Start Download

En este resumen se visualiza que sesión y archivo descargar del receptor.

Para salir de él, teclear ESC, y aparece la pantalla de HOSE.

Si se requiere descargar otro receptor seleccionar la opción e) **Reset for new receiver**, conectar el nuevo receptor y presiona RETURN.

Aparece nuevamente la pantalla de HOSE, seleccionar la opción B) y seguir los pasos ya descritos en páginas anteriores.

Para finalizar presionar la tecla ESC.

**Nota:** Es importante verificar que existan los archivos B, E, S, además de realizar un respaldo (copia de los archivos).

Finalizando la descarga de datos, se está en condiciones de llevar a cabo el procesamiento de datos.

### Modificación de los parámetros de comunicación.

En el menú **HOSE**.

Main options		
A) Display receiver directory.		E) Reset for new receiver.
B) Download receiver files.		F) Read photogrametry data.
C) Change communication parameters.		G) Read almanac data.
D) Change destination path.		H) Edit Waypoints.
File Path : C:\GUIAS		Receiver Type: S - XII
Files: BEN = closed	EPHN = Closed	Disk Space: 18340 KB
SITE = closed		BAUD: 38400 PORT: COM1
<ESC> - QUIT		

Seleccionar la opción C)  
 Menu : Change Communications Parameters

Current BAUD	Current COMM port: COM1
Select New BAUD:	Select New COMM port:
300	COM1
600	COM2
1200	
2400	
4800	
9600	
19200	
38400	

<Esc> -QUIT                      <F1> - DOS Shell                      <CR> or <F10> - SELECT

Para cambiar la velocidad en baudios o el puerto, utilice las teclas de flechas (hacia arriba y hacia abajo), además de presionar <F10> para almacenar el cambio.

Para cambiarse entre columnas (Current BAUD y New COMM Port) utilice las flechas izquierda y derecha.

Con <ESC> sale de la pantalla.

**Nota:**

Si no tiene un puerto com2 y lo quiere instalar no se lo permitirá.

**Modificación del drive y/o directorio actual.**

En el menú de HOSE

Main options		
A) Display receiver directory.		E) Reset for new receiver.
B) Download receiver files.		F) Read photogrametry data.
C) Change communication parameters.		G) Read almanac data.
D) Change destination path.		H) Edit Waypoints.
File Path : C: \GUIAS		Receiver Type: S - XII
Files: BEN = closed	EPHN = Closed	Disk Space: 18340 KB
SITE = closed		BAUD: 38400 PORT: COM1

<ESC> - QUIT

Seleccionar la opción D)

Menu : Change File Destination

Drive : C

Directory path: \gpps\*tutor1

<Esc> - ABORT OPERATION

<F1> DOS Shell

<F10> - ACCEPT/DONE

Introducir el drive donde se va a descargar la información, la cual puede ser una letra que lo identifica (a,b,c,d,f,...), inmediatamente después introducir la ruta (directory path) por ejemplo: \mp, cuando descarga el almanaque.

Para aceptar cambios presionar <F10>.

Si el drive o camino es incorrecto, mandará un mensaje:

**Invalid drive and/or directory path**

PASOS EN LA DESCARGA DE DATOS

1) Creación del directorio de datos.

Crear un directorio por cada día a procesar, con el comando:

**md nom\_dir**

El nombre del directorio debe identificar el día juliano.

Ejemplo: C:\oaxaca> **md dia267**

2) Ubicación en el directorio de datos

Para moverse a un directorio de datos utilizar el comando

**cd nom\_dir**

Ejemplo: C:\oaxaca>**cd dia267**

3) Para descargar datos del receptor.

a) Conectar la batería al receptor

b) Conectar el cable Hose del puerto 1 del receptor al puerto serial DB-9 en la computadora.

c) Encender el receptor

4) Ejecutar el programa HOSE dentro del directorio de datos y procedemos a la descarga de información del receptor a la computadora.

Ejemplo: C:\20001010.02\dia267>**HOSE <<ENTER>>**

**Nota:** Debe crear un directorio que identifique el proyecto, y subdirectorios que identifiquen el día juliano, los cuales deben anidarse del directorio que identifica el proyecto.

Ejemplo:



#### NOTAS:

- \* Utilizar una computadora con puerto serial de 9 pines (patillas) denominado DB-9.
- \* La computadora deberá tener un coprocesador matemático.
- \* Es importante verificar que el receptor esté encendido y funcionando durante la descarga de datos.
- \* Asegúrate de descargar sólo archivos necesarios, si en el receptor existen archivos de días anteriores.

#### PROBLEMAS:

##### A) LA DESCARGA ES LENTA

- \* Posiblemente la computadora no tiene coprocesador matemático o
- \* Se utiliza una computadora con configuración no apropiada para la descarga de datos.

##### B) No es posible descargar datos.

- \* Checar conexiones del receptor y de la computadora (que los cables estén conectados correctamente).
- \* Si los cables están conectados correctamente. Salir del programa HOSE y volver a ejecutar el programa.
- \* Verifica que el puerto de comunicación sea el apropiado (com1 o com2)
- \* Disminuir la velocidad de transmisión (baudios).
- \* Problemas con el receptor.

#### PROCESAMIENTO DE DATOS

Su objetivo es la obtención de líneas base y coordenadas aproximadas de los sitios donde se efectuó el levantamiento.

En el directorio donde se realizó la descarga de datos llamados GPPS

C:\20002010.02\dia286>GPPS <<ENTER>>

ASHTECH	Geodetic Post Processing Software
C:\GPPS\TUTOR001	
A) Auto Processing	
B) Download Receiver	
C) Editing/Planning	
D) Manual Processing	
E) Post Mission	

Seleccionar **A) Autoprocessing** <<ENTER>>

**NOTA:**

En caso de que ya se hubiesen procesado los datos aparecerá la pantalla del anexo A.

Menu 1.0
Processing Options:
A) Static
B) Psudo
C) Kinematic

Aparecen tres métodos de proceso, selecciona **A) Static**.

Menu 2.0
Editing Options :
A) Edit Project File
B) Edit Run - time Parameters
C) Process Project



**Seleccionar A) Edit Project File**

En caso de que ya hayan sido procesados los datos, aparecerá una pregunta Use project file already existing? (Y/N), teclee Y para utilizar el proyecto existente, con N creará uno.

Menu 1 - 1		Project station Information				
SITE	SESSION	KNOWN	SLANT	LATITUDE	LONGITUDE	ELIP-HT
Y 5555	A	6	1.630	N 37 31 46.44913	W 122 3 51.99768	-14.61
YRE22	A	6	0.000	N 37 22 8.18000	W 122 0 1.99347	7.3413
YRICK	A	6	2.090	N 37 31 46.66962	W 122 3 1.17085	-14.053

Introducir en la primera columna "Y" si desea procesar ese Sitio; o "N" de lo contrario.

Significado de las columnas (SITE = sitio, SESSION = Sesión, KNOWN = Código que Identifica el Conocimiento del Sitio, SLANT = Altura Inclineda de la Antena), ELIP-HT = Altura Elipsoidal.

**NOTA:**

En este ejemplo se selecciona la sesión A únicamente.

El paso siguiente es pulsar (F3) en la línea del sitio a modificar y/o verificar.

Menu 1 - 1		Project station Information				
SITE	SESSION	KNOWN	SLANT	LATITUDE	LONGITUDE	ELIP-HT
Y 5555	A	6	1.630	N 37 31 46.44913	W 122 3 51.99768	-14.61
YRE22	A	6	0.000	N 37 22 8.18000	W 122 0 1.99347	7.3413
YRICK	A	6	2.090	N 37 31 46.66962	W 122 3 1.17085	-14.053

SLANT	1.6300
RADIUS	0.0000
ADDED OFFSET	0.0000
COMPUTED HT	1.6300

Donde se anotará el radio de la antena que es de 0.1318 para el receptor P12, y 0.1176 para el receptor DIMENSION.

En caso de que todos los sitios tengan el mismo radio, con el cursor en la opción Radius presione F5 y aparece una pantalla en la cual debe teclear y para que automáticamente se asigne ese radio a todos los sitios y presionar F10 para guardar los datos ( si no existe altura de la antena no se podrá modificar el radio).

En caso de que no tengan el mismo radio, utilizar <F10> para cambiar los datos del sitio y utilizar F3 las veces que sea necesario, antes moviendose a la línea correspondiente al sitio.

OBSERVACION:

Además en el campo Added Offset si existe una altura adicional a la del tripode (extensión), introdúzcala en este campo. Este valor se encuentra en el formato Registro de Observaciones.

Cuando termine teclee (F10) para grabar, con lo cual regresará al Menú 2.0

Menu 2.0
Editing Options :
A) Edit Project File
B) Edit Run - time Parameters
C) Process Project

Seleccione la opción B) Edit Run-Time Parameters.

Menú 1.1.4 - Run - Time Parameters	
1 (epoch)	First epoch to process.
-1(epoch)	Last epoch to process (-1 = last available)
15.0 (degrees)	Elevation cutoff angle
1	Process data (0=WIn, 1=L1, 3=L1c, 6=RpdSt)
0.010000	Convergence criterion (meters)
00 00 00 00 00 00 00	Satellites to omit during processing (up to 7)
10 (iterations)	Maximum number of dslq and tslq iterations.
00 00 00 00 00 00 00	Forbidden reference SV's (up to 7)
Y (Y/N)	Apply tropospheric delay correction.
L	Output Format (Short, Long)

<F1> - DOS Shell      <F3> - MORE <F10> - done/Accept <Esc> - ABORT

En esta pantalla seleccione el método a procesar.

Teclee un 1 ó 3 para la selección del método (Con el cursor situado en la fila Process data).

1 = L1 es recomendado para distancias cortas entre líneas base.

3 = L1c es recomendado para distancias largas entre líneas base.

Teclee <F10> para almacenar los cambios.

Aparece el menú 2.0

Menu 2.0

Editing Options :

- A) Edit Project File
- B) Edit Run - time Parameters
- C) Process Project

Seleccione C) **Process Project**

Menu 1.3

Processing Options:

- A) Process All Combinations
- B) Process Radialy
- C) Select Baseline Pair's
- D) View Baseline Summary

Seleccione la opción **A) Process All Combination** <<ENTER>>

Aquí el proceso se llevará a cabo hasta que el computador indique su finalización con un sonido y aparecerá una pantalla dando la recomendación de realizar el ajuste.

Teclee <<RETURN>>

<b>Menu 1.3</b>
<p>Processing Options:</p> <p>A) Process All Combinations</p> <p>B) Process Radialy</p> <p>C) Select Baseline Pair's</p> <p>D) View Baseline Summary</p>

Seleccione la opción D) View Baseline Summary <<ENTER>>

Aparecerá el resumen de la sesión procesada.

<b>Menu 1.3</b>																								
<p><b>Processing Summary</b></p> <p>COMNAV was run using the following filles:</p> <p style="padding-left: 40px;">BRICKA90.009</p> <p style="padding-left: 40px;">BREZ2A90.009</p> <p style="padding-left: 40px;">B5555A90.009</p> <p>MAKEUFIL results were as follows::</p> <p style="padding-left: 40px;">For BRICKA90.009 Position is Estimated to be within 2.800806</p> <p style="padding-left: 40px;">For BREZ2A90.009 Position is Estimated to be within 2.683241</p> <p style="padding-left: 40px;">For B5555A90.009 Position is Estimated to be within 2.824255</p> <p>LINECOMP Results Are As Follows :</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">From</th> <th style="text-align: left;">To</th> <th style="text-align: left;">SESSION</th> <th style="text-align: left;">LENGTH</th> <th style="text-align: left;">RMS(m)</th> <th style="text-align: left;">RATIO SOL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>REZ2</td> <td>5555</td> <td>A</td> <td>18702.370</td> <td>0.00655</td> <td>100.00 Fixed</td> </tr> <tr> <td>REZ2</td> <td>RICK</td> <td>A</td> <td>18703.462</td> <td>0.00557</td> <td>100.00 Fixed</td> </tr> <tr> <td>RICK</td> <td>5555</td> <td>A</td> <td>22.084</td> <td>0.00351</td> <td>100.00 Fixed</td> </tr> </tbody> </table>	From	To	SESSION	LENGTH	RMS(m)	RATIO SOL	REZ2	5555	A	18702.370	0.00655	100.00 Fixed	REZ2	RICK	A	18703.462	0.00557	100.00 Fixed	RICK	5555	A	22.084	0.00351	100.00 Fixed
From	To	SESSION	LENGTH	RMS(m)	RATIO SOL																			
REZ2	5555	A	18702.370	0.00655	100.00 Fixed																			
REZ2	RICK	A	18703.462	0.00557	100.00 Fixed																			
RICK	5555	A	22.084	0.00351	100.00 Fixed																			

Para moverse en este reporte usar las teclas de flechas y avance de página.

La parte más significativa inicia en la fila donde aparece la palabra LINECOMP.

Significado de las columnas:

**From** : Sitio de origen

**To** : Sitio, destino

**LENGHT:** Indica la longitud calculada entre los puntos (From To)

**RMS** : Es el error medio cuadrático.

Por lo general para líneas cortas esta columna tendrá un valor en mm, para líneas largas en cm., o mm.

**RATIO** ; Identifica el porcentaje de fijación de ambigüedades.

Representa al porcentaje de resolución de ambigüedades.

Un valor mayor o igual al 95% es el más apropiado, para líneas cortas y procesamiento en modo 0 o 1.

Este valor no se obtendrá en la solución flotante, aparecerá como N/A (No Disponible).

**SOL** (Solución)

Representa el tipo de resolución de ambigüedades.

**FIXED** (Fija)

Cuando se logra fijar las ambigüedades de todos los satélites.

**FLOAT** (Flotante) Cuando no es posible fijar las ambigüedades y ésta permanece como un número real.

**PARTIAL** (Parcial) Cuando existe una resolución de ambigüedades flotante en algunos satélites y otras fijas.

**Ambigüedad** es el número de ciclos enteros desconocidos entre receptor y satélite al iniciar el levantamiento.

Estos valores son afectados por el método de proceso y la longitud de la línea, de ahí la importancia del método del proceso y la longitud de la línea, y la importancia del método de proceso (L1 o widelane para líneas cortas Lc para líneas largas).

Para salir del programa GPPS presionar la tecla ESC las veces que sea necesario.

Antes de salir aparecerá una pregunta, Save profile on disk (Y/N), que significa si desea almacenar el archivo de proyecto a disco.

## - USO DE UTILERIA FILETOOL

Para eliminar un determinado número de épocas de un archivo B.  
Para ejecutar el programa desde el sistema operativo, teclear FILETTOL (en el directorio donde se encuentran los archivos B).

C:\dia269>filetool

Aparecerá la siguiente pantalla;

```

                                FILE UTILITIES

BENDATA FILES:
  A) Lock at bendata file
  B) Full precision look at the bendata
  C) Join two or more bendata files
  D) Thin a bendata file to select epoch interval.
  E) Pick selected epochs from a bendata file.
  F) Print the bendata structure format
U - FILES
  G) Display the U - file header

NAV/EPHM FILES
  H) Read a navdata file
  I) Remove a satellite from a navdata file

GENERAL FILES
  J) Split any file, or join previously split files

```

<F1> DOS Shell      <ESC> - QUIT      <CR> or <F10> - Accept Selection

La opción E) Pick selected epochs from a bendata file (Seleccionar determinadas épocas del archivo B).

Permite eliminar épocas de un archivo B, utilizado cuando:

- \* No se desean ciertas épocas por tener información inválida.
- \* Existe mezcla en un mismo archivo con épocas a diferentes intervalos.

NOTA: El programa FILETOOL no aceptará hacer algún cambio en un archivo con extensión .bak

Al seleccionar esta opción aparecerá una lista de archivos B:

```

                                PICK SELECTED EPOCHS FROM B - FILE
                                BC171A92.260

BC171A92.260  BC001A92.260  BC211A92.260  BCO19A92.260  BCO13A92.260

```

Seleccionar el archivo y teclear RETURN o F10.

Aparecerá la siguiente pantalla.

WARNING ORIGINAL B - FILETOOL BE RENAMED BC171A92 - BAK		
THERE ARE 243 EPOCHS IN THIS FILE		
OUTPUT FILE BC171A92.260	INTERVAL 1 150	EPOCHS 100 240

#### EPOCA DE INICIO Y FIN DEL INTERVALO

Aparece una advertencia, diciendo que el archivo original será renombrado (original file will be renamed) BC171A92.BAK.

Luego aparece el número de épocas en el archivo (THERE ARE 243 EPOCHS IN THIS FILE), el nombre del archivo de salida (OUTPUT FILE) y las columnas para introducir los rangos de inicio y término de época a seleccionar.

Puede introducir varios rangos para seleccionar sólo determinadas épocas de un archivo B.

En el ejemplo se muestran dos rangos:

El primero selecciona desde la época 1 hasta la época 100, el segundo selecciona la época 159 hasta la época 240.

Ya que se seleccionaron los rangos teclear F10 y aparecerá la palabra WORKING, mientras que el caracter `g` gira mientras se copian las épocas seleccionadas al archivo.

Para salir teclear la tecla ESC (escape) y regresará al programa FILETOOL.

El archivo original será renombrado con una extensión .bak y permanecerá con el mismo contenido.

#### ANEXO A

SUMMARY.OUT File Already Exist  Do You want to (O)verwrite, (A)ppend, or (C)reate new file
--

Teclear la letra O, A o C, según convenga de acuerdo a la siguiente explicación:

Significado de las letras:

O  
 Borra el archivo del sumario existente (summary out).

Si vuelve a procesar creará el archivo summary.out.

A  
 Añade al sumario del proceso a realizar al sumario ya existente.

Es útil cuando va a procesar una sesión, con el fin de analizar los resúmenes de las sesiones.

C

Crea un sumario el cual puede dar un nombre que designó, no es obligatorio el nombre de summary.out.

NOTAS:

\* La computadora deberá tener y reconocer al coprocesador matemático, en caso de que en el procesador no este integrado.

\* Lo más recomendable es utilizar una computadora con el procesador 80386 u 80486.

PROBLEMAS:

\* No se ejecuta el programa GPPS.

a) Verificar que no haya sido borrado de su computadora.

b) Si existe el programa verificar que el comando PATH del sistema operativo tenga el camino de búsqueda de GPPS.

\* Durante el proceso de GPPS un mensaje indica que el intervalo de tiempo común de proceso es diferente.

Posiblemente descargó información de otra sesión o el levantamiento no se realizó en tiempos comunes entre los receptores.

#### GUIA DE ETIQUETACION PARA GPS

El almacenamiento de la información proveniente de GPS se identificará de la siguiente manera:

#### 1. Etiquetación Interna (discos duros y diskettes)

1.1 Crear un directorio para cada ejido, con el siguiente formato:

EEMMMJJJ.PP

donde:

EE	Clave del Estado
MMM	Clave del Municipio
JJJ	Clave del Ejido
PP	Número del polígono Ejidal

Ejemplo 01003004.01

1.2 Dentro del directorio anterior, crear otro con el siguiente formato:

DDDS

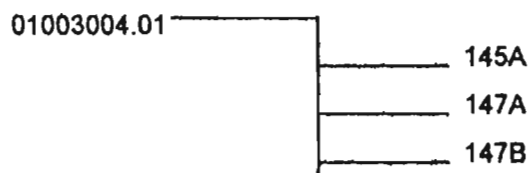
donde:

DDD	indica el día juliano del levantamiento
S	indica la sesión de trabajo



En este directorio se almacenarán los archivos del levantamiento, los cuales se procesarán en ese directorio con el programa GPPS.

Ejemplo: 145A



## 2. Etiquetación Externa de Diskettes

### 2.1 Entrega del jefe de brigada.

Los diskettes que entregues, etiquétalos de la siguiente manera:

Disco nn de xx						
CLAVES						
Edo.	Mpio.	Ejido	Polígono Ejidal	Día Juliano	Sesión	Número de Puntos
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

donde:

nn Identifica el número de diskette.

xx Identifica la cantidad de diskettes entregados

Clave del Estado

Escribir la clave correspondiente al estado (2 dígitos)

Clave del Municipio

Escribir la clave del Municipio correspondiente al Estado (3 dígitos)

Clave del Ejido

Clave del Ejido en el cual se realizó el levantamiento.

Día Juliano

Día Juliano que identifica el día del levantamiento.

Sesión

Identificador de la sesión del día del levantamiento.

Número de puntos

Número de puntos levantados en el Ejido correspondiente.

## 2.2 Etiquetación de diskettes con Ejidos ajustados (Técnico en Geodesia).

Disco nn de xx							
CLAVES							
Edo.	Mpio.	Ejido	Polígono Ejidal	C	PE	PA	P
_____	_____	_____	_____	—	—	—	—

donde:

nn Identifica el número de diskette.

xx Identifica la cantidad total de diskettes entregados.

Edo. Identifica el número del estado (1 a 32)

Mpio. Identifica el número de Municipio.

Ejido Clave correspondiente al Ejido.

Polígono Ejidal

Identifica el número de polígono Ejidal.

C	=	Punto de control
PE	=	Perímetro Ejidal
PA	=	Poligonal de Apoyo
P	=	Parcelas

En estas columnas se identificará con una X si en el Ejido o polígono Ejidal correspondiente se levantaron puntos de control, del perímetro, parcelas o de la poligonal de apoyo

## CAPITULO XIII

### PROCEDIMIENTO PARA EL USO DEL EQUIPO GPS.

Actualmente el INEGI establece por medio del equipo GPS PXII, un Control Geodésico Ejidal (Para medición de los ejidos en todo el territorio nacional), estableciendo un mínimo de 2 puntos GPS de control por polígono ejidal, con la finalidad de ligar estos levantamientos con la Red Geodésica Nacional Activa, para el cálculo de sus coordenadas geográficas precisas.

#### ANALISIS DEL ANTEPROYECTO DE MEDICION

Será verdaderamente extraordinario que el equipo GPS, por sí solo, pueda completar un levantamiento en su totalidad, debido a que siempre existirán obstáculos que impidan la recepción de las señales de los satélites, por ello siempre debe considerarse el trabajo complementario que deberá ejecutarse con Estación Total.

El análisis del anteproyecto tiene como finalidad realizar una revisión de los materiales que se necesitarán en el levantamiento para programar eficientemente las actividades a realizar en campo.

El análisis consiste en:

-Revisar que en la Carta topográfica se hayan plasmado los polígonos a levantar.

-Revisar que en el croquis se encuentren marcados los puntos GPS de control a establecer y/o vértices a establecer.

-Contabilizar el número de polígonos existentes en el área a levantar, y el número de puntos GPS de control y/o vértices a establecer.

-Conocer por medio del programa de cobertura la fecha y horario de medición, y el orden propuesto para el posicionamiento

-Verificar la información contenida en la Carta Topográfica referente a las vías de comunicación y localidades para el traslado y abastecimiento de la brigada.

-Dimensionar las tareas a realizar en cada área de trabajo, tomando en cuenta el tamaño de los polígonos, las características topográficas y las vías de comunicación existentes entre ellos.

-Revisar que exista el formato de registro de obstáculos en los vértices en donde se posicionará el equipo GPS, y verificar la numeración de los vértices de acuerdo a las especificaciones que se hayan establecido de antemano.(Ver anexo )

-Características topográficas del terreno

-Tipo de vegetación predominante en la zona

-Período estimado del levantamiento

-Propuesta de líneas base (líneas de control azimutal y lineal)

-Este análisis deberá ayudar a definir con mayor detalle aspectos de organización de la brigada, las necesidades de apoyos, recursos, orden de cobertura, periodo de levantamiento y otros, y la relación entre las brigadas de GPS y Estación Total.

## **ORGANIZACION DE LOS MATERIALES**

Para organizar el material se clasificará por tipo, tomando en consideración las diferentes labores a realizar con el fin de evitar cargas y traslados innecesarios. Distribuyendo dicho material de acuerdo a la manera en que se organice al personal de la brigada, se recomienda designar a dos personas por receptor.

Antes de salir a campo se debe revisar, que el equipo se encuentre en buenas condiciones y que las cantidades de material sean las suficientes para los trabajos a realizar.

## **ASIGNACION DE CARGA DE TRABAJO**

Cuando se trate de establecer los puntos GPS de control Geodésico, se designará a cada pareja la carga de trabajo en dos momentos:

-Para monumentación

Que consistirá en un determinado número de puntos a monumentar en los polígonos del área a levantar.

-Para posicionamiento

El número de puntos a posicionar, la fecha y hora en que se realizará la sesión de medición.

Para realizar esta asignación, el jefe de la Brigada se apoyará en los croquis de los polígonos y en los resultados de la Planeación de la Misión (MP) para cada punto a posicionar, a través del formato "ASIGNACION DE CARGAS DE TRABAJO A BRIGADISTAS" (Ver Anexo)

## **RECORRIDO DE RECONOCIMIENTO**

Se realizará el reconocimiento de campo con el objeto de identificar las condiciones físicas del terreno, específicamente del área donde se establecerán los puntos GPS de Control Azimutal y/o vértices al interior.

Estando en el sitio seleccionado para puntos GPS, se verificará que existan las condiciones adecuadas para la recepción de señales, colocación del equipo y establecimiento del monumento en el caso de los puntos de control.

Las características que se deberán considerar son:

-Visibilidad sobre el horizonte de 15° como mínimo o en su defecto que garantice la recepción de la señal de los satélites (Recordar que a 10° o menos se obtiene la mayor refracción de la señal de los satélites) Ver Figura 28 de la página 32.

-Que no existan elementos que interfieran el buen funcionamiento de los instrumentos de medición (como torres de alta tensión, antena de telecomunicación, grandes cuerpos de agua y otros que entorpezcan la recepción de la señal)

-Que el terreno en donde se posicionará el equipo, sea firme para y que permita la colocación de los monumentos.

## **LLENADO DE FORMATOS**

Para cada punto GPS que se establezca se llenarán los siguientes formatos:

**a) Información de vértices geodésicos - Puntos GPS.**

Este formato se llenará al realizar la monumentación de los puntos GPS de control geodésico. (Ver anexo)

**b) Registro de observaciones.**

Se elaborará al posicionar cada uno de los puntos GPS ya sea de control geodésico o de vértices al interior. (Ver anexo)

**c) Ubicación de obstáculos.**

Se llenará durante el recorrido de reconocimiento tanto en puntos de control como vértices al interior utilizando el clisímetro y la brújula. (Ver anexo)

## **Establecimiento del control geodésico ejidal**

Esta actividad consiste en establecer un mínimo de dos puntos GPS de control con una precisión de 1: 50 000 o mayor en cada polígono ejidal, ligándolos a la Red Geodésica Nacional Activa. Para ello se requiere desarrollar tres actividades: a) Monumentación; b) Elaborar el programa de posicionamiento, y c) Estrategia para el posicionamiento.

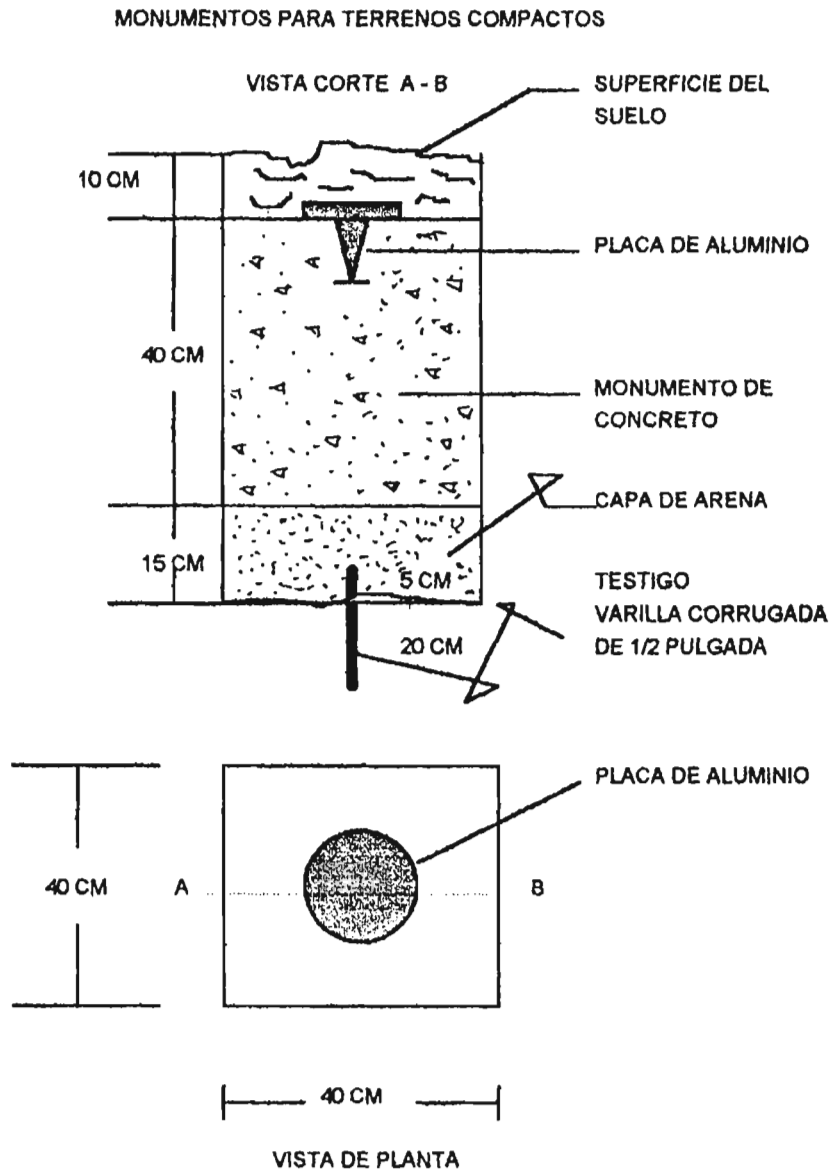
**a) Monumentación**

Una vez determinado el sitio donde se establecerán los puntos GPS de control, se procede a la construcción de los monumentos que permitan la ubicación exacta y su permanencia. Los monumentos tienen las especificaciones siguientes:

- Solidez y estabilidad de acuerdo a las características del terreno.
- Contener la placa metálica.
- Referencias.

Se aceptarán como monumentos: -Los elaborados de concreto que contengan un testigo subterráneo alineado verticalmente con la placa metálica.

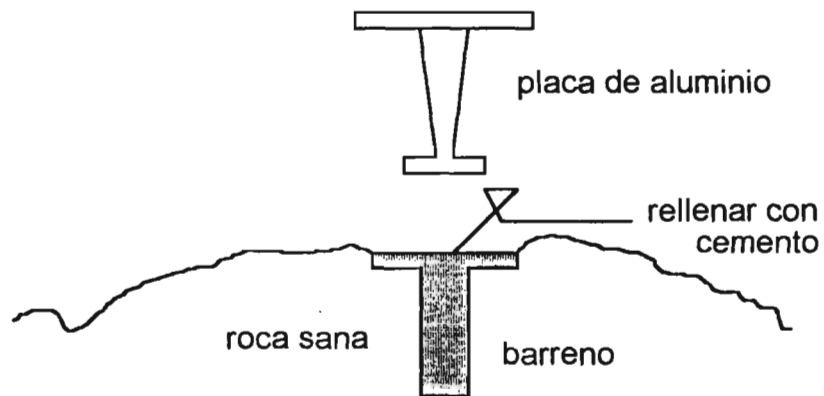
Figura 126



NOTA: Para monumentos en terreno blando, únicamente se aumentaran 10 cm en la altura del concreto y por lado deberá medir 50 X 50 cm.

-Los hechos en roca sana con la placa metálica empotrada y fijada con cemento.

Figura 127



En la placa metálica se registran los datos de identificación del punto GPS, que son: Clave del Estado, el número que corresponda al Municipio, número progresivo del punto, y la fecha de colocación.

Figura 128



Por cada punto GPS de control que se genere, se deberán establecer de 3 a 4 marcas de referencia, ubicadas estratégicamente con el fin de facilitar su localización.

Las referencias se podrán colocar en cualesquiera de los elementos circundantes al punto GPS (construcciones, árboles, rocas o mojoneras de concreto elaboradas expofeso) en un radio no mayor de 20 metros y considerando por lo menos 3 de los 4 cuadrantes.

Una vez esablecidas las referencias, se numeran del 1 al n, iniciando con la de menor azimut, siguiendo el orden en que giran las manecillas del reloj. El azimut se determinará a partir de la ubicación de la referencia con respecto al punto GPS y se indicará, con una flecha, la dirección hacia donde se localiza el punto principal (GPS).

## UBICACION DE MARCAS DE REFERENCIA

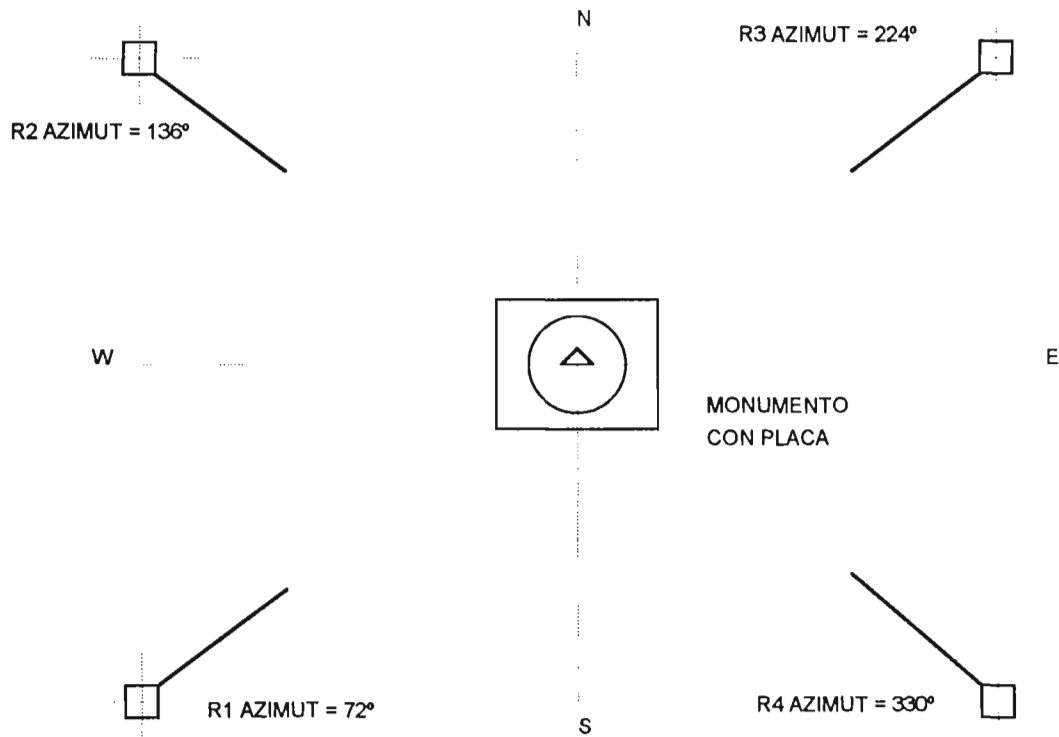


Figura 129

En caso de que no existan elementos permanentes sobre el terreno para colocar las referencias en el radio especificado de 20 metros, se construirán mojoneras pequeñas con cemento, empotrando un clavo o varilla y marcando sobre el cemento la dirección hacia el punto principal y el número que la identifique.

Es importante mencionar que la monumentación de los puntos se efectúa antes de hacer el posicionamiento (medición).

Si a solicitud de las autoridades ejidales o dependiendo de las condiciones físicas del terreno, se requiere establecer los monumentos con parte de la estructura sobre la superficie, se podrán realizar siempre que se garantice su permanencia y estabilidad. Al hacerlo se deberá considerar que la parte que sobresalga de la superficie no supere el 50% de la altura del monumento.

### Elaboración del programa de posicionamiento

Con los datos obtenidos en el reconocimiento de campo y el formato ubicación de obstáculos (ver anexo) se obtendrán los elementos necesarios para realizar el programa de trabajo, especificando los tiempos de posicionamiento, el orden de cobertura y la distribución de personal.

Para ello se procederá a:



-calendarizar la disponibilidad de por lo menos 4 satélites con geometría adecuada (PDOP menor o igual a 5) para cada punto aposicionar, utilizando el equipo de cómputo y el software Mission Planning.

-Programar los horarios de posicionamiento, respetando el tiempo en horas indicado el formato "Programa de Cobertura", con base en los resultados del Mission Planning.

-Para el posicionamiento de los puntos GPS de control, se realizará una sesión de observación.

-Programar el número de sesiones a realizar, considerando el número de puntos a posicionar en el levantamiento y el número de equipos GPS disponibles.

-Considerar los tiempos para adecuar las áreas circundantes a los puntos por medir, si se requiere.

-Determinar los tiempos de traslado con base en los medios de transporte y vías de comunicación existentes.

-Preparar los equipos GPS.

-Revisar cuidadosamente los equipos con el objeto de detectar:

.Imperfecciones o descomposturas

.Descarga de baterías

.Fallas en los cables de conexión

.Capacidad de memoria disponible del receptor para el registro de datos

-Programar la distribución del personal

-Programar las localidades o puntos de reunión para el respaldo y control de la calidad de información.

Una vez elaborado el programa de posicionamiento, se asignarán las cargas de trabajo para cada grupo o pareja, elaborando el formato "Asignación de carga de trabajo a brigadistas" Ver anexo.

### **Estrategia**

*El posicionamiento de los puntos GPS de control azimutal se realizará invariablemente con equipos GPS de dos bandas (PXII).*

Para ello se coloca un equipo en cada uno de los puntos GPS a establecer durante el tiempo especificado.

Si el número de puntos GPS de control a establecer en un polígono, es mayor al número de equipos GPS de dos bandas (PXII) disponibles por la brigada, se moverán los equipos a los demás puntos por posicionar de acuerdo a la sesión programada para cada uno de ellos.

### **Procedimiento para el posicionamiento de puntos GPS**

Para dar inicio al posicionamiento se instalará el equipo GPS en cada punto a posicionar, de tal manera que cumpla las normas de centrado, nivelado e inicialización específicas para la realización de levantamientos con equipos GPS.

Una vez instalados los equipos en los puntos y teniendo por lo menos 4 satélites disponibles y con geometría adecuada para posicionamiento, se harán observaciones rigurosamente por el método estático de manera continua durante el tiempo estipulado en el programa de cobertura para cada punto.

Se tomarán registros cada 15 segundos simultáneamente por todos los equipos GPS programados para esa sesión.

Al hacer el posicionamiento es conveniente iniciar cinco minutos antes y terminar cinco minutos después de la hora programada para asegurar el tiempo mínimo de la sesión.

En caso de que alguno de los equipos GPS interrumpa el registro de datos por cualquier circunstancia durante el tiempo mínimo de observación o no se logre llegar al punto para realizar el posicionamiento, se deberá comunicar al resto de la brigada para volver a efectuar la medición antes de pasar a posicionarse en el siguiente punto.

#### **Recomendaciones:**

-Es recomendable que al estar realizando el posicionamiento de los puntos, se evite la presencia o uso de radio transmisores o receptores, tales como banda civil o FM, ya que pueden interferir en la recepción de la señal de los satélites.

-Como medida precautoria y con el fin de aprovechar al máximo la calendarización de satélites, es necesario que cada pareja de la brigada se traslade al lugar asignado con el tiempo suficiente para prever posibles contratiempos.

También se recomienda dejar el vehículo cuando menos 50 metros alejado del punto a posicionar, para evitar que la señal rebote en el parabrisas y llegue amortiguada nuevamente a la antena del receptor (efecto multipath).

Finalmente y con el objeto de llevar un control de cobertura durante el posicionamiento, en el croquis elaborado previo al levantamiento, se palomean (✓) los puntos que ya han sido posicionados.

#### **Respaldo de la Información y Control de Calidad.**

Al término de las sesiones programadas se respaldará la información por medio de los equipos de cómputo (programa hose).

Al descargar y respaldar la información, se verificará que existan tres archivos por cada estación.

Estos archivos son:

Archivo B = NUMERO DE EPOCAS REGISTRADAS  
Archivo E = DATOS DE LAS EFEMERIDES TRANSMITIDAS  
Archivo S = DATOS DEL SITIO O ESTACION.

Al descargar los datos se verifica que el nombre del sitio esté correcto, comparándolo con el anotado en el formato "Registro de Observaciones".

Una vez terminada la descarga de datos, se harán los respaldos en diskettes, los que se identificarán en la portada con las claves de estado, municipio, ejido y polígono de que se trate.

Para llevar el control de calidad de la información obtenida en campo, se procesará, mediante el empleo del Software GPPS (Geodetic Post Processing System), la información recabada en todos los receptores utilizados en cada sesión.

Durante el procesamiento de la información con GPPS se analizará:

-Número de épocas obtenidas por sesión contra número de épocas necesarias para el proceso.

-Existencia de saltos de ciclo.

-Interrupción momentánea de la emisión - recepción de la señal.

-Número de satélites.

-Relación entre distancia, RATIO, RMS y Solución.

Se recomienda procesar la información diariamente, esto permitirá identificar rápidamente algún problema que se pudiera haber tenido durante la sesión, y si fuera necesario, tomar la decisión de reprogramar la sesión de observación.

El archivo **O** de salida tiene los resultados de cada uno de los pasos seguidos durante el procesamiento para cada uno de los vectores, en este archivo se observará la relación existente:

-Entre la longitud del vector y el RMS (precisión)

Se aceptará como bueno aquel valor de RMS que esté cercano al centímetro, dependiendo de la longitud del vector.

-RATIO (razón de búsqueda del entero)

El valor debe estar sobre 95% o **N/A** (Not Available), dependiendo del modo seleccionado para el proceso de la información.

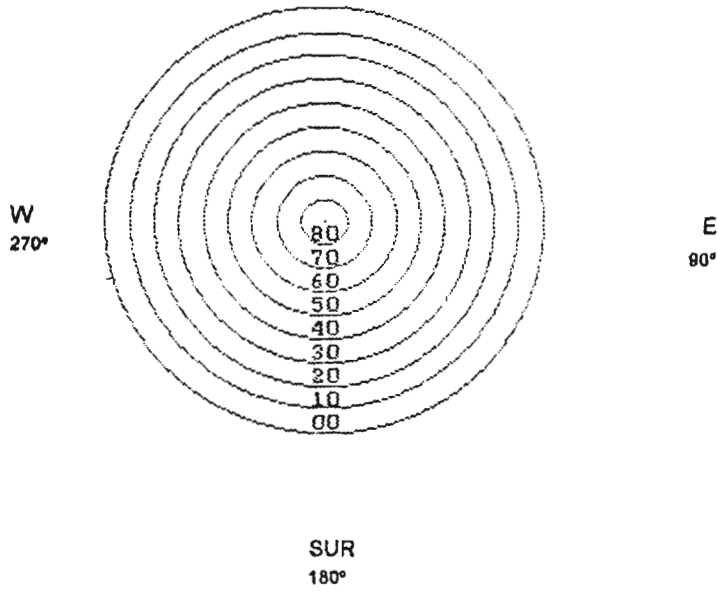
El determinar si una línea base es aceptable dependerá de la precisión requerida en el levantamiento y de la combinación de los factores anteriores.

Cuando el procesamiento de la información ya esté vaciada y sea dado como bueno se respaldarán los archivos de salida **I**, **P** y **O** (archivos de salida que genera GPPS para iniciar otro paquete de software llamado GEOLAB y que emplea INEGI para el procesamiento de la información de campo), así como el **SUMMARY OUT** (resumen GPPS donde presenta resultados)

**ANEXO**

**NOTA: LA DOCUMENTACION QUE SE PRESENTA EN ESTE ANEXO, ES LA QUE EMPLEA EL INEGI PARA CONTROL DE LOS LEVANTAMIENTOS CON GPS, SE CONSIDERA QUE CON UN MINIMO DE CAMBIOS SE PUEDE ADECUAR PARA CONTROLAR LOS LEVANTAMIENTOS QUE SE HAGAN CON ESTE EQUIPO EN TRABAJOS PARTICULARES DE CUALQUIER EMPRESA.**

UBICACION DE OBSTACULOS  
NORTE  
360°



DATOS DE IDENTIFICACION

Nombre y clave del Ejido \_\_\_\_\_

Número del Polígono \_\_\_\_\_

Clave del Punto GPS \_\_\_\_\_

Longitud \_\_\_\_\_

Coordenadas  
Latitud \_\_\_\_\_

Clave de la Carta Topográfica \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

Elaborado por: \_\_\_\_\_

REGISTRO DE OBSTACULOS

OBSTACULOS					OBSTACULOS				
No. de OBST.	No. de PUNTOS	ELEVACION	AZIMUT	TIPO DE OBSTACULOS	No. de OBST.	No. DE PUNTOS	ELEVACION	AZIMUT	TIPO DE OBSTACULOS

**INSTRUCCIONES DE LLENADO DEL  
FORMATO DE UBICACION DE OBSTACULOS**

Este formato tiene como objetivo llevar un registro de los obstáculos que se encuentren cercanos a los puntos GPS, vértices del perímetro o poligonal de apoyo y áreas al interior del ejido que pudieran impedir la recepción de la señal de los satélites GPS en la antena del equipo, para estar en condiciones de programar los horarios de medición con el software Mission Planning.

**EN EL CONCEPTO**

**SE ANOTA**

en el Círculo Graduado

Se registrará la posición en que se encuentren los obstáculos de acuerdo a su elevación y azimut, numerándolas del 1 al n.

Elevación

Se obtiene considerando la altura del obstáculo de acuerdo a la posición del punto y puede ser de 0° a 90° (Se debe emplear el clisímetro).

Azimut

Se fija la posición de los puntos mas sobresalientes de los obstáculos, de acuerdo a su posición azimutal.

Datos de Identificación:

Nombre y clave del ejido

El nombre y clave del ejido en donde se esté efectuando el levantamiento.

Número del polígono

En caso de que se cuente con más de un polígono, se anotará el número o letra que lo identifique.

Clave del punto GPS

Se anotará la clave del punto GPS o número de vértice que se vaya a posicionar.

Coordenadas

Se anotarán las coordenadas aproximadas (Latitud y Longitud) del punto GPS a posicionar. Este dato se obtiene de la carta topográfica.

Clave de la Carta Topográfica

La clave de la carta topográfica en donde se encuentra ubicado el punto GPS.

Fecha

Día, Mes y Año en que se elabore este documento.

Elaborado por:

Los nombres de los brigadistas que elaboraron el documento.

Registro de obstáculos

En esta parte del formato se registrarán los datos y observaciones de todos los obstáculos que se encuentren cercanos a los puntos GPS por posicionar y que tengan una elevación mayor a 15°.

Número de punto

Para cada obstáculo marcar los ángulos mas sobresalientes, numerándolos desde la base hasta cerrar la figura. El Mission Planning, automáticamente numera cada obstáculo, al activarlos para planear el levantamiento.

Elevación y Azimut

Para cada ángulo numerado obtener la elevación correspondientes.

Tipo de Obstáculo

Anotar en esta parte el tipo de obstáculo de que se trate, por ejemplo: Cortina de árboles, Rocas, Edificios, u otros.



PROGRAMA DE COBERTURA

Estado: \_\_\_\_\_  
 Ejido: \_\_\_\_\_

Jefe de Brigada \_\_\_\_\_

PROGRAMADO									REPROGRAMADO										
No.de Polígono	Clave de Carta Topográfica	No. del Vértice	Dia Mes	Sesión	Horario de Medición		Tiempo Mínimo de Medición	Tipo de Equipo GPS		Dia Mes	Sesión	Horario de Medición		Tiempo Real de Medición en Horas		Equipo GPS Empleado	Pareja Asignada	Observaciones	
					Inicio	Término		PXII	D			Inicio	Término	Inicio	Término				

## INSTRUCTIVO DE LLENADO DEL PROGRAMA DE COBERTURA

Este formato es la base para asignar la carga de trabajo a brigadistas.

Y se elaborará en dos momentos:

En primera instancia se asignan los puntos GPS y/o vértices perimetrales o de poligonal de apoyo, a través de este formato.

Posteriormente el Jefe de Brigada lo complementará al hacer la reprogramación de sesiones.

Para su llenado se deberán atender las siguientes instrucciones:

### EN EL CONCEPTO

Estado

### SE ANOTA:

El nombre completo y la clave del estado correspondiente.

Ejido

El nombre y la clave del ejido a trabajar por la Brigada.

Jefe de Brigada

El nombre completo del Jefe de Brigada al que se está asignando la carga de trabajo.

Número de Polígono

El número del polígono ejidal en donde se lo calice el punto GPS por posicionar.

Clave de la Carta Topográfica

La clave de la Carta Topográfica en donde se encuentre ubicado el polígono ejidal a trabajar

Número del punto

La clave asignada al punto o vértice por posicionar en el ejido.

### PROGRAMADO

Día/Mes

La fecha programada en que será posicionado el punto o vértice por la brigada.

Sesión

La letra que identifica a la sesión programada para el punto por posicionar.

Horario de Medición  
Inicio  
Término

El horario en que dará inicio y término el posicionamiento del punto GPS o vértice programado.

Tiempo mínimo de medición

El tiempo en horas en que se deberá posicionar el punto programado.

Tipo de Equipo GPS  
PXII  
Dimensión

Una cruz (X) en la columna que corresponda según en tipo de equipo programado para el posicionamiento del punto asignado.

### REPROGRAMADO

Día/Mes

La fecha en que será posicionado el punto por la pareja de brigadistas.

Sesión	La letra que identifica a la sesión reprogramada para el posicionamiento del punto GPS o vértice.
Horario de Medición Inicio Término.	El horario en que dará inicio y término el posicionamiento del punto GPS o Vértice.
Tiempo Real de Medición	El tiempo en horas en que se hará el posicionamiento por la pareja de brigadistas.
Equipo GPS utilizado	El tipo de equipo que sea asignado a la pareja de brigadistas para el posicionamiento del punto (ya sea PXII o Dimensión).
Pareja de la Brigada Asignada	La clave con la que se reconoce a la pareja de brigadistas asignados para que realicen el posicionamiento del punto o vértice.
Oservaciones	Todos aquellos datos que complementen la información de este formato.

**ASIGNACION DE CARGA DE TRABAJO A BRIGADISTAS**

ESTADO \_\_\_\_\_

NOMBRE DE LOS BRIGADISTAS \_\_\_\_\_

CLAVE DE LA PAREJA \_\_\_\_\_

NOMBRE/CLAVE DEL VERTICE	UBICACION			TPO. DE TRASLADO AL VERTICE		FECHA Y HORA DE POSICIONAMIENTO				EQUIPO ASIGNADO		OBSERVACIONES
	CLAVE DEL EJIDO	No.DE POLI GONO	CLAVE DE CARTAS TOPOG.	LOCALIDAD	HORAS	No. DE SESION	DIA	INICIO	TERMINO	PXII	D	

**A CONTINUACION SE DAN A CONOCER LAS CEDULAS DE  
INFORMACION QUE EMPLEA EL INEGI PARA EL CONTROL DE LOS  
LEVANTAMIENTOS QUE SE EFECTUAN CON EQUIPO GPS.**



UBICACION GEOGRAFICA

1. Estado: \_\_\_\_\_ [ ][ ]  
NOMBRE

2. Municipio: \_\_\_\_\_ [ ][ ]  
NOMBRE

3. Control geodésico ejidal: \_\_\_\_\_ 1. SI  2. NO

4. Ejido o NCPE: \_\_\_\_\_ [ ][ ]  
NOMBRE

5. Polígono ejidal número: \_\_\_\_\_ [ ][ ]

REFERENCIA CARTOGRAFICA

6. Clave de carta topográfica 1:50,000 \_\_\_\_\_ [ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ]

DATOS DE LA ESTACION

7a. Monumento de: \_\_\_\_\_ Visible: SI  NO  7b. Placa de Aluminio 7c. Inscripción: INEGI

8. Clave del vértice: \_\_\_\_\_ [ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ]

9. Fecha: \_\_\_\_\_ Día [ ][ ] Mes [ ][ ] Año [ ][ ]

EQUIPO

10a. Tipo: G. P. S. 10b. Marca: ASHTECH 10c. Modelo: P. XII

UBICACION										REFERENCIAS	

Denominación de las referencias			Distancia al vértice		Azimut	
1.	2.		[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]°
3.	4.		[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]°
5.	6.		[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]°
7.	8.		[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]°
9.	10.		[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]°

ITINERARIO

16. Descripción:  
 Punto de partida: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ruta		3.- Tipo de camino o terreno	4.- Forma de traslado	5 Distancia recorrida Km.	6.- Tiempo empleado	
1.- Desde	2.- Hasta				Hrs.	Min.
16.1				[ ][ ][ ][ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]
16.2				[ ][ ][ ][ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]
16.3				[ ][ ][ ][ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]
16.4				[ ][ ][ ][ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]
16.5				[ ][ ][ ][ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]
16.6				[ ][ ][ ][ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]
16.7				[ ][ ][ ][ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]
16.8				[ ][ ][ ][ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]
Total				[ ][ ][ ][ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ]

M. de la ... con el ...  
 P. de ...  
 R. de ...

P. de ... [ ][ ] [ ][ ]

ELABORADO POR: \_\_\_\_\_ FIRMA \_\_\_\_\_

## INSTRUCCIONES DE LLENADO DE LA CEDULA

### C. 1.0 DE INFORMACION DE VERTICES GEODESICOS GPS

**OBJETIVO:** Obtener Información de los vértices Geodésicos (puntos GPS) que se establezcan para conocer su ubicación geográfica precisa.

**MOMENTO DE LLENADO:** Durante el trayecto o recorrido al vértice y al monumentar punto GPS de control geodésico ejidal. Se llenará una cédula por cada punto de control azimutal que se establezca.

**RESPONSABLE DEL LLENADO:** Brigadista.

Para su llenado se toman en cuenta las siguientes instrucciones:

**DONDE DICE:**

**ANOTA:**

UBICACION GEOGRAFICA  
3. Control Geodésico Ejidal

Una cruz (X) en el cuadro que corresponda.

DATOS DE LA ESTACION  
7a. Monumento de:

De qué Material es el monumento; de concreto o roca sana.

Visible

Una cruz (X) en el espacio correspondiente.

8. Clave del vértice

La clave asignada al vértice geodésico - punto GPS. Esta información se encuentra en la placa metálica o en el croquis y está conformada por la clave del Estado, la del Municipio y el Número consecutivo del vértice. Ejemplo para el vértice 001 del Municipio de Cuauhtémoc (017), en Chihuahua (08) la clave sería 08017001.

9. Fecha

El día, mes y año en que se realizó la monumentación del punto. Este dato aparece en la placa metálica.

Equipo  
10b. Marca

"Ashtech"

Descripción de las Referencias

La descripción de cada una de las marcas de referencia que se establecieron, especificando el material del cual se hicieron o sobre qué elemento ya existente se establecieron.

Distancia al Vértice

La distancia en metros, del vértice a cada referencia.

Azimut

El azimut que corresponde a cada referencia determinándolo a partir de la referencia al vértice.



**ITINERARIO**

**16.0 Descripción**

Punto de partida

Nombre de la localidad más cercana al vértice la cual se considerará como punto de partida.

**RUTA**

1. Desde

Los puntos extremos de cada tramo del cual se va a hacer la descripción, desde el punto inicial de la ruta hasta el punto al que se hace referencia. Utilizando el número de tramos necesarios para definir claramente el itinerario.

3. Tipo de camino o terreno

Tipo de camino utilizado en cada tramo del trayecto al vértice o tipo de terreno encontrado como brecha, enmontado, etc.

4. Forma de Traslado

Medio utilizado para el traslado en cada tramo descrito.

5. Distancia recorrida

Distancia aproximada en kilómetros en el tramo especificado.

6. Tiempo empleado

Tiempo utilizado en cada tramo en horas y/o minutos.

Total

En la primer columna el resultado de sumar las distancias recorridas en cada tramo y el tiempo empleado, en la segunda. En el caso de "minutos" anotar el dato que resulto de la suma sin convertirlo a horas.

17. Guía o persona que conoce la ubicación del punto

Nombre completo de la persona que conoce la ubicación del punto. Es importante que dicha persona sea de la zona.

18. Domicilio

Domicilio particular del guía, así como la localidad, municipio y estado en que se ubica su domicilio.

18c. Municipio

19d. Estado



UBICACION GEOGRAFICA

1. Estado: \_\_\_\_\_ NOMBRE \_\_\_\_\_

2. Municipio: \_\_\_\_\_ NOMBRE \_\_\_\_\_

3. Ejido o RPPF: \_\_\_\_\_ NOMBRE \_\_\_\_\_

4. Polígono ejidal número: \_\_\_\_\_

REFERENCIA CARTOGRAFICA

5. Clave de carta topográfica 1:50,000 \_\_\_\_\_

ESTACION GPS

6. Tipo de estación:

6a. Control geodésico ejidal

6b. Perímetro ejidal  6c. Poligonal de apoyo  6d. Perímetro grandes áreas

6e. Otro tipo  Especificar \_\_\_\_\_

7. Clave del punto GPS de control o vértice al interior del ejido: \_\_\_\_\_

LEVANTAMIENTO

8. Fecha de la sesión: \_\_\_\_\_  
Horario de la sesión: \_\_\_\_\_  
DIA MES AÑO

9. Inicial 9a. Hora local \_\_\_\_\_ Hora Min \_\_\_\_\_ 9b. Hora GMT \_\_\_\_\_ Hora Min \_\_\_\_\_

10. Final 10a. Hora local \_\_\_\_\_ Hora Min \_\_\_\_\_ 10b. Hora GMT \_\_\_\_\_ Hora Min \_\_\_\_\_

11. Clave de la sesión: \_\_\_\_\_

12. Coordenadas (Posición absoluta):

12.a. Latitud \_\_\_\_\_ 12.b. Longitud \_\_\_\_\_

12.c. Elevación: m. \_\_\_\_\_

EQUIPO

13.a. Receptor Modelo [RXI]  Dimensión  13.b. No. de serie: \_\_\_\_\_

14.a. Antena Modelo: \_\_\_\_\_ 14.b. No. de serie: \_\_\_\_\_

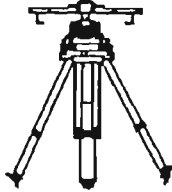
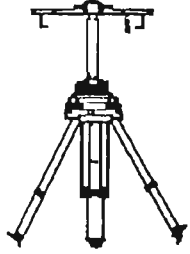
15. Cable de antena: Tipo: \_\_\_\_\_ Número de extensiones: \_\_\_\_\_ 15.b. Longitud total: m. \_\_\_\_\_

SISTEMA DE ALIMENTACION

16. Fuente de energía:  17. Baterías  18. Fuente de energía portátil  19. Pila

20. Otra fuente  (especificar) \_\_\_\_\_

POSICION DE LA ANTENA

Sin extensión: <input type="checkbox"/>	Con extensión: <input type="checkbox"/>
	

AL TURA DE LA ANTENA

21. Desde la antena hasta la placa (Altura inclinada)

INICIAL                      FINAL

m. 

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

 m. 

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

22. De la extensión (Altura vertical)

m. 

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

RASTREO SATELITAL (RESUMEN)

	1. Satélite	2. Canal	3. Código de Recepción			4. Elevación	5. Azimut	Observaciones
			C.A.	P.L.1	P.L.2			
23.	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	
24.	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	
25.	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	
26.	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	
27.	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	
28.	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	
29.	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	
30.	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table>	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	<table border="1" style="width: 20px; height: 15px;"></table> °	

31. Observaciones


ELABORADO POR:	FIRMA
NOMBRE(S)                      APELLIDO PATERNO                      APELLIDO MATERNO	

**INSTRUCCIONES GENERALES DE LLENADO DE LA CEDULA  
C. 1.1 REGISTRO DE OBSERVACIONES**

**OBJETIVO:** Obtener información complementaria de los puntos posicionados con equipo GPS para apoyar la verificación y análisis de los datos al momento de procesar la información.

**MOMENTO DE LLENADO:** Durante el posicionamiento de los puntos de control geodésico y/o durante la medición al interior del ejido.

Se llenará un formato al posicionar el equipo GPS en un punto dado y tantas veces como se reitere el posicionamiento en dicho punto.

**RESPONSABLE DE SU LLENADO:** Brigadista

Para su llenado se toman en cuenta las siguientes instrucciones:

**DONDE DICE:**

**SE ANOTA:**

**ESTACION GPS**

6. Tipo de estación

Una cruz (X) en el cuadro correspondiente de acuerdo al proyecto de medición que se realice como: Control Geodésico, Perímetro Ejidal Poligonal de Apoyo, etc.

7. Clave del punto GPS de Control o Vértice al Interior del Ejido

La clave del punto posicionado. Cuando se trata de punto GPS de control geodésico, tomar la clave de la placa metálica. Para el caso de vértices al interior del ejido la clave se compone de 4 dígitos y se encuentra en el croquis del área.

**LEVANTAMIENTO**

8. Fecha de la sesión

Día, Mes y Año en que se efectúa el posicionamiento (tiempo civil)

Horario de la sesión

9. Inicial

9a. Hora local

9b. Hora GMT

Hora local y Hora GMT (tiempo del Meridiano de Greenwich) en que inició el posicionamiento en horas y minutos.

La hora local se obtiene de cualquier reloj de pulso. La hora GMT se obtiene directamente de los equipos GPS.

En el equipo PXII, de la pantalla 2 en la parte superior derecha.

En el equipo Dimensión, del submenú 3 (OperationStatus) opción uno (CurrentPosition)

<p>10. Final  10a Hora Local  10b Hora GMT</p>	<p>Tiempo local y tiempo GMT en que terminó el posicionamiento. Esta información se obtiene de manera similar a la inicial.</p>
<p>11. Clave de la sesión</p>	<p>Clave correspondiente a la sesión que se realiza. Este dato se encuentra en el formato de Asignación de Carga de Trabajo a Brigadistas.</p>
<p>12. Coordenadas (Posición Absoluta)  12a. Latitud  12b. Longitud  12c. Elevación</p>	<p>Datos de latitud, longitud y elevación del punto posicionado, los cuales se obtienen de los equipos GPS:  Del PXII en la pantalla 2  En Dimensión del submenú 3 (Current Params) Opción uno (Posición Actual)</p>
<p>13. EQUIPO  13a. Receptor - modelo  13b. No. de serie</p>	<p>Una cruz (X) en el cuadro que indique el modelo de GPS utilizado.  Número de serie del receptor utilizado, el que aparece:  En PXII en la parte trasera del receptor  En Dimensión en la parte de abajo de la antena del receptor.</p>
<p>14.a Antena  14.b Número de serie de la antena</p>	<p>Modelo de la antena utilizada en el posicionamiento.  Número de serie de la antena:  En PXII se encuentra en la parte inferior de la antena.  En Dimensión el número de serie es el mismo del receptor.</p>
<p>15. Cable de antena  15a. Número de extensiones  15b. Longitud total</p>	<p>Número de extensiones utilizadas al conectar la antena con el receptor.  Longitud total en metros del cable utilizado para conectar la antena con el receptor.</p>
<p>FUENTE DE ENERGIA</p>	<p>Una cruz (X) en el cuadro correspondiente al tipo de energía utilizada durante el posicionamiento.</p>
<p>POSICION DE LA ANTENA</p>	<p>Una cruz (X) en el cuadro que indique la posición de la antena al momento del posicionamiento de acuerdo con los dibujos, según se use extensión o no.</p>
<p>ALTURA DE LA ANTENA</p>	<p>La altura de la antena al inicio y al término del posicionamiento.</p>
<p>21. Desde la antena hasta la placa (Altura Inclinada)</p>	<p>Altura entre la antena y la placa metálica o trompo que identifica el punto.</p>

<p>Inicial</p> <p>Final</p> <p>22. De la extensión (Altura Vertical)</p>	<p>Este dato se obtiene de promediar las lecturas hechas en las muescas de la antena.</p> <p>El dato se obtiene de manera similar al inicial. Altura de la extensión, en caso de que se ha ya utilizado.</p>
<p><b>RASTREO SATELITAL (RESUMEN)</b></p>	
<p>1. SATELITE</p>	<p>Número de satélite del que se está recibiendo la señal</p> <p>En PXII en la pantalla cero aparece este dato. En Dimensión se toma la información de la pantalla 2 (Current SV Info) del submenú 3 (Operation Status) Utilizar un renglón por satélite.</p>
<p>2. Canal</p>	<p>Número de canal en que fué "enganchado" cada satélite que está registrando información. En PXII el dato aparece en la pantalla cero. En Dimensión no presenta canal.</p>
<p>3. Código de Recepción</p> <p style="padding-left: 20px;">C.A.</p> <p style="padding-left: 20px;">P.L1</p> <p style="padding-left: 20px;">P.L2</p>	<p>Clave de acuerdo al código o tipo de señal que recibe el receptor utilizado en el posicionamiento del punto. PXII trabaja con códigos P y CA en sus dos bandas, por lo cual se debe verificar en cual de ellos está trabajando, esto se efectúa en las pantallas cero y uno del receptor.</p> <p>Dimensión trabaja siempre con código CA-L1.</p>
<p>4. Elevación</p>	<p>Elevación que guarda cada satélite al momento de llenar el formato.</p> <p>En PXII se obtiene de la pantalla 1</p> <p>En Dimensión del Submenú 3 Opción 2.</p>
<p>5. Azimut</p>	<p>Azimut que guarda cada satélite cuando se llena el formato.</p> <p>Este dato se obtiene de las mismas pantallas y submenús en que se obtuvo la elevación.</p>
<p>Observaciones</p>	<p>Todo aquello que complemente la información referente al rastreo de satélites.</p>



REGISTRO DE OBSERVACIONES  
PARA MÉTODOS  
ESTÁTICO RÁPIDO, CINEMÁTICO  
Y PSEUDOCINEMÁTICO

C. 1. 2

UBICACION GEOGRAFICA

\_\_\_ de \_\_\_

1. Estado:	_____	NOMBRE	____
2. Municipio:	_____	NOMBRE	____
3. Ejido o M.P.I.:	_____	NOMBRE	____
4. Polígono ejidal número:	_____		____

REFERENCIA CARTOGRAFICA

5. Clave de carta topográfica 1:50,000	_____
--	-------

TIPO DE LEVANTAMIENTO

6. Método de levantamiento			
6.1 Estático rápido	<input type="checkbox"/>	6.2 Cinemático	<input type="checkbox"/>
		6.3 Pseudocinemático	<input type="checkbox"/>

EQUIPO

7.a Receptor Modelo P.X11	<input type="checkbox"/>	Dimensión	<input type="checkbox"/>	7.b No. de serie:	_____
8.a Antena-Modelo:	_____	8.b No. de serie:	_____		
9. Cable de antena	9.a Número de extensiones:	<input type="checkbox"/>	9.b Longitud total:	m	_____

FUENTE DE ENERGIA

10. E. Eléctrica	<input type="checkbox"/>	11. Vehículo	<input type="checkbox"/>	12. Planta de energía portátil	<input type="checkbox"/>	13. Batería	<input type="checkbox"/>
14. Otra fuente	<input type="checkbox"/>	(especificar)	_____				

COORDENADAS (POSICION ABSOLUTA)

15.1 Latitud	_____	15.2 Longitud	_____
15.3 Elevación	m _____		

16. Observaciones	_____
	_____
	_____
	_____
	_____

RASTRO SATELITAL (RESUMEN)							SATELITES COMUNES PARA CADA PUNTO (PSEUDOCINEMATICO)																
No.	Satélite	Conal	Código Recep.			Elev.	Azimut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
			C.A.	P.L.1	P.L.2																		
16.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
17.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
18.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
19.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
20.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
21.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
22.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		
23.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																		

24. Clave de sesión  25. Fecha     26. Horario 26.a Inicial       HORA LOCAL GMT

27. Día juliano     26.b Final

28. Secuencia de posicionamiento \_\_\_\_\_ 29. Intervalo de registros \_\_\_\_\_

Clave del sitio	ALTURA ANTENA		No. Epocas	PDOP	OBSERVACIONES	Clave del sitio	ALTURA ANTENA		No. Epocas	PDOP	OBSERVACIONES
	Inclinada	Vertical					Inclinada	Vertical			

ELABORADO POR:	FIRMA



**INSTRUCCIONES DE LLENADO DE LA CEDULA  
C. 1.2 REGISTRO DE OBSERVACIONES PARA METODO  
ESTATICO RAPIDO, CINEMATICO Y PSEUDOCINEMATICO**

**OBJETIVO:** Obtener información complementaria de los puntos posicionados con equipo GPS, para apoyar y el análisis de los datos al momento de procesar la información. Este formato se utilizará solo para equipos móviles en los levantamientos: Estático Rápido, Cinemático y Pseudocinemático.

**MOMENTO DE LLENADO** Durante el posicionamiento de cada uno de los vértices que se midan en la sesión correspondiente por cada uno de los equipos móviles. Si el número de renglones es inferior al número de vértices a posicionar en la sesión, utilizar mas de un formato, indicando en la parte superior derecha el número de hoja.

**RESPONSABLE DE LLENADO:** Brigadista.

Para su llenado se tomarán en cuenta las indicaciones descritas en el Instructivo de llenado de Cédulas, complementándose con las instrucciones siguientes:

**DONDE DICE:**

**ANOTAR:**

**TIPO DE LEVANTAMIENTO**

Una cruz(X) en el cuadro correspondiente al método utilizado.

**RASTREO SATELITAL**

El llenado es de acuerdo a lo descrito en los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 de las instrucciones de llenado para la Cédula C. 1.1 Registro de Observaciones.

El espacio de satélites comunes, solo se llenará cuando se realice un levantamiento con el método Pseudocinemático, anotando en la parte superior la clave de cada uno de los puntos posicionados durante la sesión, en la parte inferior de la columna se marcará con una palomita, en el renglón correspondiente a cada satélite del que se esté recibiendo señal durante el posicionamiento de tal manera que se pueda observar de cuántos y cuáles satélites se registró información en cada vértice posicionado y qué satélites son comunes para todos los vértices.

**24. CLAVE DE SESION**

La letra correspondiente a la sesión que se esté levantando, A, B, C,.....n

**25. FECHA**

Día, Mes y Año en que se realiza la sesión.

**26. HORARIO: INICIAL - FINAL**

La hora de inicio y término de la sesión y en la columna de GMT, se anota la hora de inicio y término de la sesión correspondiente Tiempo del Meridiano de Greenwich, este dato se obtiene del receptor.

## 27. SECUENCIA DEL POSICIONAMIENTO

El apartado se llena conforme se visiten los vértices, utilizando un renglón por cada uno de ellos.

Clave del Sitio

La clave del vértice que se está posicionando.

Altura de la Antena

Inclinada

La altura medida de las muescas de la antena al punto por posicionar.

Vertical

La altura medida del centro de la antena hasta la punta de regatón del bípode.

Número de Epocas

El número de épocas a registrar en la memoria del receptor para cada vértice posicionado.

PDOP

El valor del PDOP observado durante el posicionamiento de cada vértice.

## CAPITULO XIII

### COMO SE DESARROLLAN LAS ACTIVIDADES DE MEDICION EN CAMPO

#### DEFINICION DEL PROYECTO DE MEDICION

A continuación se describe la forma en que INEGI, desarrolla sus actividades en el Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos (PROCEDE), para la medición de las tierras ejidales con equipos **GPS** de la marca **ASHSTECH**, modelos **PXII** y **DIMENSION**.

Para definir el proyecto de medición es necesario contar con el o los croquis detallados y aprobados por la Asamblea Ejidal, y considerar los siguientes aspectos:

a) Definición del método de levantamiento: Dependiendo de las condiciones del terreno y de la distancia entre los vértices que se van a posicionar se definirá el método y equipo a utilizar: estático, estático rápido, cinemático y pseudocinemático y el equipo P XII y/o DIMENSION necesarios.

b) Elaboración del programa de cobertura: La finalidad de esta actividad es planear, organizar y programar los trabajos de campo, para esto se deben considerar las características técnicas de los equipos GPS.

A partir del (Mission Planning) se calendarizará el programa de cobertura, dependiendo del área que se pretenda medir, perímetro ejidal, grandes áreas, áreas parceladas, etc. a cada una de ellas se le dará un tratamiento específico.

c) Periodo de levantamiento: con la información anterior se está en condiciones de poder definir el periodo de levantamiento, para saber en cuanto tiempo se realizará la medición completa de un área determinada.

d) Se deberá realizar una estimación de los materiales requeridos para llevar a cabo los trabajos durante todo el período que estará la brigada en campo.

De igual manera deberá hacer una estimación de recursos financieros requeridos por la brigada para cubrir sus gastos de campo.

Una vez definido el proyecto de medición, se entregará la calendarización, el programa de cobertura y la estimación de recursos para su revisión y aprobación.

#### METODOS DE LEVANTAMIENTO CON EQUIPOS GPS

Los equipos GPS tienen la capacidad de obtener distancias y coordenadas de sitios en cualquier punto de la tierra, siempre que no existan obstrucciones que interfieran la recepción de la señal enviada por los satélites.

Las coordenadas y distancias obtenidas por los equipos GPS son extremadamente precisas y se obtienen en tiempos relativamente cortos sin importar las condiciones ambientales y la visibilidad entre los puntos.

Los equipos GPS pueden ser usados para realizar trabajos de medición en las diferentes áreas del ejido como son:

- Lado de control (puntos GPS)
- Perímetro Ejidal
- Poligonal de Apoyo
- Perímetro de Grandes Areas
- Parcelas individuales

Mediante la implementación de alguno de los métodos de posicionamiento siguientes:

1. Estático
2. Estático Rápido
3. Cinemático
4. Pseudo - Cinemático

La selección del método a utilizar dependerá del área a medir y del tipo de equipo GPS disponible según la tabla siguiente:

AREA A MEDIR	EQUIPOS GPS	METODO	OBSERVACIONES
LADO DE CONTROL	PXII	ESTATICO	INVARIABLEMENTE
PERIMETRO EJIDAL	PXII o DIMENSION	ESTATICO, *ESTAT.RAP. PSEUDOCIN.	A ELECCION SEGUN DISTANCIA Y CONDICIO DEL TERRENO.
POLIGONAL DE APOYO	PXII o DIMENSION	ESTATICO, ESTAT. RAPIDO*, PSEUDO- CINEMATICO, CINEMATICO	SIMILAR
GRANDES AREAS	PXII o DIMENSION	ESTATICO, EST. RAPIDO*, PSEUDO- CINEMATICO, CINEMATICO	SIMILAR
PARCELAS INDIVIDUALES	PXII o DIMENSION	PSEUDO-CINEM. CINEMATICO	SIMILAR
* SOLO CON EQUIPO PXII			

La combinación de estos métodos permitirá por un lado, efectuar levantamientos con mayor rapidez, lo que traducirá en un aumento de la productividad y, por otro, optimizar al máximo el uso de los equipos GPS.

El determinar qué método utilizar y cuándo, dependerá de las condiciones prevalecientes en el terreno y de la disponibilidad del equipo, además se deberán considerar los procedimientos mínimos para cada uno de los métodos que se presentan a continuación.

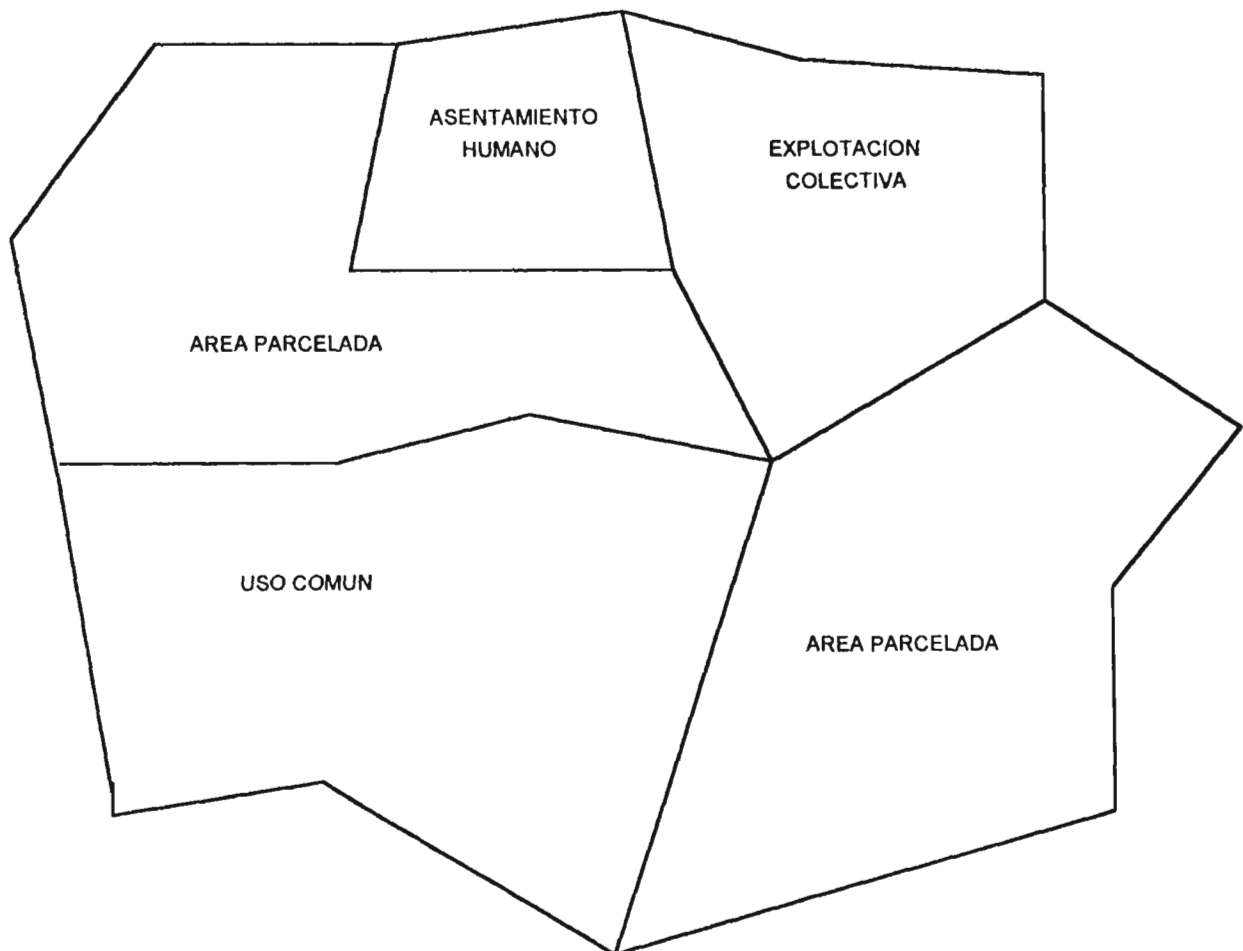
## 1. Estático

El procedimiento para realizar este método, consiste en posicionar cuando menos dos equipos PXII o Dimensión en los vértices por medir, cuando menos hora y media (en el caso de estar activado el Código P, en caso contrario se posicionará el doble de tiempo), de acuerdo al programa de medición (visibilidad y geometría de satélites)

La variante a implementar para este método es la utilización de redes, lo que permite darle una mayor solidez y redundancia al levantamiento y con ello garantizar que durante el procesamiento de la información, en GPPS y GEOLAB, se obtengan resultados con la precisión requerida.

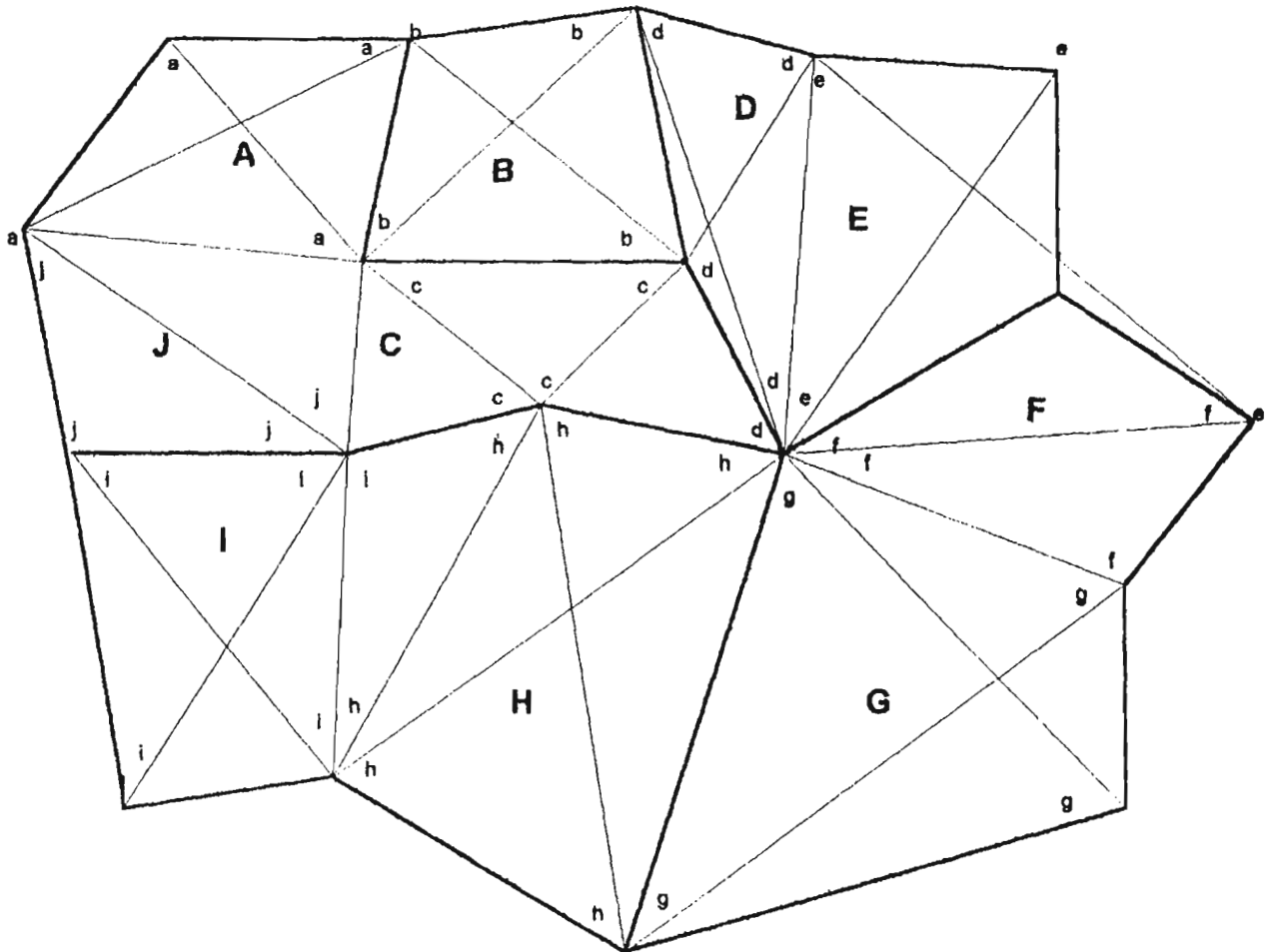
Vértices de un polígono ejidal que serán medidos con GPS por el método estático o estático rápido.

Figura 130



Líneas obtenidas durante la medición de vértices del polígono, utilizando redes.

Figura 131



ABC  
abc

Clave de la sesión  
Vértices medidos en la sesión correspondiente  
Líneas medidas durante la sesión

El diseño de la red se deberá efectuar antes de planear las misiones de posicionamiento y el responsable de su diseño será el Jefe de la Brigada.

#### PASOS MINIMOS PARA EL DISEÑO DE LA RED

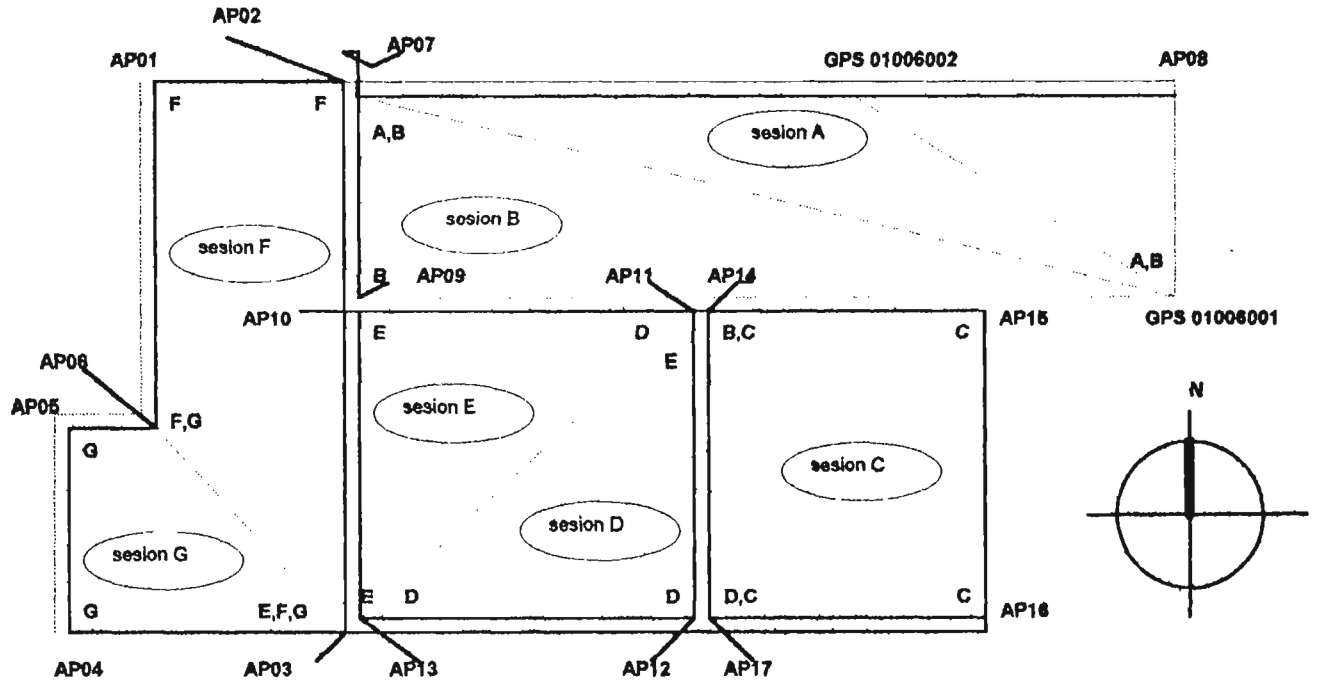
- Ligar la medición a los puntos GPS de control
- Formar figuras regulares en cada sesión
- Ligar los vectores del área a medir

- Determinar el número de sesiones requerida para medir todos los vértices del trabajo, considerando que algunos de ellos deberán posicionarse en más de una ocasión.

Ejemplo:

Si usamos 4 equipos GPS y el área a medir es la del croquis siguiente:

Figura 132



De tal forma, tenemos que para medir el área representado en el croquis y para cuestiones de este ejemplo se realizarían 7 sesiones, como se ilustra a continuación:

SESION	PUNTO A POSICIONAR
A	01006001, 01006002 AP07, AP08
B	AP07, 01006001, AP09, AP14
C	AP14, AP15, AP16, AP17
D	AP17, AP11, AP12, AP13
E	AP13, AP11, AP10, AP03
F	AP03, AP02, AP01, AP06
G	AP03, AP06, AP05, AP04

Cabe aclarar que para este ejemplo, se considera que el posicionamiento de los puntos GPS se realizará al mismo tiempo que se medirán los puntos AP08 y AP07 (SESION A) y el

tiempo de medición para esta sesión será de 1 a 3 horas dependiendo de la distancia del ejido al punto de la red activa.

En el resto de las sesiones (B a G), el tiempo por sesión será de 1 hora cuando se utilicen equipos PXII y DIMENSION (Método Estático).

## 2. Estático Rápido

Este método es muy similar al método estático tanto en su levantamiento como en el procesamiento.

Una de las variantes que presenta este método con respecto al estático es que sólo se puede realizar mediante la utilización de equipos GPS con código "P" y en los periodos que esté activado en los satélites.

Una segunda variante entre estos dos métodos es el tiempo de posicionamiento en cada punto o estación, mismo que dependerá del tamaño de las líneas por medir; así tenemos que en las líneas menores a 5 km. se posicionará durante 19 minutos, y por cada kilómetro adicional se posicionará 2 minutos más tal como se muestra en el cuadro siguiente.

TAMAÑO DE LA LINEA BASE	TIEMPO MINIMO	OBSERVACIONES
menor a 5 km.	10 MIN.	SE INCREMENTAN 2 MIN.
5 a menos 6 km.	12 MIN.	CADA KILOMETRO ADICIONAL
6 a menos 7 km.	14 MIN.	DE LA LINEA A MEDIR
7 a menos 8 km.	16 MIN.	
8 a menos 9 km.	18 MIN.	
9 a menos 10 km. etc.	20 MIN. Etc.	

Los procedimientos que se deben seguir para el posicionamiento de los puntos con el método estático rápido son:

1. Instalar el tripié, base nivelante y antena en el punto a medir
2. Medir la altura de la antena e introducir el dato en el receptor
3. Fijar el intervalo de registros a cada 19 segundos
4. Recolectar datos en cada punto a posicionar.

El número de aparatos que componen la brigada para realizar este método es de 3 como mínimo, pudiéndose incrementar su número en función de las características del ejido. Aquí también se recomienda la utilización de redes.

Es importante insistir que antes de iniciar el posicionamiento se verifica que se está recibiendo la señal con código "P", de no ser así no se podrá usar este método.

## 3. Cinemático.

En método cinemático es el más rápido en levantamientos con equipos GPS, pero al mismo tiempo es el más exigente en cuanto a la colecta de datos y procesamiento, por lo que es muy importante que el brigadista sea extremadamente cuidadoso al realizar el levantamiento para



evitar la pérdida de señal de los satélites enganchados. Los pasos a seguir para la utilización de este método son:

#### Inicialización

Para resolver las ambigüedades de la fase inicial y final, el método cinemático presenta tres variantes o métodos, mediante los cuales se puede iniciar el levantamiento, estos son:

- a) Inicialización a partir de una línea base conocida
- b) Inicialización por intercambio de antena
- c) Inicialización estática de una hora

De estos, el que más favorece la medición de vértices es el primero, el procedimiento a seguir se describirá más adelante.

#### Equipo

Se requiere de por lo menos 3 equipos GPS (DIMENSION o PXII), sin embargo se puede trabajar con más equipos a la vez, con el fin de obtener un mayor aprovechamiento.

#### Tiempos de posicionamiento

En cualquiera de las variantes o métodos para realizar el levantamiento cinemático, el tiempo de posicionamiento en cada estación (punto), será de 2 minutos con un intervalo de registros a cada 10 segundos, lo cual equivale a registrar 12 épocas por estación. Los puntos de inicio y final de levantamiento se posicionarán por 5 minutos (30 épocas). En caso de perder la señal durante el recorrido, deberá regresarse al punto anterior para realizar un segundo posicionamiento por un espacio de 5 minutos (30 épocas).

#### Planeación

Antes de realizar el levantamiento cinemático se requiere de una serie de actividades que permitan hacer una planeación, destacando:

- a) Elaboración de croquis
  - b) Marcaje de vértices
  - c) Ubicación de obstáculos
  - d) Disponibilidad de satélites
  - e) Horarios de posicionamiento
  - f) Selección de línea base para inicialización
  - g) Ruta de recorrido
- a) Elaboración de croquis
    - Elaborar o actualizar el croquis ejidal en su caso.
  - b) Marcaje de vértices
    - Marcar los vértices del área a medir grandes áreas, parcelas, poligonal de apoyo (cuando se requiera).
  - c) Ubicación de obstáculos.

Previo al levantamiento se deberá realizar un recorrido por el área a trabajar con el fin de:

- Conocer la ubicación de los vértices por medir, y en cada uno de ellos los obstáculos que interfieran en la recepción de la señal, llenando el formato "Ubicación de obstáculos".
- Ubicar obstáculos que interfieran en el recorrido (ruta) entre vértices.
- Eliminar aquellos obstáculos que impidan la recepción de señales siempre que no se atente contra la ecología del lugar.
- En el supuesto caso que no se localice trompo y estaca en el vértice por medir, será necesario que un miembro de la Comisión Auxiliar o de la brigada que realizó el marcaje identifique el sitio para recuperar las marcas.

d) Disponibilidad de satélites

Mediante el paquete MISSION PLANNING se determinará la disponibilidad de satélites (ventana satelital) seleccionando los horarios en que se tengan disponibles por lo menos 4 satélites y el PDOP (geometría satelital) sea igual o menor a 5.

e) Horarios de posicionamiento

Determinar los mejores horarios de medición considerando el número de vértices por medir, el tiempo de posicionamiento en cada estación, los tiempos de desplazamiento y las ventanas satelitales resultado del MISSION PLANNING.

f) Selección de la línea base para iniciación

Todo el levantamiento cinemático se iniciará invariablemente en puntos de una línea base previamente medida con equipo GPS con precisiones al centímetro, de preferencia uno de los lados de control acimutal establecidos en el perímetro, seleccionando aquel que se localice más cercano al área a medir y que favorezca la ruta de recorrido por presentar menos obstáculos.

g) Ruta de recorrido

Como parte de la planeación es conveniente definir la ruta de recorrido a seguir para posicionar cada uno de los vértices asignados. Dicha ruta deberá estar libre de obstáculos o en su defecto determinar la forma de evitarlos (ya sea rodeándolos o elevando la antena) de tal manera que no interrumpa la recepción de las señales.

Una vez definida la ruta o camino a seguir se marcará en el croquis.

Procedimiento en campo

- Instalar, centrar y nivelar el equipo en el punto de inicio (línea base conocida)
- Orientar la antena al norte
- Medir la altura de la antena e introducir el dato al receptor
- Introducir el nombre del sitio, intervalo de registros, elevación mínima de satélites, número de satélites y número de épocas a registrar, así como los demás datos que permita la pantalla, según el modelo de equipo GPS utilizado.

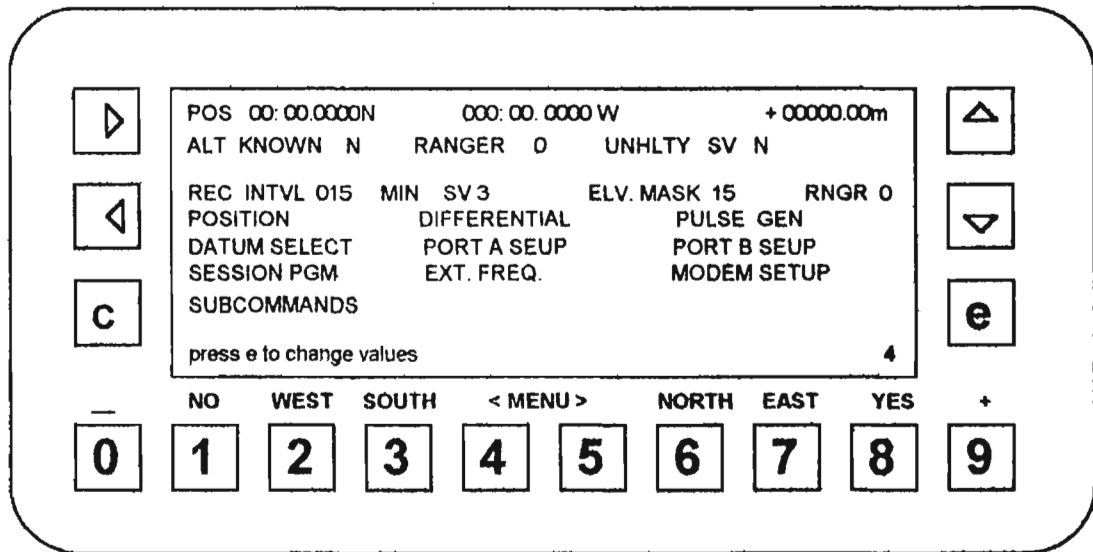
A) En equipos PXII en pantalla 4 y 9.

Primero se entra en la pantalla 4 y se introducen los siguientes datos:

- . Intervalo de registros (REC INT) 10
- . Mínimos de Satélites (MIN 3 SV) 4
- . Angulo de Elevación (ELV MASK) 15

En la pantalla siguiente se muestran encerrados en un círculo los parámetros mencionados.

Figura 133



Se presiona "e" para introducir y aceptar los datos.

Se entra a la pantalla 9 y se registran los siguientes parámetros:

- . Clave del sitio
- . Clave de la sesión
- . Número de serie del receptor
- . Iniciales del Operador
- . Número de serie de la antena
- . Mes y día
- . Código de identificación del sitio

- \* Número mínimo de satélites (MIN.SV) 4
  - \* Registrar información (RECORD) Y
  - \* Contador de épocas a registrar (EPOCH) 12
- (Esta información sólo se registra en los receptores móviles)

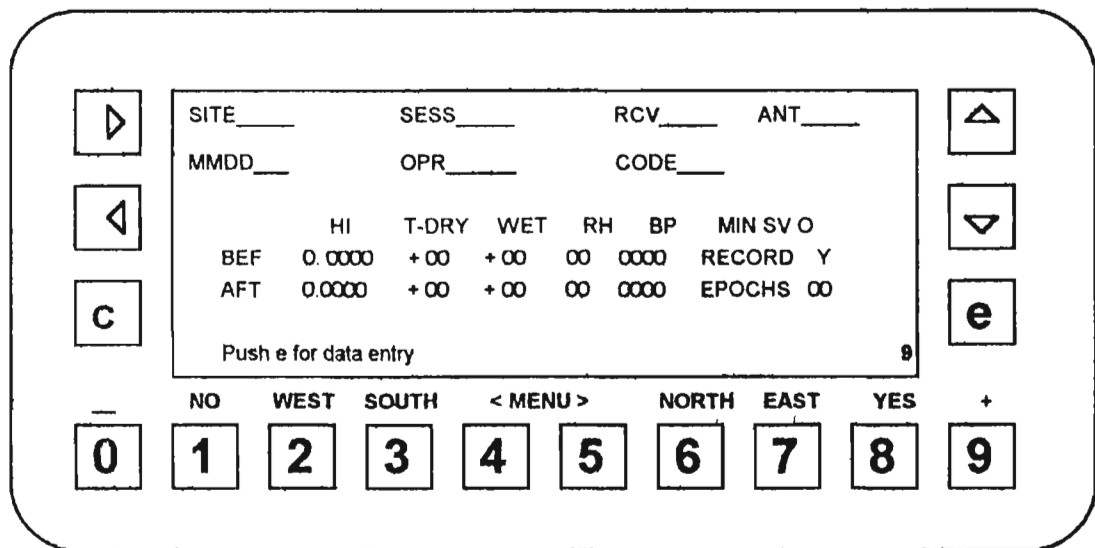


Figura 134

Se presiona "e" para aceptar y automáticamente se inicia el registro de datos, gradualmente el contador de épocas va bajando la numeración hasta llegar a cero. Al terminar, el receptor emite una señal "BIP", indicando que se ha completado la medición del vértice, y automáticamente la clave del sitio cambia a 4 signos de interrogación (????), los cuales permanecerán durante el tiempo que dure el desplazamiento del equipo al siguiente punto.

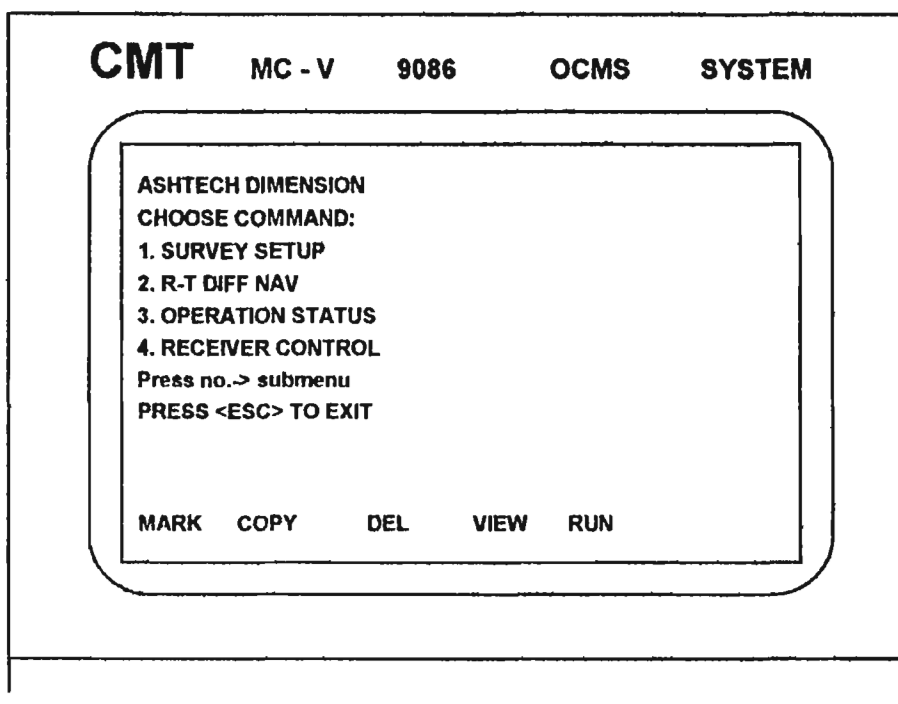
- . Mientras el receptor está registrando información, se llena la cédula C.1.1 "Registro de Observaciones"

#### B) En equipos DIMENSION

Se registran los parámetros en el menú 1 (SURVEY SETUP) OPCIONES 2 RCRDIN (Intervalo de registros), 3 ANT HT (altura de la antena) 4 MIN SV (mínimo de satélites). 5 EL MASK (ángulo de elevación) y 8 KINEMAT (cinemático).

- . Estando en la pantalla principal

Figura 135



- . Eligir el menú 1. SURVEY SETUP para introducir los parámetros del levantamiento y aparecerá el siguiente desplegado:

Figura 136

**CMT**    **MC - V**    **9086**    **OCMS**    **SYSTEM**

**SELECT SURVEY SETUP**

<b>1 - SITE ID</b>	<b>6 - SV SEL</b>
<b>2 - RCRD IN</b>	<b>7 - P\$DO KIN</b>
<b>3 - ANT HT</b>	<b>8 - KINEMAT</b>
<b>4 - MIN SV</b>	<b>9 - DIFF OPT</b>
<b>5 ELV MASK</b>	<b>0 - VIEW PRM</b>

**Press no. -> submenu**

**PRESS <ESC> TO EXIT**

- . Seleccionar la opción 2, aquí se introduce el intervalo de registro a cada 19 segundos, enseguida se presiona la tecla "enter" para aceptar.
- . Elegir la opción 3 e introducir la altura de antena.
- . En la opción 4 se registra el número mínimo de satélites a 4.
- . En la opción 5 se registra el ángulo de elevación a 15 grados sobre el horizonte.
- . Seleccionar la opción 8 para configurar el levantamiento como cinemático y aparece el siguiente submenú.

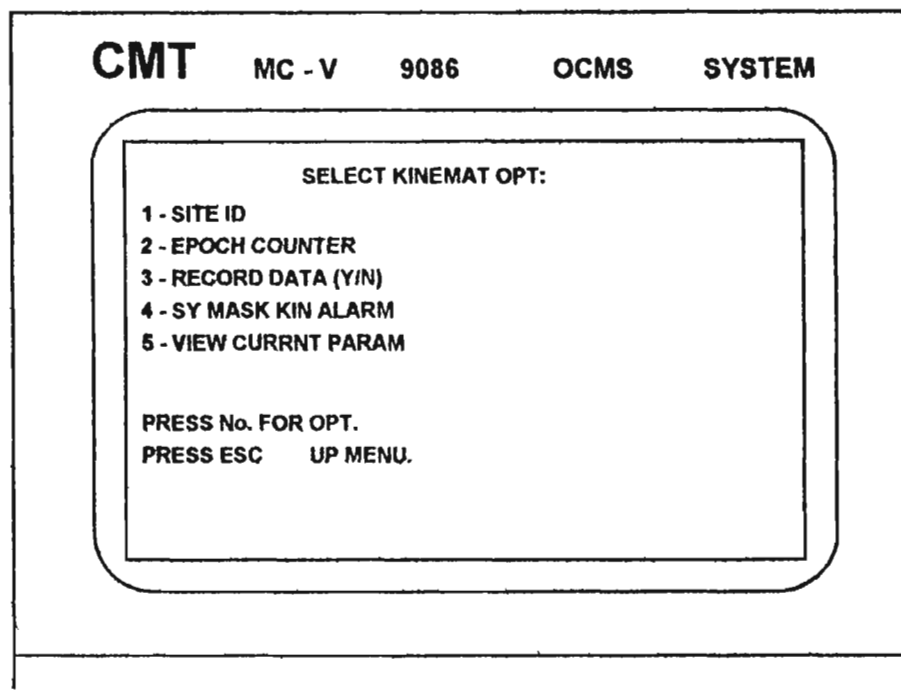


Figura 137

- . Seleccionar la opción 1-SITE ID y se introduce la identificación del sitio respectivo.
- . En la opción 3 se verifica que la opción de registro de datos esté en "Y", o bien simplemente se introduce la "Y".
- . Seleccionar la opción 2 e introducir el número de épocas a medir para el vértice, para este caso 12 épocas y se oprime "enter" para aceptar el inicio de registros.

Cuando el receptor termina de medir emite una señal "BIP" y se enciende el foquito de la derecha (luz roja), lo cual indica que las épocas seleccionadas han sido registradas en memoria, se procede a trasladarse al punto siguiente, así sucesivamente hasta cerrar la sesión en el primer punto posicionado.

El submenú 8 sólo es utilizado por los equipos móviles.

### **Cinemático con inicialización a partir de una línea base conocida**

#### **Procedimiento**

Para efectuar un levantamiento cinemático a partir de una línea base conocida se requiere de al menos 3 equipos GPS (PXII o DIMENSION), dos de los cuales permanecerán fijos durante todo el tiempo que dure la sesión y el tercero se mantendrá en movimiento posicionando todos los vértices que se desee medir.

Los equipos fijos se instalarán: uno en un punto de coordenadas conocidas, preferentemente en un punto del lado de control acimutal y el otro en un vértice de coordenadas desconocidas, que puede ser cualquiera de los vértices del área a medir (perímetro, grandes áreas, parcelas, etc.). El otro punto del lado de control será utilizado como punto de inicio y cierre por el o los receptores móviles que sean utilizados en el levantamiento.

Si se cuenta en el ejido con más de un lado de control los dos equipos fijos se instalan en puntos de coordenadas conocidas

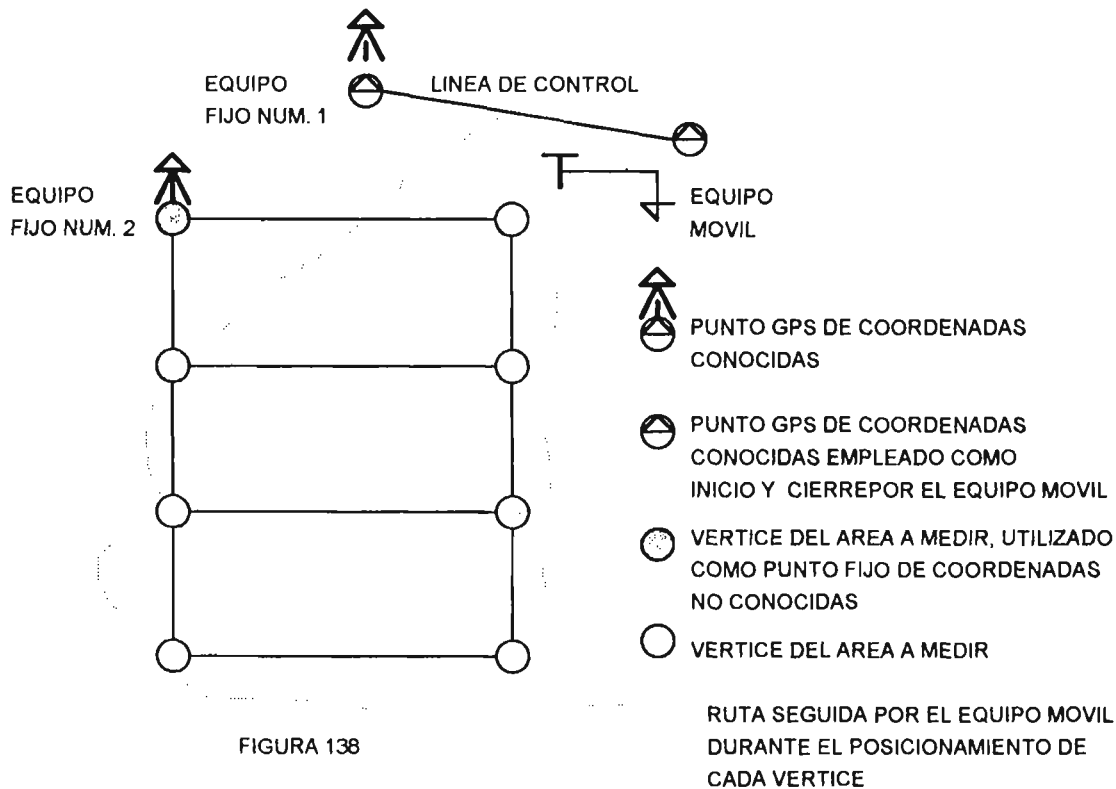


FIGURA 138

Todos los equipos que se utilicen (fijos y móviles) se programarán para captar la información con un intervalo de registro a cada 10 segundos.

Los equipos fijos deberán encender sus receptores simultáneamente, el receptor móvil lo podrá hacer de igual manera o bien después de que los fijos ya estén encendidos, pero nunca antes que estos, pues para el proceso se requiere recepción de señales en tiempos comunes.

Tanto receptores fijos como móviles deberán permanecer encendidos durante toda la sesión.

Al iniciar el posicionamiento el receptor móvil permanece por 5 minutos (30 épocas) en el punto asignado como de arranque, al concluir la medición en el punto, el receptor emite una señal "BIP", la cual indica que ya se registraron en la memoria del receptor el número de épocas programadas y se está en condiciones de trasladarse al siguiente punto por medir.

Antes de mover el (los) receptor (es), verificar que el nombre del sitio haya cambiado a ????. Esto lo hace automáticamente el receptor, cuando se le programa el número de épocas por registrar en cada punto. Posteriormente se desplaza a todos y cada uno de los vértices a medir, permaneciendo en ellos 2 minutos (12 épocas), al desplazarse entre vértice y vértice el brigadista deberá tener cuidado de no inclinar la antena o de no pasar cerca o por debajo de obstáculos que impidan la recepción de la señal.

**EJEMPLO DE UNA RUTA DE RECORRIDO A SEGUIR DURANTE  
LA MEDICION DE VERTICES**



Figura 139

En caso de que durante el desplazamiento o al estar posicionado en los vértices se pierda la señal será necesario regresar al punto anterior para un segundo posicionamiento de 5 minutos (30 épocas).

Si se utilizan 2 o más equipos móviles en el levantamiento, cuando el primero desocupa el punto de arranque, el segundo equipo se posiciona y realiza medición por 5 minutos (30 épocas), trasladándose posteriormente a los vértices que le corresponda medir, en ellos tomará registro por 2 minutos (12 épocas); de igual forma se realiza el arranque para todos y cada uno de los equipos que participen como móviles.



**METODO CINEMATICO CON INICIALIZACION A PARTIR DE UNA LINEA BASE CONOCIDA USANDO CUATRO EQUIPOS GPS**

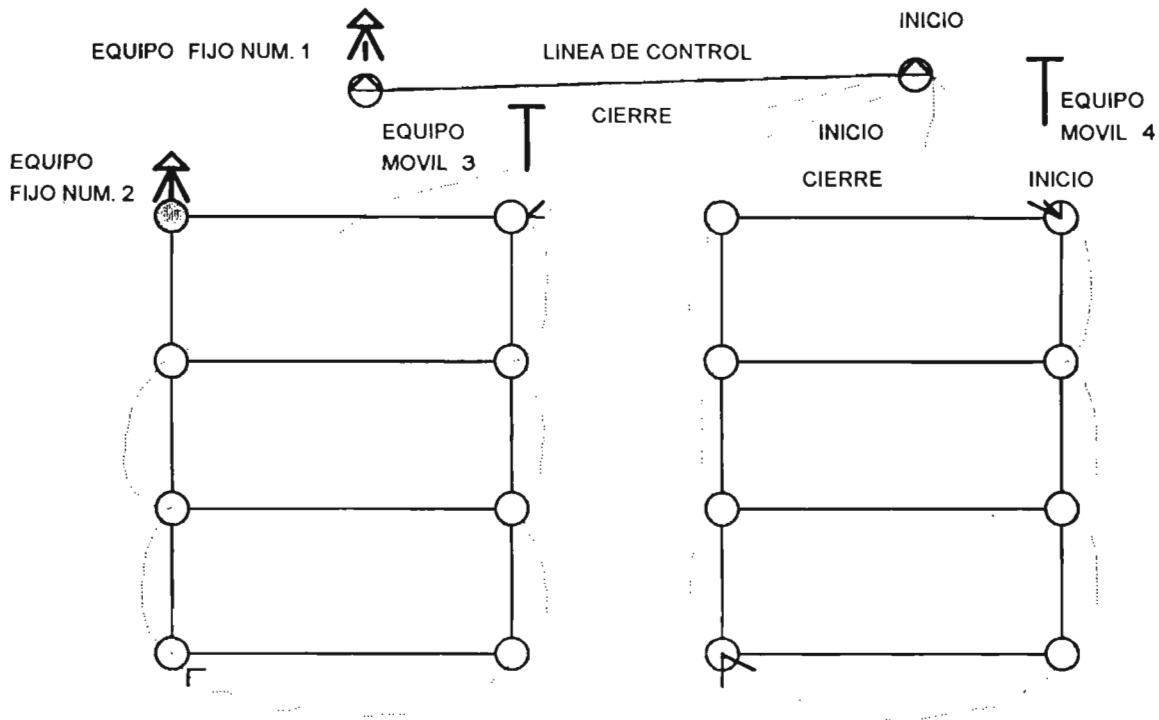


FIGURA 138



PUNTO GPS DE COORDENADAS CONOCIDAS UTILIZADO COMO PUNTO FIJO



VERTICE DEL AREA A MEDIR



PUNTO GPS DE COORDENADAS CONOCIDAS EMPLEADO COMO INICIO Y CIERRE POR EL EQUIPO MOVIL



RUTA SEGUIDA POR EL EQUIPO MOVIL DURANTE EL POSICIONAMIENTO DE CADA VERTICE



VERTICE DEL AREA A MEDIR, UTILIZADO COMO PUNTO FIJO DE COORDENADAS NO CONOCIDAS

## RECOMENDACIONES

Para favorecer los levantamientos en los ejidos, mediante la utilización del método cinemático de las áreas a medir que se encuentran dispersas o alejadas de los puntos GPS, se plantea la alternativa de establecer puntos de inicio y cierre de las mediciones. Esto se hará una vez que se hayan determinado que áreas del ejido se medirán utilizando este método.

Para ello, es conveniente que se seleccionen vértices del área por medir, para utilizarlos como puntos de control, de tal manera que las líneas (vectores) entre todos ellos, sean unidos, para conocer las distancias y coordenadas de las líneas base.

Estos puntos no deberán ser monumentados, sólo se deberán marcar utilizando material que garantice su permanencia durante el levantamiento de toda el área.

- Antes de iniciar el levantamiento se debe garantizar que todas las baterías de todos los equipos estén con carga completa.

- Para tener un mejor aprovechamiento del equipo se recomienda que el levantamiento cinemático se efectúe con 1 solo tipo de equipo (DIMENSION o PXII).

- Si en el polígono del ejido existen más de 2 puntos GPS, los equipos fijos se instalarán en cualquiera de ellos.

- Actualizar por lo menos semanalmente el almanaque para la determinación de ventanas en MISSION PLANNING.

- Para garantizar que los obstáculos serán librados es conveniente utilizar la extensión del bípode a su máxima altura.

- Para evitar contratiempos durante un levantamiento cinemático es conveniente instalar las dos baterías sobre la extensión.

- Los datos de nombre del sitio y número de épocas, se deberán introducir al receptor una vez que el bípode haya sido nivelado en el vértice.

- Durante el levantamiento, y aunque no se haya perdido la señal, se pueden tomar registros por 5 minutos (30 épocas) en uno de cada 10 a 12 vértices medidos, con el fin de tener redundancia en algunos puntos del levantamiento.

### 4. Método pseudo cinemático

**NOTA:-** En virtud de que este método de levantamiento con equipo GPS es demasiado complicado para emplearse, debido al excesivo tiempo que debe dedicársele para la planeación de la disponibilidad de satélites y a la probable pérdida de la señal de uno o varios satélites, que al ocurrir echaría a perder el esfuerzo empleado en el levantamiento; INEGI no emplea este método y personalmente no se recomienda su empleo ya que sus ventajas son nulas respecto al método cinemático. Para su conocimiento únicamente se hace una breve reseña sin entrar en detalle.

Este método tiene una gran similitud al método cinemático en la obtención de los datos en campo y al método estático en lo que respecta al procesamiento.

## COMO SE REALIZA EL LEVANTAMIENTO PSEUDO - CINEMATICO

### . Equipo

Se requiere por lo menos dos receptores GPS (Dimensión ó PXII), sin embargo se puede trabajar con más de dos equipos a la vez.

### . Tiempo de posicionamiento

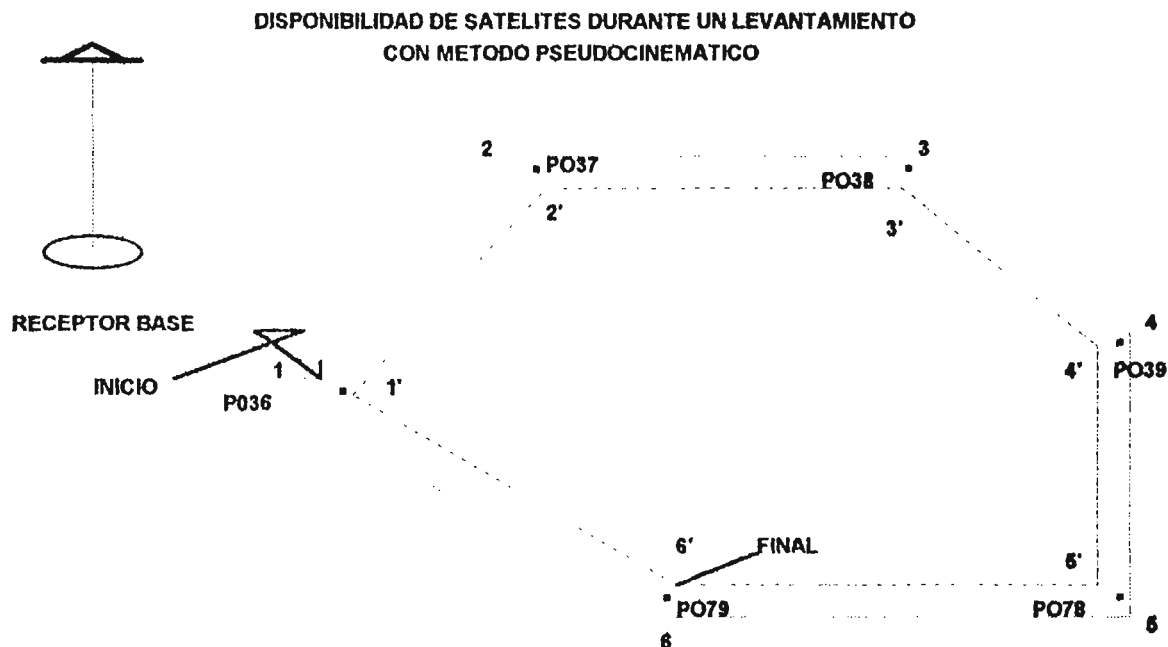
En el método Pseudo-Cinemático el tiempo de posicionamiento que se requiere para obtener datos en cada estación (punto) es de 5 minutos y dicha estación deberá ser posicionada una segunda ocasión por lo menos unas horas después de la primer visita, es decir, con el mismo receptor se deberá visitar dos veces cada uno de los puntos de la parcela o área asignada: Por ningún motivo se podrá hacer la segunda visita al punto con un receptor distinto al utilizado en la primer ocasión.

### . Intervalo de registros

El intervalo de registros a que se deberán programar los equipos GPS a utilizar es de cada 10 segundos, es decir, se requiere por lo menos de 30 épocas por ocupación, con lo cual se obtendrán 60 épocas por punto en las dos ocupaciones.

### . Disponibilidad de satélites

Antes de realizar un levantamiento Pseudo-Cinemático se requiere hacer, una planeación cuidadosa en donde se seleccionen los horarios en que se tendrá la presencia de por lo menos 4 satélites comunes durante el levantamiento. ya que para este método es condición particular contar por lo menos con 4 satélites comunes durante todo el tiempo de posicionamiento de las dos ocupaciones a realizar por cada estación.



**EN EL SIGUIENTE CUADRO SE MUESTRA LA DISPONIBILIDAD DE SATELITES DURANTE LAS DOS OCUPACIONES DE CADA VERTICE EN LA SESION**

SATELITES	P036		P037		P038		P039		P078		P079		OCUPACIONES
	1A	2a	1A	2a	1A	2a	1A	2a	1A	2a	1A	2a	
03	*	*	*		*		*		*		*		
05	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..
13	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..
15				*		*		*		*		*	
19	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..
18	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..	*..
09		*		*		*		*		*		*	

- \* RECEPCION DE LA SEÑAL DE LOS SATELITES QUE APARECEN POR EL LAPSO DE LA SESION
- \*.. RECEPCION DE LA SEÑAL DE LOS SATELITES QUE SE MANTIENEN CONSTANTES DURANTE TODA LA SESION, TANTO EN EL RECEPTOR O RECEPTORES MOVILES, COMO EN EL RECEPTOR BASE.

**Determinación de la ruta de recorrido**

Antes de iniciar el levantamiento se deben planear las rutas de recorrido hacia los puntos por medir, las rutas seleccionadas deberán estar libres de obstáculos para evitar la pérdida de señal.

Cuando existan obstáculos y estos puedan ser evitados, ya sea mediante el cambio de ruta para rodearlo o elevando la antena, se deberá señalar el sitio en el croquis en el cual se requiere modificar la ruta.

- Orientar la antena al Norte.
- Medir altura de antena e introducir el dato en el receptor.

- Introducir el nombre del sitio, así como los parámetros u observaciones pertinentes como son intervalos de registros a cada 10 segundos y el número de épocas requerido para medir el punto (30 épocas).

En el quipo PXII, en la pantalla 4 y 9 y en DIMENSION submenú 1 (SURVEY SETUP) OPCION 7 (PSDO KIN), 2 (RSRD IN) Y 3 (ANT HT)

- Tomar lecturas por 5 minutos en cada punto.

Al concluir la medición en el punto el receptor emite una señal "BIP", la cual indica que ya se registraron en la memoria del receptor el número de épocas programadas y se está en condiciones de trasladarse al siguiente punto por medir.

Antes de mover el (los) receptores verificar que el nombre del sitio haya cambiado a ?????. Esto lo hace automáticamente el receptor cuando se le programa el número de épocas por registrar en cada punto.

El equipo instalado en la estación (punto conocido) o base se mantendrá fijo durante todo el tiempo que dure la sesión, tomando registros de manera continua con el mismo intervalo de registros del resto de los equipos hasta que el último receptor móvil termine.

#### RECOMENDACIONES:

- Mientras se mueven los equipos que están midiendo las parcelas, se debe transportar la antena de manera vertical, es decir, que permanezca en la misma posición que cuando está tomando lectura en el punto, de esta forma se evitará perder la señal de los satélites, ya que el receptor continúa registrando datos. Durante el recorrido nunca se debe inclinar la antena.

- Para cada nuevo punto a posicionar se introducirá el nombre del sitio y el número de épocas a registrar (30).

- Cada estación (punto) deberá ser posicionado (ocupado) en dos ocasiones.

- Si durante el trayecto de un punto a otro se pierde la señal, será necesario regresar al punto anterior y volver a posicionarlo para continuar después según lo planeado.

- Finalmente, al ocupar por tercera vez el último punto programado y haber concluido la medición, se apaga el receptor y se comunica con el equipo que se encuentra en el punto base para dar por terminada la sesión.

Para el equipo que permanezca en el punto fijo, el procedimiento a seguir es similar al de un levantamiento estático, es conveniente utilizar tripié, mientras que para el equipo móvil debe usarse bípode.

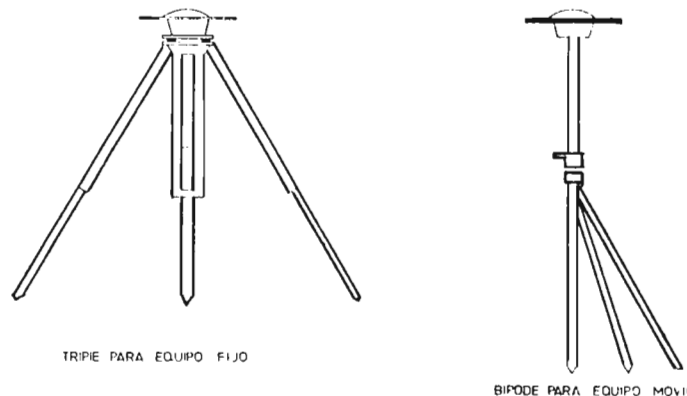


Figura 141

#### 5. Consideraciones especiales para la medición.

A) Cuando uno o varios vértices a medir se encuentran junto de un obstáculo que interfiera con la recepción de señales de los satélites, es recomendable acondicionar el área para garantizar la recepción de señales. Si no es posible garantizar lo anterior, es recomendable

(especialmente cuando se utiliza el método cinemático o pseudocinemático) dejar dichos vértices para que se midan en otra sesión, o bien por un método diferente.

- Es recomendable llevar en un croquis del área asignada, un cuidadoso registro de los puntos que se pueden medir por medio del levantamiento cinemático o pseudocinemático), y en éste mismo registrar los puntos que a criterio de la persona que va a realizar el levantamiento no sean convenientes, porque se puede poner en riesgo el levantamiento.

- Los puntos que presentan problemas, se medirán posteriormente con algún otro método que garantice su calidad y precisión, y para tal efecto se analizará el o los elementos que se ocuparán para levantar este tipo de puntos, tales como utilización de extensiones, desmontes, etc.

- Los puntos que se podrán posicionar serán todos aquellos que estén libres de obstáculos, o bien que los obstáculos que se encuentren no interfieran con la recepción de señal.

- Los puntos que no sean posibles de medir con equipos GPS porque las condiciones del sitio impidan el posicionamiento del equipo o la recepción de las señales, se marcarán en el croquis como pendientes, encerrando éstos en un círculo de color azul; además se elaborará un formato en el cual se indique cuál es el vértice que no se puede posicionar y en qué área se localiza éste para que sean medidos con Estación Total o Método indirecto (Fotografía Aérea)

- Para cada uno de estos casos que pudieran encontrarse en el desarrollo del trabajo, es de suma importancia que el responsable del levantamiento evalúe detalladamente la problemática y determine qué soluciones se puedan dar para cada caso en particular.

**RELACION DE VERTICES QUE NO SE PUEDEN POSICIONAR CON EQUIPO GPS**

ESTADO \_\_\_\_\_

MUNICIPIO \_\_\_\_\_

EJIDO \_\_\_\_\_

NO. POLIGONO	NO. VERTICE	TIPO DE AREA EN QUE SE LOCALIZA	OBSERVACIONES

B) Trasladarse al área de medición con tiempo suficiente, previo a la hora de inicio programada para la sesión. Esto ayuda a asegurar un inicio común en todos los receptores y disminuye la probabilidad de errores que a veces se cometen por falta de tiempo.

C) Descargar y respaldar diariamente la información levantada en campo y borrar los archivos del receptor una vez que ya se tiene el respaldo para mantener siempre una buena capacidad de memoria para los trabajos siguientes.

D) Antes de iniciar una medición, verificar que el equipo esté bien conectado, especialmente el equipo PXII, cuando se usa como equipo móvil, ya que el movimiento durante el traslado puede provocar que los conectores de la terminal de la batería se aflojen o suelten y se pierda momentáneamente el flujo de corriente, esto provoca que el receptor se reinicialice como si se apagara y encendiera de nuevo, cerrando al instante el archivo de medición y abriendo uno nuevo. En este caso se deben nuevamente introducir los parámetros al receptor y regresar al punto anterior, medirlo nuevamente dando el tiempo establecido para cada método cuando hay pérdida de señal y continuar con la medición.

E) Antes de posicionar el equipo, verificar que la antena, las partes de la extensión, el regatón y las patas del bípode o tripié estén bien atomillados, ya que de no ser así, permitirá que el aire mueva el equipo y existan errores en la medición del vértice.

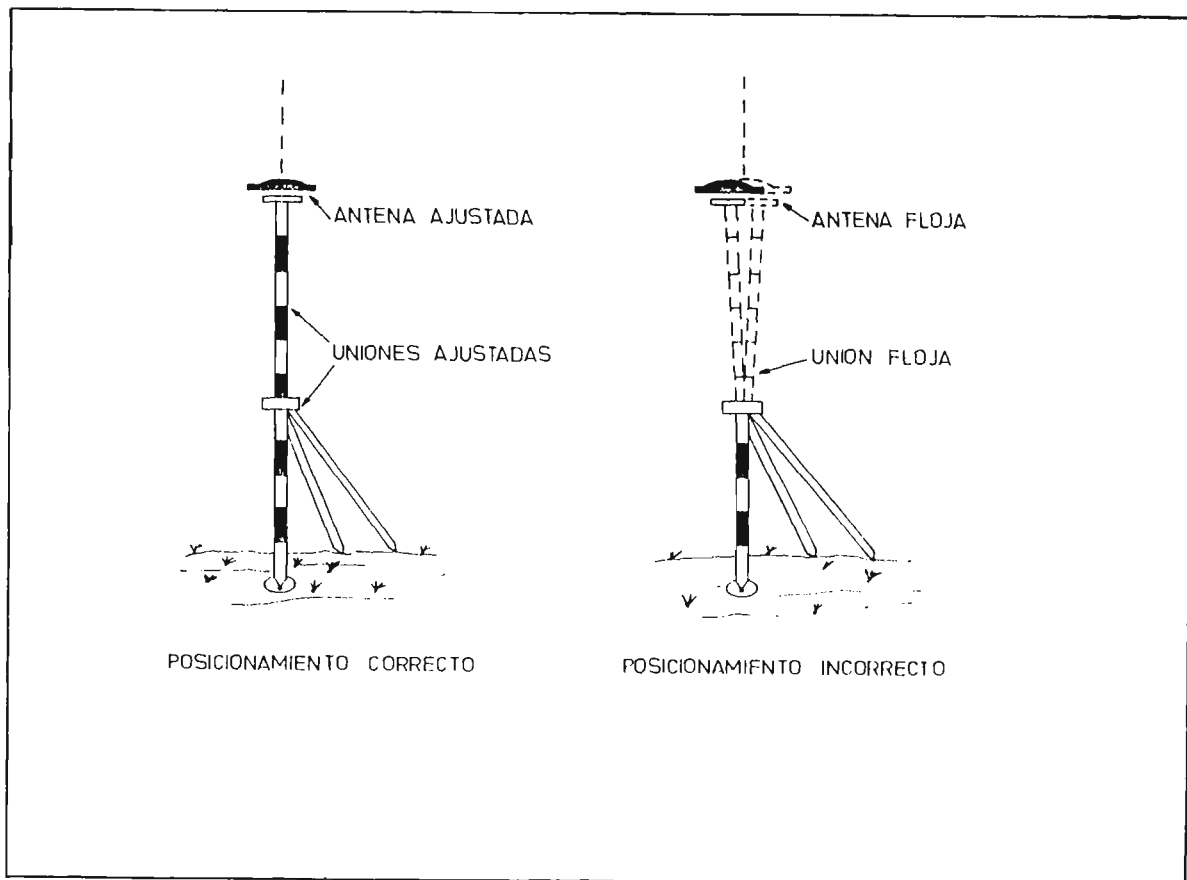


Figura 142

F) Cuando se utiliza la extensión a posicionar un vértice, se mide la altura inclinada de la marca a la antena, colocando primero la antena sin extensión y se anota en el formato de observaciones como altura inclinada, ésta es la que se introduce al receptor. Por separado se obtiene la altura de la extensión y se anota como altura vertical, hecho lo anterior se posiciona la antena sobre la extensión y se procede a realizar la medición, durante el procesamiento de la información obtenido en campo se tomará en cuenta la altura de la extensión, agregándola en el sitio adecuado.

G) Se debe observar que al posicionar un vértice no exista riesgo de que se caiga la antena, esto puede ser cuando se usa una extensión muy alta, cuando hace demasiado viento o por el desnivel del terreno, para prevenir esto, se puede colocar algún contrapeso en las patas del tripié o bípode o mantener sujeta la baliza con la mano, o utilizar tensores para evitar algún movimiento.

H) Revisar periódicamente que la plomada óptica de los equipos no esté desajustada, de estarlo, reportarla para su ajuste.

I) Cuando exista la necesidad de pasar el receptor de mano a mano sobre algún obstáculo, es muy importante que tenga el menor movimiento posible, por ejemplo sobre una cerca de púas o muro bajo, etc.

J) Cuando sea necesario utilizar un vehículo para trasladar el equipo de un vértice a otro, se debe evitar pasar por debajo o muy cerca de obstáculos que interfieran la señal, en este caso es mejor detener el vehículo y rodear el obstáculo a pie para después continuar el recorrido sobre el vehículo.

K) En los equipos de esta dimensión existen dos cables que se conectan a presión y se desconectan tirando de ellos, estos son: el que conecta el receptor con la unidad de control y el que conecta una batería al receptor, uno de ellos está conectado directamente al receptor y el otro se coloca independiente. al momento de desconectar cualquiera, es necesario tener precaución para no tirar del cable, ya que se puede desprender fácilmente, se tiene que desconectar tirando del elemento metálico que hace la conexión.



## CAPITULO XIV

### MANTENIMIENTO DE LOS RECEPTORES

#### Receptor Modelo PXII

##### Borrado de la Memoria

Muchos de los problemas que se encuentran en el receptor PXII pueden ser corregidos haciendo un borrado completo de la memoria interna y externa del receptor. Una limpieza de la memoria interna borrará los parámetros definidos en los menús 4 y 9 del receptor (ejemplo: intervalo de grabación, nombre del sitio y otros). Una limpieza de la memoria externa borrará el contenido de la memoria donde los archivos con la información recolectada fueron almacenados.

Para realizar el borrado de la memoria interna, conecte el receptor a la batería , presione firmemente la tecla con la flecha marcada hacia arriba...

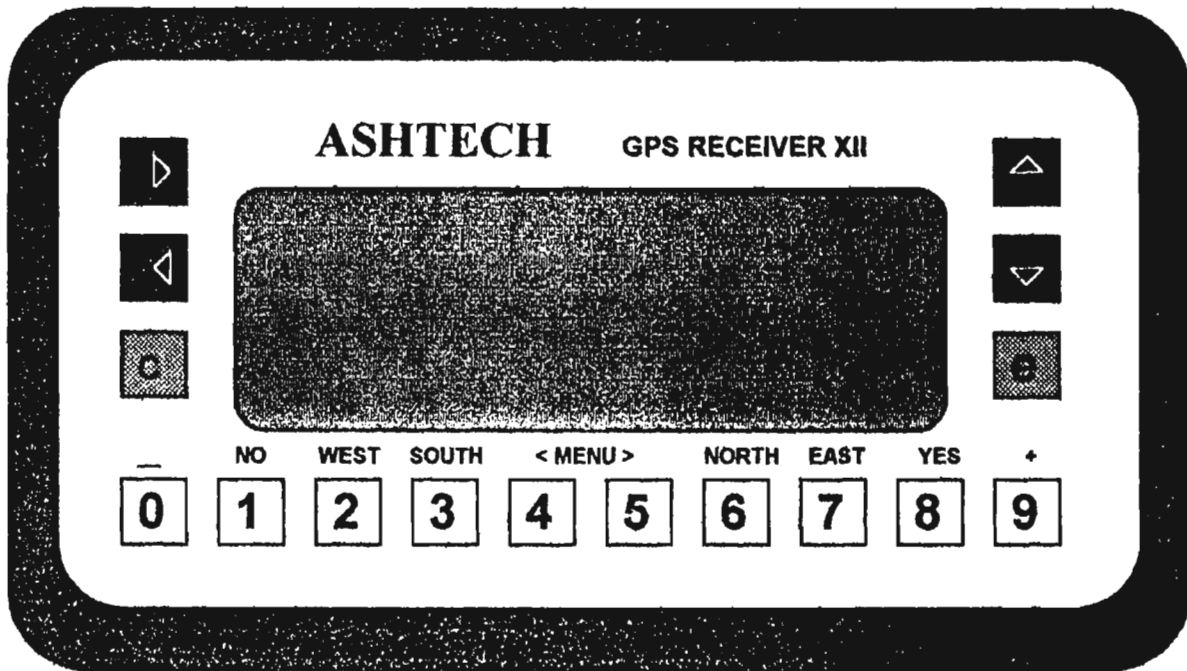


Figura 143

Mientras presiona esa tecla, aplique poder al receptor. Suelte la tecla una vez que el receptor ha sido encendido y verá la siguiente pantalla.

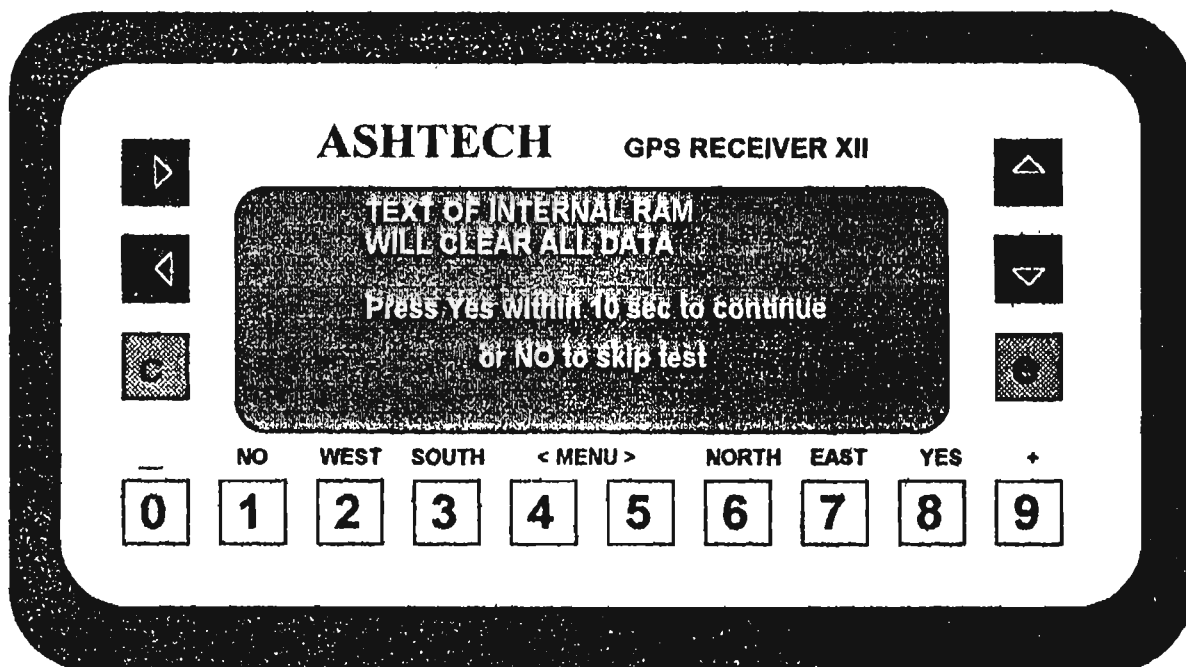
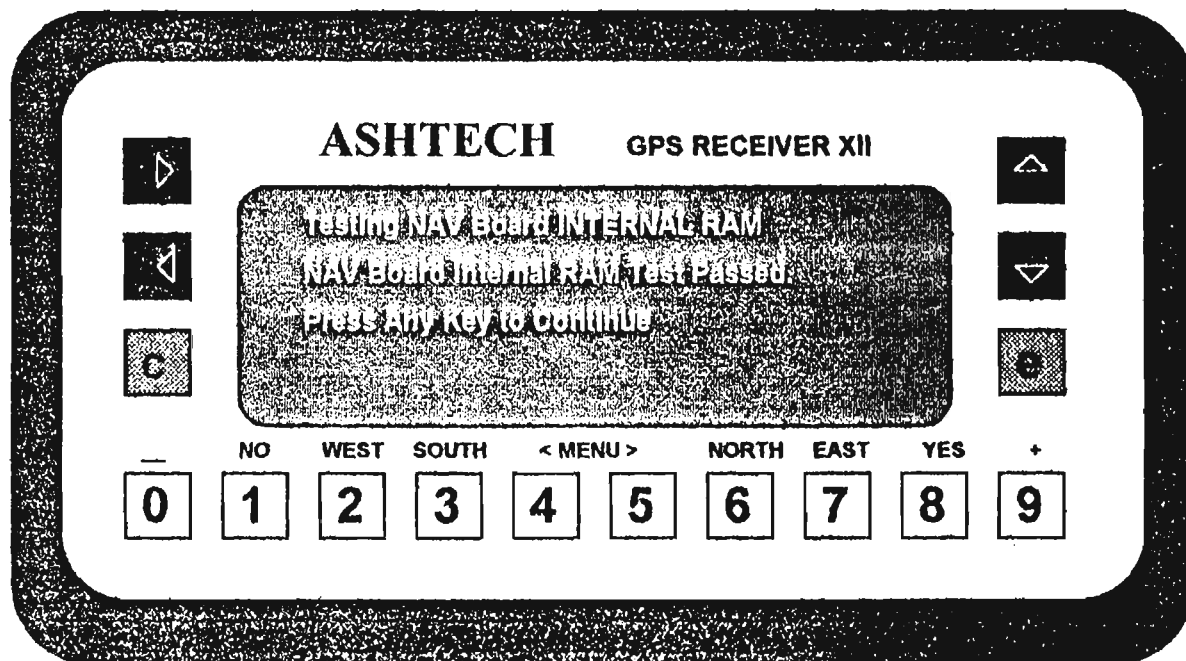


Figura 144

Debe presionar la tecla marcada con el número 8 dentro de los 10 próximos segundos después de haber soltado la tecla marcada con la flecha hacia arriba; si nó, el proceso de borrado no se llevará a cabo. Una vez que haya presionado la tecla 8 y el proceso de borrado se haya completado, usted verá el siguiente mensaje en la pantalla del receptor:

Figura 145



Presione cualquier tecla para seguir, **IMPORTANTE: NO APAGUE EL RECEPTOR SIN ANTES HABER PRESIONADO UNA TECLA, SI NO, EL PROCESO DE BORRADO NO SE COMPLETARA**, Esto concluye el proceso de borrado de la memoria interna.

NOTA: Cada vez que se complete el proceso de borrado de la memoria interna del receptor, este necesita ser conectado a la antena (si es que ya no lo está) para que el proceso de calibración del receptor se lleve a cabo. Esta calibración demorará alrededor de 10 minutos y usted sabrá que el proceso está tomando lugar pues el menú 0 (cero) mostrará el mensaje "CALIBRATION MODE" en el extremo inferior izquierdo. Una vez concluida la calibración, este mensaje desaparecerá. el modo de calibración es válido solo para los receptores PXII; los receptores Dimensión no tienen esta capacidad.

Para realizar un borrado de la memoria externa del receptor, proceda como sigue: presione la tecla marcada con la flecha hacia la derecha.

Mientras mantiene esta tecla presionada, aplique poder al receptor. Suelte la tecla solo después de haber encendido el receptor. Verá la siguiente pantalla:

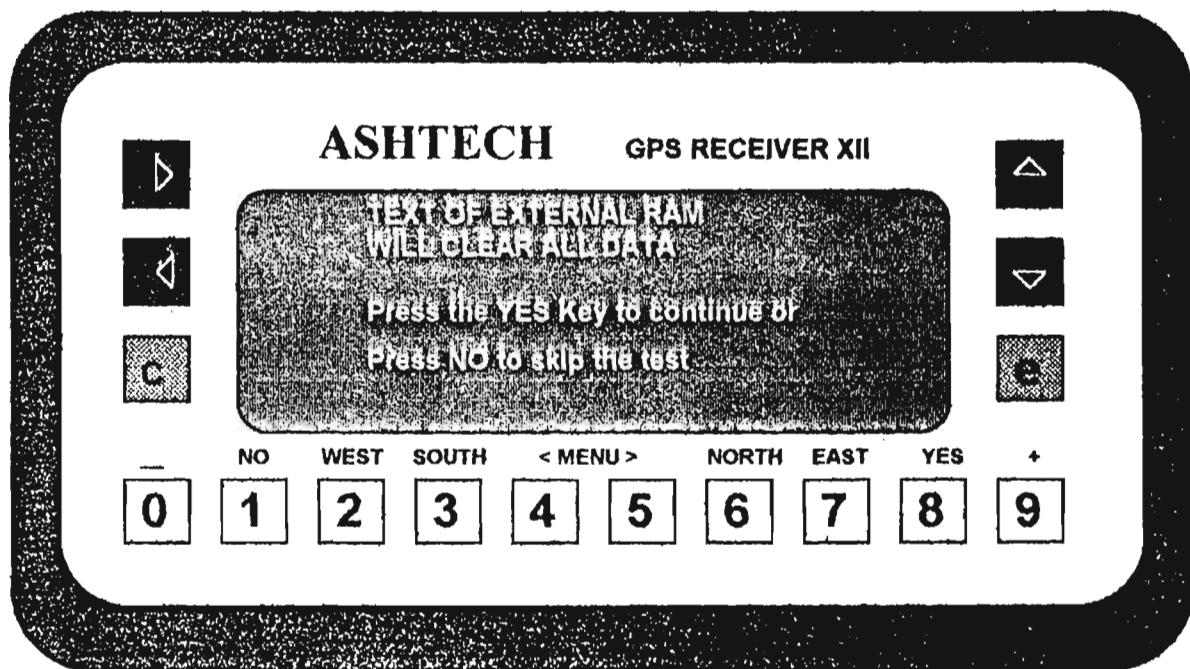


Figura 146

Debe presionar la tecla marcada con un 8 dentro de los próximos segundos después de haber soltado la tecla marcada con la flecha hacia la derecha, o si nó, el proceso del borrado no se llevará a cabo. Una vez que haya presionado la tecla 8 y el proceso de borrado se haya completado, la pantalla mostrará en siguiente mensaje:

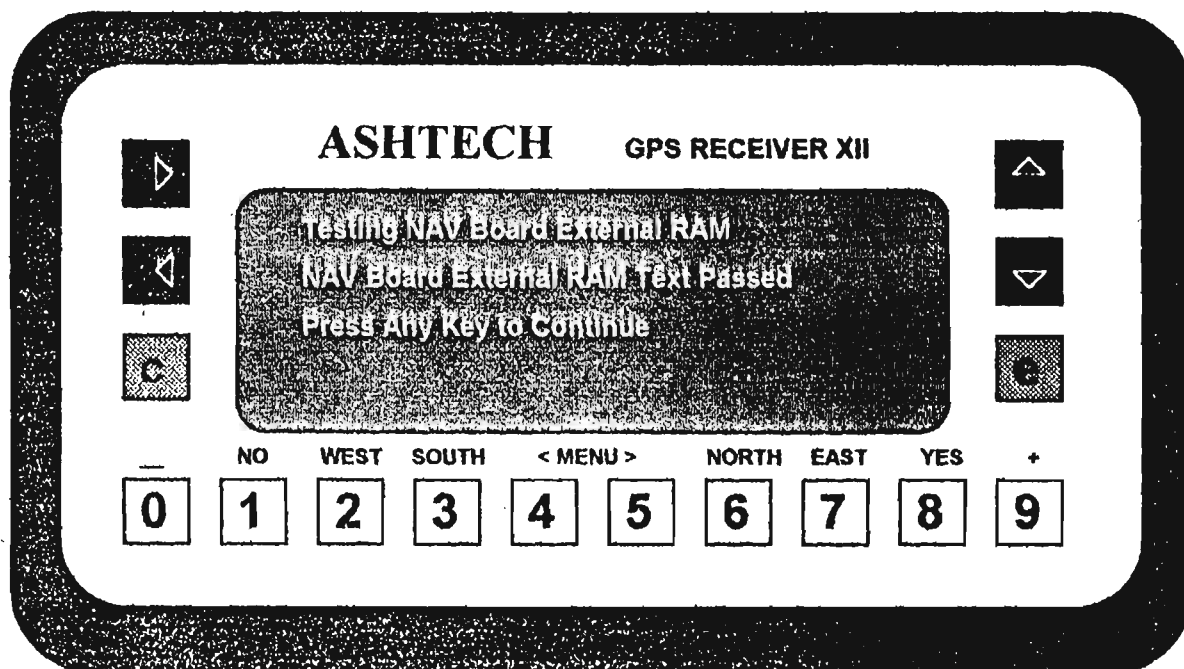


Figura 147

A continuación debe presionar cualquier tecla. **IMPORTANTE NO APAGUE EL RECEPTOR HASTA HABER PRESIONADO UNA TECLA, SI NO, EL PROCESO DE BORRADO NO SE COMPLETARA** . Con esto concluye el borrado de la memoria externa del receptor. Note que en este caso el proceso de calibración no se llevará a cabo.

El proceso de borrado de la memoria interna y externa siempre deben ser realizados juntos con una excepción: si tiene información almacenada en el receptor que no ha tenido la oportunidad de respaldar la información que contiene, realice solo el borrado de la memoria interna. El limpiado de la memoria externa borrará todos estos archivos y perderá esta información. Después de realizar el borrado de la memoria interna, haga un respaldo de la información y si esta es exitosa, entonces realice el borrado de la memoria externa.

#### **Prueba de Pérdida de la Memoria.**

La memoria externa del receptor es donde la información recolectada es almacenada. Cuando el receptor se apaga y se desconecta la batería externa de la unidad, la memoria externa es alimentada por dos baterías de litio ubicadas en la fuente de poder (tarjeta interna) del receptor. Este poder mantiene la información de la memoria del receptor aun cuando esté apagado. Las baterías de litio deberían durar alrededor de cinco años. Si las baterías se descargan o si la conexión entre la fuente de poder (donde las baterías están ubicadas) y la tarjeta de la memoria se suelta, la información almacenada en el receptor se perderá al apagar el receptor.

Si sospecha que el receptor está perdiendo información, hay una pequeña prueba que puede realizar para determinar si la causa son las baterías de litio o el cable que las conecta a la memoria. Para esto proceda como sigue:

Encienda el receptor y vaya al menú número 9. Ingrese cuatro caracteres cualesquiera definiendo el nombre del sitio (SITE) y apague el receptor. Espere dos segundos y encienda el receptor. Vaya al menú número 9. Si el nombre del sitio que definió todavía se muestra en el menú 9,

eso indica que no tiene problema con las baterías de litio. Podría todavía tener problemas con la conexión del cable de entrada de las baterías y la tarjeta de la memoria. Realice la siguiente prueba varias veces, sacuda el receptor con fuerza. Si el nombre del sitio todavía se muestra en el menú 9, entonces no existen problemas con pérdida de memoria en el receptor.

### **Bloqueo del Receptor**

Si el receptor se bloquea y su funcionamiento se congela en cualquier etapa, asegúrese de mirar el extremo superior derecho de la pantalla antes de presionar cualquier tecla. Podría haber un mensaje indicando donde está el problema. Si hay un mensaje, por favor anótelos y deje saber a los técnicos que los reparan.

### **El Receptor no se Engancha a Satélites**

Si el receptor no se engancha a satélites, por favor trate de determinar si el problema está en el receptor, en el cable de la antena, o en la antena. Esto puede hacerse intercambiando cables y antenas con unidades funcionando o intentando recolectar información con otro receptor.

## **RECEPTOR MODELO DIMENSION**

### **Borrado de la Memoria**

Este receptor tiene un borrado de memoria similar al del receptor PXII. La única diferencia es el método usado para realizar este borrado. Los resultados de los dos borrados son idénticos.

Para realizar el borrado de las memorias internas y externas en la unidad Dimensión, necesita usar la unidad de control CMT para comunicarse con el receptor. Cuando se encuentre en el menú principal del receptor Dimensión, seleccione la opción 4 RECEIVER CONTROL (control del receptor). Una vez en este submenú, seleccione la opción 4.- RCVR SYSTEM OPTION (opciones del sistema). En este punto se le dan las siguientes tres opciones:

1. CLEAR MEMORY (borrado de la memoria)
2. SAVE CURRENT SET (almacenar los parámetros seleccionados)
3. RESET THE RECEIVER (borrado de la memoria interna)

Si selecciona la opción 1. CLEAR MEMORY, el programa realizará un borrado de la memoria externa del receptor. Una vez que haya seleccionado esta opción, el siguiente mensaje aparecerá "CLEAR MEMORY OPTION: Press Y to clear mem" (opción de borrado de memoria: Presione Y para borrar la memoria). En este momento debe presionar la tecla Y en la unidad de control CMT para continuar con el borrado de la memoria externa. Luego verá el siguiente mensaje "PLEASE WAIT" (por favor espere). Si el borrado se completa satisfactoriamente, se mostrará el siguiente mensaje: "MEMORY TEST PASSED. 1024 K WORDS MEM" (el borrado de la memoria pasó). Presione la tecla ESC para volver al submenú RCVR SYSTEM OPTION.

A continuación seleccione la opción 3. RESET RECEIVER. Esta opción realizará un reset de la memoria interna del receptor. Una vez seleccionada esta opción el siguiente mensaje aparecerá "RESET RECEIVER OPT: Press Y to rst rcvr" (opción de borrado de la memoria interna: presione Y para comenzar). En este momento debe presionar la tecla Y en la unidad de control CMT. Cuando la prueba de borrado se haya completado, volverá al submenú RCVR SYSTEM OPTION.

### **Prueba de Pérdida de la Memoria**

Puede realizar la misma prueba que realiza en el receptor PXII para determinar si tiene problemas de pérdida de información en su receptor Dimensión. Esta prueba determinará si las

baterías de litio están inertes. Seguirá los mismos pasos de Ingresar una definición para el sitio (SITE ID) , apagar el receptor, encenderlo nuevamente y verificar si el nombre del sitio está todavía definido en el receptor. La única diferencia es el uso de la unidad de control CMT.

Cuando se encuentre en el menú principal del receptor Dimensión, seleccione la opción 4. RECEIVER CONTROL (control del receptor), luego la opción 4. RECEIVER CONTROL OPTS, y luego la opción 2. SITE PARAMETER SET. Verá las siguientes opciones:

- SITE ID
- ANTENNA HEIGHT
- EPOCH COUNTER

Seleccione la opción 1. SITE ID. Se le pedirá ingresar 4 caracteres para definir el parámetro SITE ID (identificación del sitio). Ingrese cualquier nombre deseado excepto ????. Después presionar la tecla ENTER, volverá al menú con las opciones recién mostradas. Apague el receptor por lo menos 2 segundos y enciéndalo nuevamente. Vuelva al menú principal presionando la tecla ESC dos veces consecutivas. A continuación seleccione la opción 3. CURRENT PARAMS. Obtendrá un listado de los parámetros definidos en el receptor. Uno de los parámetros en la parte inferior de la pantalla (página 1) muestra el parámetro ST:?????. Si en lugar de ????? vé el nombre del sitio recién definido, esto indica que las baterías de litio están funcionando correctamente.

Si ninguna de las sugerencias descritas en esta sección corrigen el problema que su receptor está teniendo, deberá enviar su equipo a reparación, siguiendo estas instrucciones:

-Si tiene problemas con el receptor, por favor envíe el paquete completo, y no solamente el receptor.

-Describa con el mayor detalle posible los problemas que está teniendo, y que ha hecho para tratar de corregir el problema. Mientras más detalles describa, más rápidamente el técnico podrá encontrar la falla y por lo tanto reparar el equipo.

- Se sugiere desarrollar un formato para ser usado a manera de identificación, cada vez que sea necesario enviar un equipo a reparación.

**A P E N D I C E**

## APENDICE

### ITRF VS NAD 27

#### International Terrestrial Reference Frame Vs Norte American Datum 1927

##### NAD 27

1. El NAD 27 es el sistema geodésico horizontal de referencia oficial para todos los levantamientos geodésicos horizontales que se realizan en México, independientemente de la metodología que se emplee, según lo dispuesto en las **Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos**, publicadas en el Diario Oficial de la Federación del 01 de abril de 1985, tal como se especifica en su artículo 1.5.

" 1.5 Todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico horizontal deberá estar referido al **Dátum Norteamericano de 1927**".

2. El NAD 27 está definido en forma "clásica", por medio de siete parámetros, principalmente geométricos, según el artículo 1.6 de las citadas **Normas Técnicas**.

" 1.6 Para los efectos del punto anterior, los parámetros del **Dátum Norteamericano de 1927**, son los siguientes:

Elipsoide	Clarke de 1866
Semieje mayor	6' 378, 206.4 m
Semieje menor	6' 356, 583.8 m
Vértice de origen	Meade's Ranch; Kansas, U.S.A.
Latitud de Origen	39° 13' 26".686 N
Longitud de Origen	98° 32' 30".506 W
Desviación de la Vertical en el Meridiano	-1".06
En el primer vertical	-1".79
Altura Geoidal en el origen	0.00 m
Azimut del origen de la estación	
Waldo (desde el sur)	75° 28' 09".64

3. El sistema **NAD 27** fué concebido por William Bowie a principios de este siglo, pensando que el error proporcional entre dos líneas base consecutivas fuera tal que permitiera una precisión de 1:25,000. Debido a diferencias en los métodos de observación, diversidad en equipos, ajustes matemáticos no rigurosos, movimiento de la corteza terrestre, heterogeneidad en la distribución de la información, entre otros aspectos, fué difícil alcanzar los objetivos de precisión, presentando errores en las coordenadas en forma aleatoria al mostrarse valores inconsistentes, como se demostró en el estudio realizado por la **Defense Mapping Agency (DMA)** en 1972, **Report of the DoD Geociver Test Program**.



## ITRF

1. El ITRF es un sistema geocéntrico de referencia internacional de muy alta precisión, pero que aún no tiene reconocimiento en México.

2. El ITRF está definido por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS), International Earth Rotation Service. Basado en el Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS80), propuesto por la Asociación Internacional de Geodesia, el ITRF está definido en forma dinámica por cuatro parámetros, los cuales se determinaron a partir de la observación redundante de coordenadas cartesianas tridimensionales, con técnicas extraterrestres, en diferentes puntos de la Tierra, orientado de tal forma que permite obtener un sistema convencional terrestre (CT). los valores que caracterizan a este sistema de referencia son:

Semieje mayor	6' 378, 137 m
Velocidad angular	7' 292, 115 X 10 <sup>-11</sup> rad/seg.
Constante gravitacional	3' 986, 005 X 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /seg <sup>2</sup> .
Factor dinámico de forma no normalizado	108, 263 X 10 <sup>-8</sup>

3. Dado que el ITRF es un Sistema CT definido dinámicamente, representa una herramienta natural para referir un levantamiento realizado por métodos satelitales.

4. El ITRF se dá para diferentes años, así como para diferentes épocas; es decir, el sistema se define para un año en función de la información disponible para una época específica. Ello implica que las coordenadas obtenidas están calculadas para un año en particular y se consideran todos los efectos geodinámicos, tales como la deriva continental, y el movimiento del eje de rotación terrestre, entre otros, todo ello para referir las coordenadas a las mismas condiciones y época, y así poder comparar los levantamientos hechos en dos o más momentos. Siendo el más actual, el ITRF 92 época 1988.0, es el Sistema Geodésico de Referencia propuesto para México.

Así pues, de lo expuesto anteriormente se puede concluir:

1. El NAD 27 y el ITRF son sistemas incompatibles entre sí, que no permiten llevar o transformar valores de un sistema a otro sin la introducción de severas deformaciones.

2. En caso de determinarse parámetros de transformación entre los dos sistemas, estos no pueden limitarse a un juego o juegos de parámetros, ya que tendríamos tales valores en forma discreta y se requiere conocerlos en forma continua para cualquier punto del país.

3. Como quedó anotado en el apartado del NAD 27, éste es inconsistente por sí mismo, de tal suerte que los parámetros de transformación derivados a partir de los puntos comunes con coordenadas en ambos sistemas serán inconsistentes.

4. Desde el punto de vista cartográfico, no existe ninguna diferencia significativa entre el ITRF y el WGS84, el sistema de referencia para el sistema GPS, ya que aunque están definidos dinámicamente en forma diferente, ambos están orientados de manera idéntica, teniendo sistemas CT, situación que dá por resultado que no haya ninguna diferencia en longitud, mientras que la diferencia en la latitud es igual a:

$$f'' = f \operatorname{sen} 2f / \operatorname{sen} 1''$$

Lo cual alcanza su máximo valor cuando  $f = 45^\circ$ , siendo la diferencia numérica de 0.000003 segundos de arco ó 0.0001 metros, valor que cartográficamente resulta despreciable.

5. Por lo tanto, se debe considerar como nuevo **dátum** el ITRF92 época 1988.0, pues es la mejor alternativa tecnológica disponible como Sistema Geodésico de Referencia para nuestro país.

6. Dado que el acervo geodésico y cartográfico existente en México es de gran importancia, y se encuentra referido al NAD27, deben generarse los algoritmos necesarios, así como la metodología adecuada, para transformar el NAD27 al ITRF92 época 1988.0 en forma única, sencilla y uniforme, a fin de que los errores que se puedan inducir en la transformación debido a la inconsistencia de los parámetros de transformación sea un factor constante.

## DIFERENCIAS NAD 83 VS ITRF

### En la Cartografía Topográfica sobre la Frontera México - E.U.A

en fechas recientes el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) de México decidió transferir todos sus productos cartográficos al ITRF (Marco de Referencia del IERS) 1992, época 1988.0 El ITRF 1992 (que abreviaremos en lo sucesivo ITRF) es un marco de coordenadas geocéntrico puesto en práctica por el **International Earth Rotation Service (IERS) de París, Francia**, en colaboración con varias agencias internacionales y centros académicos de investigación.

Hasta ahora el INEGI había usado el NAD27 como el dátum de referencia para todos sus mapas. Con la introducción del sistema de Posicionamiento Global (GPS), la posibilidad de obtener coordenadas geocéntricas exactas ha revolucionado drásticamente el campo de la geodesia. Con las técnicas actuales, por medio de satélites GPS se pueden obtener coordenadas geocéntricas con exactitudes de 3 cm. Estos resultados se han corroborado (Soler, et al., 1992a) al compararlos con datos más rigurosos conseguidos por medio de radiotelescopios de interferometría de muy larga base (VLBI), que tienen la desventaja de emplear una tecnología (hardware & software) más costosa y complicada de manejar.

El personal del Instituto analizó con detenimiento la opción de transformar todas sus bases de datos cartográficos al Dátum Continental NAD 83 para que fuera compatible con el **National Geodetic Survey (NGS) y el U.S. Geological Survey (USGS)**.

Sin embargo, el INEGI decidió, como solución práctica, aprovechar el mejor sistema geocéntrico de coordenadas disponible actualmente.

La nueva superficie del dátum de referencia para todos los productos cartográficos del INEGI será el elipsoide **GRS80** adoptado por la **International Association of Geodesy (IAG)** en la reunión celebrada en Camberra, Australia, en 1979. Consúltese Moritz (1992) para ver la definición de los parámetros elipsoidales tanto seleccionados como derivados del GRS80.

Las principales razones del INEGI para preferir el sistema de coordenadas ITRF fueron entre otras:

a) EL NAD 83 es un dátum horizontal fundamentalmente establecido antes de la era del GPS, aunque en él se incluyeron observaciones Doppler. Su sistema de coordenadas se relaciona al geocentro por medio de once estaciones VLBI (Very Long Base Interferometry) enlazadas con los puntos del NAD 83 durante la época en que se ajustaron originalmente los parámetros de la transformación. Ninguna de estas estaciones NAD83 se determinó con GPS y, a causa de la restricción de estar cercanas al observatorio de VLBI, su distribución en el territorio norteamericano no fué la más idónea, por ejemplo, una de ellas se encuentra en Alaska. Ninguna de las estaciones está en México y, en consecuencia, es plausible asumir que aún cuando la transformación pueda adaptarse a las observaciones clásicas en E.U.A., este modelo quizás no sea tan conveniente con respecto a las observaciones geodésicas clásicas mexicanas. De hecho, el INEGI no está utilizando sus datos geodésicos archivados para definir la geocentricidad de su sistema de referencia de máxima exactitud, sino que solo confía en los métodos y las técnicas tridimensionales actualizados del GPS.

b) Los parámetros adoptados por el NGS para la transformación entre un sistema de coordenadas geocéntrico y el NAD83 (solución 1986) se proporcionan en la tabla (Soler, et al., 1992b). Estos son "valores medios" resultantes de una solución de mínimos cuadrados; los valores reales pueden variar ligeramente de una región a otra en E.U.A. Como se vé, la discrepancia máxima

alcanza 2 metros de traslación en la componente y, a juicio del INEGI esta cantidad sobrepasa en exceso el nivel de ruido de las presentes observaciones con GPS.

Parámetros de transformación adoptados por el NGS entre NAD83 (1986) y el sistema geocéntrico ITRF 89 (VLBI) (11 puntos en E.U.A.).

De	Hacia	Número de Obsvns.				Traslaciones			Rotaciones Escala			
		No de			$\sigma$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\delta \epsilon$	$\delta \psi$	$\delta \omega$	$\delta s$
		Est.	Orig.	Final	cm	cm	cm	msa	msa	msa	$\times 10^{-8}$	
NAD 83	ITRF	11	33	33	17	-91.9	201.8	48.4	-27.5	15.5	-10.7	0.00
(1986)	89					+2.3	+2.4	+2.6	+1.0	+0.7	+0.6	+0.28

NOTAS:-  $\sigma$  es el error medio cuadrático del ajuste,  $\delta \epsilon$ ,  $\delta \psi$ ,  $\delta \omega$  son rotaciones diferenciales (expresadas en milisegundos de arco sexagesimal) respectivamente alrededor de los ejes x, y, z, del primer sistema coordenado con el fin de conseguir paralelismo con los tres ejes del segundo sistema. Rotaciones contrarias a las agujas del reloj vistas desde el exterior de los ejes coordenados son consideradas positivas.

c) El INEGI está en proceso de renovar todos sus bancos de datos digitalizados; por consiguiente, tiene planes para modificar próximamente la publicación de cartas comprendiendo todas sus escalas, desde cuadrantes topográficos hasta representaciones temáticas.

Al considerar la cantidad de trabajo que representa la creación y revisión de estos bancos de datos geoespaciales, se llegó a la conclusión de emplear el mejor sistema geocéntrico de referencia existente. Este debe ser un sistema de referencia compatible con las observaciones en tiempo real de GPS y que no necesite transformaciones posteriores.

El Instituto adquirió un número importante de receptores GPS y está comprometido en una campaña ambiciosa que se inició en 1992 (Alvarez García, et al., 1992), para cubrir todo el país con puntos GPS que abarquen una densificación conveniente para aplicaciones catastrales y de Sistema de Información Geográfico (SIG). El uso del marco ITRF proporcionará al INEGI el sistema de coordenadas geocéntrico mas apropiado que los métodos GPS puedan efectuar directamente, evitando transformaciones adicionales de las coordenadas GPS ya determinadas con anterioridad.

e) El INEGI estableció una red de 14 estaciones GPS fijas de rastreo continuo espaciadas uniformemente por todo el país. El Instituto está interesado en proporcionar coordenadas geocéntricas de alta calidad a un amplio número de usuarios mexicanos de GPS. Esto es congruente con las exactitudes actuales que los receptores GPS pueden obtener ayudados por la precisión de las efemérides GPS accesibles a través de diferentes fuentes. Se consideró innecesario el cambio o la transformación de estas coordenadas a un segundo sistema de carácter pseudogeocéntrico. La selección del ITRF asegura que las observaciones desde las estaciones de rastreo permanentemente localizadas en México estén referidas directamente a un marco espacial rigurosamente geocéntrico. Básicamente, este es el procedimiento utilizado por todas las estaciones fiduciales pertenecientes a la red global Internacional GPS Geodynamic Service (IGS) y con la que INEGI eso era poder participar de manera activa.

d) Durante el último congreso de la Federación Internacional de Geómetras (FIG), que tuvo lugar en Helsinki, Finlandia, en junio de 1990, se presentó una resolución a los países miembros (México entre ellos), en la que se les invitaba a considerar la adopción del sistema geocéntrico ITRF cuando se planificara la actualización de sus datums. De forma similar, otros países latinoamericanos, en su búsqueda por actualizar el datum de América del Sur, adoptaron una alternativa semejante que utilizará un sistema de coordenadas compatible con GPS e ITRF. Esta parece ser la tendencia general a medida que se confirman las grandes exactitudes de las observaciones GPS. Además, la geocentricidad absoluta del ITRF hace que este sistema de coordenadas sea válido para todo tipo de investigaciones científicas. Dicha posibilidad es de gran interés para México, donde la NASA tiene establecidos cuatro puntos monumentados para realizar observaciones **Satellite Laser Ranging (SLR)**. También el Institute Géographique National (IGN) francés ha instalado una estación de rastreo permanente DORIS y, finalmente, investigadores de distintas universidades norteamericanas y mexicanas están uniendo esfuerzos para estudiar las deformaciones de la corteza terrestre en Baja California. El INEGI pretende evitar una dualidad de sistemas de referencia, uno para levantamientos y cartografía; otro para trabajos científicos más precisos: Geodesia, Geofísica, Oceanografía, entre otros.

f) Por último, si se solicita, el INEGI puede proporcionar las coordenadas en el datum NAD83, a cualquier usuario interesado, simplemente aplicando los parámetros de transformación adoptados por el NGS. Desafortunadamente, la exactitud de estos parámetros puede no estar al nivel de las observaciones GPS disponibles hoy en día. La tecnología del GPS es capaz de determinar coordenadas geocéntricas con tan solo unos centímetros de error y el INEGI no quiso ignorar la realidad de esta premisa tan importante. En la evaluación final se consideró al ITRF como un marco de referencia aceptable, reconocido internacionalmente, y con varias ventajas sobre el NAD83. Sin embargo, una vez que se conozcan las coordenadas en cualquiera de los datums, las transformaciones entre ellos podrán realizarse de forma directa y sin inconvenientes.

¿Cuáles pueden ser las consecuencias de la decisión del INEGI? Las consecuencias prácticas deberán ser mínimas, como saben los que entienden la teoría matemática de las transformaciones estándares de semejanza. Las únicas áreas con posibles conflictos podrían surgir cuando se comparen las coordenadas de las estaciones situadas en o cerca de la frontera entre México y Los Estados Unidos.

Con certeza, las diferencias entre NAD 83 y el ITRF no tendrán efecto sobre la representación gráfica de cartas que se solapan en la frontera de los dos países. Las cartas topográficas convencionales se reproducen a escala 1:20 000. Considerando esta variación hipotética máxima de 2 m. en cualquiera de las coordenadas, como se indica anteriormente, esta se traduciría en una diferencia de solo 0.1 mm en la localización de cualquier punto representado en la carta. Tal valor está por debajo del poder máximo de separación (0.25mm) del ojo humano. En conclusión, las diferencias entre el NAD 83 y el ITRF serán imperceptibles para las cartas topográficas, cuando menos, hasta escalas 1:20 000.

Con respecto a las marcas geodésicas en la zona fronteriza, una vez que se efectúe la transformación del NAD 83 al ITRF, o a la inversa, la coincidencia entre coordenadas deberá estar al nivel de exactitud implícito en los valores de los parámetros empleados en dicha transformación. Es obvio que los resultados tridimensionales de GPS necesitan una transformación para relacionarlos con el NAD 83, que es un datum horizontal, y este paso puede introducir ciertas ambigüedades en los resultados. Este hecho deberá siempre tenerse presente al interpretar dichas comparaciones.

Para analizar con detalle las discrepancias que afectan a la cartografía cuando se utilizan coordenadas en NAD 83 o ITRF, se investigó un caso más práctico eligiendo estaciones disponibles en ambos sistemas que estuvieran cercanas a la frontera entre México y E.U.A. Las coordenadas NAD 83 se obtuvieron directamente de la base de Datos Integrada del NGS (NGSIDB), donde aparecían designadas con orden A, equivalente a una exactitud relativa de 5mm. 0.1 mm/km. Para este ejemplo concreto se seleccionaron un total de 7 puntos homogéneamente espaciados.

La magnitud de las discrepancias encontradas, respectivamente en las direcciones este, norte y vertical (elevación) para cada una de las 7 estaciones fronterizas aparecen en la lista siguiente.

Diferencias (ITRF - NAD 83) en un sistema de coordenadas geodésico local con origen en las estaciones seleccionadas.

	Este (m)	Norte (m)	Vertical (m)
Monumento Peak 7274	-1.05	0.55	-0.89
Yuma NCMN 7894	-1.19	0.61	-0.96
NASA KPVLBA	-1.08	0.61	-1.04
El Paso	-0.95	0.61	-1.08
Harvard RM4	-0.86	0.61	-1.21
San Antonio RRP	-0.70	0.59	-1.38
Corpus RRP	-0.67	0.54	-1.40

Como se ha descrito previamente, todas estas diferencias son imperceptibles a escalas de la cartografía topográfica (1:20 000 ó menores) y no deben afectar la representación gráfica de las cartas fronterizas entre ambos países.

No obstante, cuando se necesiten coordenadas geocéntricas muy exactas, como muestra la tabla, se pueden encontrar errores sistemáticos significativos (en sentido absoluto) de alrededor de un metro. La magnitud de estas diferencias no se deben parar por alto cuando se asignan coordenadas a estaciones de rastreo GPS con funcionamiento continuo. Aunque las diferencias relativas (entre estaciones) que se observan en la tabla son muy pequeñas para la componente norte (latitud), estas son mayores que los errores observables GPS para las otras dos componentes (52 cm. en longitud este y 51 cm. en altura). Cabe recalcar que estas discrepancias no tienen importancia para la cartografía y solo se deben considerar en levantamientos geodésicos precisos cuando se requieran valores en un marco geocéntrico riguroso. En la elaboración de cartas topográficas, las diferencias mencionadas entre datum NAD 83 utilizado por USGS y el datum ITRF adoptado por el INEGI no deberá alterar la logística ya establecida y en uso.

En resumen, el intercambio de bases de datos geoespaciales entre el USGS y el INEGI es viable sin que afecte el resultado final de los productos cartográficos. Por otra parte, la utilización exacta de la información geodésica requerirá una transformación adicional para que ambas series de datos sean rigurosamente consistentes; sin embargo, esta transformación es una simple rutina que, además, tiene la ventaja de proporcionar un control indirecto de la calidad de las coordenadas obtenidas.

## EQUIPO GPS EMPLEADO POR EL EJERCITO MEXICANO

### Introducción

El ejército Mexicano emplea el Receptor NAV 1000 M5<sup>MR</sup> ( en lo sucesivo llamado simplemente Receptor M5), sus especificaciones y accesorios, así como del Sistema Global de Posicionamiento (GPS). El receptor M5 fué desarrollado para servicios de emergencia para las agencias gubernamentales, uso militar internacional y operaciones paramilitares.

### El Receptor NAV 1000 M5

El receptor M5 es un receptor GPS manual, rápido, potente, preciso, de bajo precio y de uso muy sencillo. El Receptor M5 usa cinco canales que funcionan simultáneamente para localizar y recibir datos de satélites GPS. Los datos recibidos de los satélites se procesan rápidamente para calcular la ubicación del receptor (en MGRS, Lat/ Lon, UTM, UPS Military, UPS, British Grid, Irish Grid, Malasian RSO Grid, y Universal User Grid), así como obtener datos de elevación, velocidad y navegación en menos de un minuto, con actualización cada segundo.



Figura 148.- El Receptor NAV 1000 M5

El receptor M5 puede ajustarse para funcionar en tres modalidades para calcular posiciones:

Bidimensional (2D), tridimensional (3D) y automática (AUTO). En la modalidad 2D, la unidad usa tres satélites y variables de elevación establecidas por el usuario. En la modalidad 3D, la unidad usa cuatro satélites para calcular la posición y la elevación. En la modalidad AUTO, la unidad usa la modalidad 3D cuando están disponibles cuatro satélites y cambia a la modalidad 2D cuando se pueden usar menos de cuatro satélites.

El Receptor M5 almacena la posición inicial, la última posición relativa, hasta 2 000 posiciones relativas promedio y hasta 500 puntos de ruta creados por el usuario. Los puntos de ruta definidos por el usuario pueden utilizarse para definir mas de 20 rutas de 30 tramos y para calcular las coordenadas y el azimut de posiciones a blancos distantes.

El Receptor M5 tiene un conector RS-232 de propósitos múltiples con salidas para conectarse a otros equipos electrónicos y para suministro de energía externa.

El receptor M5 cuenta con una función de corredor, que permite al usuario seleccionar una distancia perpendicular izquierda/derecha a la dirección en que se desplaza, en la cual puede presentarse una señal de alerta. También puede usarse una función de zona de separación para establecer un perímetro, determinado por el mismo usuario, alrededor de una línea definida a su vez por dos puntos de ruta seleccionados por el mismo usuario; cuando se alcanza ese perímetro aparece una señal de alerta. Esta función permite que el servicio GPS sea usado por diversos vehículos y fuerzas terrestres y aéreas.

Aún cuando se trata de una rápida y potente herramienta de navegación, el Receptor M5 es fácil de usar. Para tener acceso a la mayoría de las funciones basta oprimir una tecla claramente marcada. El acceso a otras funciones, como carga y descarga de misiones (Mission Upload/Download), las funciones de corredor (Corridor) y de zona de separación (Buffer Zone), diferencial (Differential), promedio (Averaging), rutas invertidas (Reverse Routes) y borrado de memoria (Erase Memory) se logra mediante teclas auxiliares.

### **"Lectura" de la Información de los Satélites**

Aun cuando el Sistema Global de Posicionamiento (GPS) es complejo, la navegación con un receptor GPS bien diseñado puede ser sencilla. El sistema usa la información de la señal en una ecuación geométrica fundamental, resuelve la ecuación y presenta la información en datos de navegación.

Para obtener una posición relativa se toman "lecturas" (en modalidad 2D) de tres satélites como mínimo. Primero, el receptor determina el tiempo de transmisión y recepción de la señal de cada satélite. Después multiplica la diferencia de este tiempo por la velocidad de la luz (186 000 millas por segundo, 299 274 Km por segundo) para obtener un valor estimado de la distancia entre el satélite y el receptor.

Usando la distancia y la posición orbital calculadas de cada satélite, el receptor determina y presenta una posición relativa, en grados de latitud y longitud (o en coordenadas cartesianas)

### **Precisión**

La característica mas notable del Sistema Global de Posicionamiento (GPS) es su precisión. Normalmente se obtiene una precisión de posición de 30 metros o menos en los receptores M5 con PPS (en ausencia de SA)

### **Cobertura**

Como se dijo anteriormente, la constelación GPS completa de 24 satélites mas los satélites adicionales brinda una cobertura continua las 24 horas del día a nivel mundial. A diferencia de todos



los demás sistemas electrónicos de navegación, su señal nunca se debilita a causa de la diferencia de distancias entre el usuario y la fuente de transmisión de las señales.

### **Interferencia**

Otra característica notable del Sistema GPS es su resistencia a la interferencia debida a condiciones que afectan a otros sistemas electrónicos de navegación: truenos, relámpagos, clima tormentoso, señales de radio, otros equipos electrónicos a bordo, instalaciones electrónicas costeras, receptores portátiles de radio.

Las altas frecuencias de las Bandas L1 y L2 que usa el Sistema GPS garantiza que este opere en un ambiente de ondas en el que hay menos radiación de interferencia. De mayor importancia aún es el hecho de que el Sistema GPS usa tecnología de espectro extendido, lo cual reduce en gran medida cualquier posible interferencia en las frecuencias en las que opera.

### **Lista de Embarque**

El paquete básico del Receptor GPS Magella NAV 1 000 M5<sup>MR</sup> incluye:

- Receptor
- Cordón de Seguridad
- 12 baterías alcalinas AA
- Sujetadores para baterías (2)
- Guía del usuario
- Tarjeta de campo
- Garantía

### **Accesorios**

Existen varios accesorios opcionales para el receptor NAV 1 000 M5<sup>MR</sup> incluye:

#### **Estuche para el Transporte**

Hay un estuche para transportar el Receptor M5. Este puede llevarse al hombro o colocarse en el cinturón. Puede usarse también para almacenar la unidad de manera segura. La tarjeta de campo y el sujetador de baterías adicional se guardan en un compartimiento del estuche especialmente diseñado para ello.

#### **Equipo de Antena GPS Exterior**

El equipo de antena GPS exterior permite operar el receptor NAV 1000 MR<sup>MR</sup> dentro de vehículos o en cualquier sitio que no se encuentre a cielo abierto.

El Equipo de Antena GPS Exterior consta de :

1. Sujetador de liberación rápida con acoplador de antena
2. Caja de interfaz

### 3. Antena exterior

#### **Acoplador de Antena GPS**

Este se monta dentro del sujetador de la unidad. La conexión del acoplador con la antena exterior se hace por medio de la caja interfaz.

#### **Sujetador de la Unidad**

Se usa en vehículos para contar con un sitio seguro para el Receptor NAV 1000 M5<sup>MR</sup>.

#### **Otros accesorios**

Para usar la función auxiliar de carga/descarga de misiones se requiere un cable de datos.

El Receptor NAV 1000 M5<sup>MR</sup> puede descargar datos de posición en tiempo real a computadoras compatibles con MS - DOS. Los accesorios necesarios para esta función pueden adquirirse por separado.

# CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

El desarrollo de la Agrimensura por medio de satélites ha sido uno de los mayores adelantos tecnológicos del siglo XX; esto ha permitido una considerable simplificación en los trabajos de campo para la determinación de coordenadas, direcciones geográficas y estimar distancias.

Si bien, el manejo de los receptores GPS en campo es hasta cierto punto sencillo, la medición requiere la generación de grupos de trabajo, con personal altamente capacitado en procedimientos geodésico - topográficos, fotogramétricos y manejo de sofisticados softwares con potentes ordenadores (PC's).

El logro en la generación de profesionales altamente calificados en estos temas, será una seria responsabilidad de las instituciones educativas, ya que deberán incluir en sus programas de estudios la parte teórica de las bases del funcionamiento de los sistemas satelitales, GPS y GLONASS, del uso y manejo de los equipos GPS, que incluyan los receptores y los softwares necesarios para el procesamiento de la información. Se debe considerar que posiblemente para fines de 1995, se tengan en el mercado los primeros receptores con la capacidad de recibir simultáneamente las señales de las dos constelaciones satelitales, GPS/GLONASS, con los cuales se podrán comparar los resultados entre ambos sistemas y si, llegaran a presentarse discrepancias entre las soluciones, o un comportamiento anómalo entre estas, el profesionista deberá poseer el conocimiento suficiente para identificar cual de los sistemas está presentando problemas y en cual resulta mejor confiar para apoyarse temporalmente en solo el "sistema que opera o funciona normalmente".

Por otro lado es conveniente recordar, como se dijo anteriormente, que desafortunadamente, el GPS no es una panacea, ya que su actuación en ciertos ambientes y para ciertas aplicaciones en particular puede ser bastante limitada y que sin apropiados receptores y sin la integridad de la señal GPS, puede resultar riesgoso confiar en la navegación con GPS en un ambiente peligroso; también si no sabemos como detectar las causas por las que la señal no reúne la suficiente precisión, nuestros levantamientos topográfico-geodésicos no podrán satisfacer las necesidades que se le impongan.

Se debe tener en cuenta que, un incremento en la precisión de la posición no se da libremente. Casi siempre va de la mano con un incremento en los costos de los equipos, problemas logísticos y complicados procesamientos de la información.

A continuación se enlista una serie de conceptos sobre GPS los que derivan como consecuencia de este trabajo recepcional.

### **Acerca de los satélites GPS.**

Los satélites reciben y almacenan información proveniente del segmento de control, así como la corrección de las anomalías que se hayan presentado en sus órbitas.

Transmiten el mensaje (señal) al segmento de usuario (Receptor GPS).

Mantienen el tiempo preciso a través de los relojes atómicos, esto lo llevan a cabo con 4 relojes: 2 de Rubidium y 2 de Césium, la precisión de estos se anota a continuación:

<b>Tipo de reloj</b>	<b>Tiempo en que se Retrasa un Segundo</b>
Cristal de cuarzo.	30 años
Rubidium	30 000 años
Cesium	300 000 años
Hidrógeno	3 000 000 años

No precisamente se nombran relojes atómicos porque empleen energía atómica para su funcionamiento, sino porque usan la oscilación de un átomo particular para lograr la precisión en tiempo, el costo aproximado de uno de estos relojes instalado en el satélite es de mas o menos cien mil dólares. Los relojes que emplean los receptores GPS son de cristal de cuarzo, una variante mejorada de los relojes de pulso común y corrientes, esto hace que los receptores sean mas baratos y que sean accesibles en el precio para su adquisición.

Recordemos que existe una deriva entre los relojes de los satélites y las de los receptores GPS, esto es porque los relojes de los satélites son mucho mas precisos y que el cálculo de coordenadas del lugar en donde se encuentra posicionado un receptor es en función del tiempo que tarda en llegar la señal del satélite al punto posicionado, como comentario permítaseme agregar que, el tiempo entre onda y onda emitida por los satélites es de un nanosegundo, es decir, 0.000000001 de segundo por lo que el reloj atómico emite 10, 230, 000 tics o ciclos por segundo, (además debemos recordar que la estación de control maestro inyecta un error deliberadamente a la señal del satélite), de aquí que la corrección de la deriva de los dos relojes, (satélite - receptor), se lleva a cabo hasta el momento de una de las etapas del procesamiento de la información. Los softwares que emplea el INEGI para la planeación de las observaciones y el cálculo de coordenadas son: MISSION PLANNING, GPPS, GEOLAB y PNAV, entre otros.

No se aborda el tema del procesamiento de la información porque, es demasiado extenso y ocuparía un espacio casi tan grande como este volumen, sin embargo, como mero comentario, estos softwares son en extremo bondadosos y solo basta con tener los conocimientos para la operación del MSDOS, (Micro Software Disk Operating System), y del manejo de WINDOWS, además de los conocimientos, claro está, del perfil del Ingeniero Topógrafo para poder operarlos con eficiencia.

Como ya se comentó en el contexto de este trabajo, la estructura del sistema satelital NAVSTAR, se compone de 24 satélites pertenecientes al bloque IIA, pero se tiene previsto colocar en órbita la próxima generación de satélites del mismo sistema.

A esta nueva generación se le denomina del *bloque IIR* y consistirá de 20 satélites de repuesto, estos realizarán el análisis de los datos en el espacio a través de un sistema de comunicación y procesamiento Inter-Satelital, aunque esto no redituará en mejores precisiones para las aplicaciones por el método estático Post-Procesado, sin embargo las aplicaciones cinemáticas se beneficiarán de datos orbitales mas precisos y actualizados con la entrada en función de estos nuevos satélites, no obstante, los usuarios no necesitarán implementar ninguna modificación a sus receptores GPS para captar las ondas electromagnéticas que envían todos los satélites de este sistema.

El software que se encuentra instalado en el receptor, descifra y procesa automáticamente el mensaje de navegación que contiene el estatus satelital y las efemérides, (el que es emitido a 50 Hz. y modulado en las bandas L1 y L2), el que finalmente es interpretado para obtener la posición del vértice.

### **Onda Portadora**

Para comprender que es una onda portadora, hagamos memoria acerca de las ondas de radio. Sabemos que las señales de radio y de televisión recorren el espacio sin la ayuda de tubos, alambres o incluso del aire. Para entender las comunicaciones por radio necesitamos conocer algo sobre las ondas de radio que llevan las señales. Debemos recordar que las ondas de radio son un tipo de ondas electromagnéticas. Las ondas de radio (o radioondas) se producen por las cargas eléctricas en vibración. Como ya sabemos, una carga eléctrica está rodeada por un campo eléctrico. Si la carga se mueve, el campo se mueve, si la carga vibra, el campo vibra. Además una carga eléctrica produce un campo magnético, cuyo sentido depende del sentido de movimiento de la carga. Por tanto, una carga eléctrica vibrante produce un campo magnético en vibración. En resumen, una carga eléctrica que vibra produce a la vez un campo eléctrico y un campo eléctrico vibrantes.

Las ondas electromagnéticas son radiadas a través del espacio: La figura 149 muestra lo que sucede en una antena de radio del tipo usado en las estaciones de radiodifusión. En la antena los electrones oscilan de arriba abajo, por lo que la parte de arriba de la antena es primero negativa y luego

positiva. En el instante mostrado en el esquema, el extremo superior es negativo, por tanto, el inferior es, relativamente, positivo. En consecuencia, rodea a la antena un campo eléctrico cuya forma se parece algo a las varillas de un inmenso paraguas. A la vez, existe un campo magnético alrededor de la antena, porque los electrones se mueven hacia abajo. Dicho campo toma la forma de círculos horizontales que envuelven la antena. Lo que es importante hacer notar, es que en cualquier punto los dos campos forman entre sí un ángulo recto.

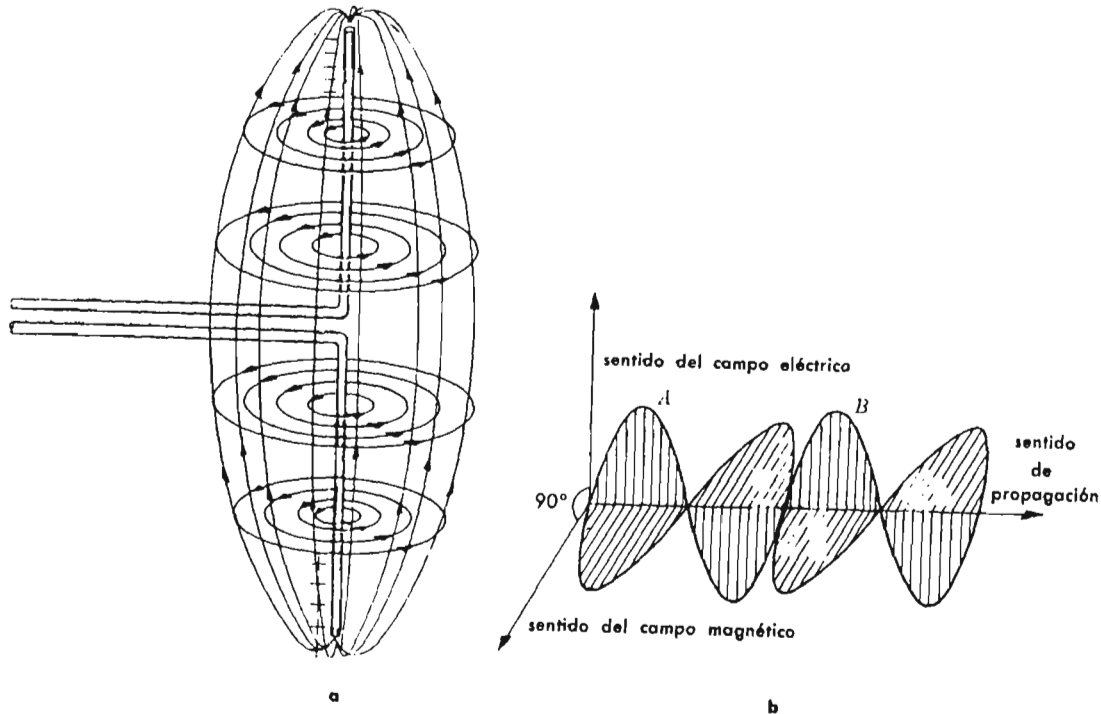


Figura 149

a. Esta antena de radiodifusión recibe energía eléctrica de alta frecuencia de los conductores que se extienden hacia la izquierda. Una oleada de electrones acaba de llegar al extremo superior de la antena y empieza a descender ahora. Nótese que el campo eléctrico (líneas  $\alpha$ ) es perpendicular al campo magnético (líneas  $\beta$ ).

b. Al cambiar los campos, las fluctuaciones se propagan como una onda que se mueve bajo ángulos rectos con ambos campos.

Como el oleaje de electrones primero sube y después baja, en la antena, tanto el campo eléctrico como el magnético cambian en magnitud y en sentido, pero permanecen perpendiculares entre sí. Teóricamente, ambos campos se extienden infinitamente lejos en todas direcciones. Sin embargo, cuando cambian los campos, no varían en todas partes al mismo tiempo. En lugar de ello, los cambios se alejan de la antena, del mismo modo que las ondas se separan del lugar donde cayó una piedra en un estanque. Los cambios progresivos de los campos se llaman *ondas electromagnéticas*. La onda se propaga bajo ángulos rectos con ambos campos como se muestra en la figura 149 b. La velocidad con la que la onda se desplaza en el vacío es de  $3.00 \times 10^8$  m/seg; en el aire es ligeramente menor.

Las ondas electromagnéticas inducen una fuerza electromotriz (fem) en un conductor. Cuando una onda electromagnética llega a un conductor, por ejemplo, una antena receptora, un campo magnético variable rodea al conductor. Esta es una situación muy semejante a la de un generador eléctrico. Por tanto no debe sorprender que la onda electromagnética induzca una fem en el conductor. A la vez, la

componente eléctrica de la onda representa un campo eléctrico alterno en la región del conductor. Este campo también tiende a mover los electrones del conductor. En consecuencia, tanto la componente eléctrica como la magnética de la onda electromagnética, obligan a vibrar a los electrones libres. Así, la onda electromagnética induce una fem en cualquier inductor que encuentre en su camino.

Obsérvese que la fem inducida se debe al campo magnético alterno y al campo eléctrico alterno, que forman la onda electromagnética. Si el conductor donde se induce la fem, es parte de un circuito completo, como en el caso de una antena de radio, se obtendrá una corriente eléctrica. La onda electromagnética suministra una pequeña cantidad de energía a cada partícula que pone en movimiento.

Con energía de alta frecuencia y de alta potencia se alimenta la antena transmisora por medio de circuitos electrónicos. En la antena, la energía se convierte en ondas electromagnéticas que se irradian en todas direcciones. En el extremo receptor una antena similar pero generalmente, mucho más pequeña "capta" o recibe, las ondas electromagnéticas y las convierte de nuevo en energía de alta frecuencia. La energía recibida puede ser de una mil millonésima parte de la radiada originalmente por la antena transmisora, pero puede ser amplificada y controlada por los circuitos del sistema receptor.

Las estaciones modernas de radiodifusión varían desde aquellas cuyo alcance útil es de solo unos cuantos metros, hasta las unidades especiales militares que transmiten y reciben señales de radio desde los satélites artificiales situados lejos en el espacio exterior, como los GPS. La estación típica comercial de radiodifusión tiene, en general, un alcance de varios centenares de kilómetros. Las frecuencias usadas en la mayoría de dichas estaciones comerciales son de 540 a 1600 kilociclos ( Un kilociclo por segundo, se abrevia kc, y también KHz. Un KiloHertz tiene 1000 c/seg. Nótese que la abreviatura omite el símbolo de "por segundo" ). Los radio-aficionados, las comunicaciones de la policía y de la aviación, la televisión y el radar usan otras frecuencias comprendidas desde unos 100 kc hasta miles de megaciclos ( Un megaciclo por segundo, se abrevia mc y también MHz. Un Mega Hertz, tiene 1, 000, 000 c/seg )

Las frecuencias usadas por los satélites GPS son:

L1 = 1, 575. 42 MHz. y

L2 = 1, 227. 6 MHz.

Moduladas en longitudes de onda de 19 y 24 centímetros, respectivamente.

La velocidad, la frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por una fórmula sencilla. La frecuencia de un movimiento ondulatorio o de su fuente, es el número de ciclos completos de movimiento que tienen lugar en cada segundo. En la onda progresiva, la longitud de onda se define como la distancia entre cualquier punto de la onda y el punto siguiente que corresponde exactamente al primero. Esto está claro en la figura 149, donde la distancia de A a B es una longitud de onda. Hay una relación matemática simple entre la velocidad de la onda, su frecuencia y su longitud de onda.

Esta relación es:  $v = f\lambda$

Donde  $v$  es la velocidad con que se desplaza la onda, (la velocidad de la luz),  $f$  es la frecuencia del movimiento ondulatorio y  $\lambda$  es la longitud de la onda:

Entonces para calcular la longitud de onda de las portadoras, con las que transmiten los satélites GPS es realmente sencillo:

Para la portadora L1 cuya frecuencia es igual a 1, 575. 42 MHz. = 1, 575. 42 X 10<sup>6</sup> ciclos por segundo, la longitud de onda será:

$$\lambda = v/f$$

$$\lambda = (2.9979246 \times 10^8 \text{ metros/seg})/1.57542 \times 10^9 \text{ ciclos/seg.}$$

$\lambda = 0.190$  metros

$2.9979246 \times 10^8$  metros/seg. = velocidad de la luz adoptada para GPS.

Esta relación se cumple para las ondas en general, incluidas las electromagnéticas.

La frecuencia de las radioondas se da usualmente en kilociclos o en megaciclos por segundo; la longitud de onda se mide generalmente en metros, aunque las ondas muy cortas se especifican, generalmente, en centímetros o aun en milímetros.

Las audiofrecuencias no son prácticas para la radiación electromagnética.

Sabemos que una señal sonora puede ser convertida en una señal eléctrica y luego amplificada y controlada electrónicamente.-Podemos preguntarnos- ¿Por qué no puede un sonido convertirse en una señal eléctrica de radiofrecuencia, radiada en el espacio por la antena transmisora, recibirla en otra antena, amplificarla y así poder oirla?. He aquí las razones de que el problema de las comunicaciones por radio no pueda resolverse tan sencillamente.

1. Aunque las ondas electromagnéticas (radioondas) pueden existir en audiofrecuencias (frecuencias iguales a las del sonido audible), necesitan para obtenerse enorme potencia y equipo muy voluminoso.

2. Las frecuencias de 100 KHz. y más que son las prácticas para la radiación electromagnética, están mucho más allá del límite de la audición humana. Ellas se llaman *radiofrecuencias (rf)*.

3. Una señal de audio comprende muchas frecuencias: 300 - 3000 ciclos/seg., para voces comprensibles, 20 - 20 000 ciclos/seg. para la música. Sin embargo, para buen control y eficiencia, una onda electromagnética debe ser de una sola frecuencia o estar comprendida en una estrecha banda de frecuencias.

4. Aun cuando la radiación electromagnética fuera práctica en audiofrecuencias, solo una señal sería posible enviar cada vez a un lugar dado; más de una interferirían entre sí.

### **Modulación en Amplitud y Frecuencia.**

La amplitud de la onda portadora puede ser modulada por una señal de audio.

Si una radioonda de audiofrecuencia no es práctica y si las altas frecuencias, que sí son prácticas, no están en el intervalo audible, ¿cómo es posible la radio?. Marconi, considerado como el padre de la comunicación inalámbrica, resolvió este problema con mucha sencillez, enviando una onda de alta frecuencia e interrumpiéndola de acuerdo con el código telegráfico, que ya había sido desarrollado por Morse. Marconi inventó un aparato receptor que reproducía la apertura y cierre en términos de sonido y silencio. Así, el operador en el extremo receptor podía leer el mensaje codificado, que se había transmitido por la radiación electromagnética.

Este sistema, ingenioso y útil a la vez, es difícilmente apropiado para la radiodifusión de la voz o de la música, encontrándose limitado al uso de alguna clase de código. Sin embargo, es fructífero considerar dicho sistema como la combinación real de dos señales diferentes, como se indica en la figura 150. En la parte superior de esa ilustración se encuentra una onda sinusoidal de 1 000 000 Hz. Esta radioonda de alta frecuencia se llama *onda portadora*. Su frecuencia y potencia son suficientemente grandes para que pueda ser difundida a gran distancia. La porción media del esquema es la clave telegráfica para la letra R, que aparece como una diferencia de potencial intermitente. Ahora imaginemos la onda portadora como controlada o modificada por la señal en clave; el resultado es una señal semejante a la de la parte inferior de la figura 150. Los intervalos en que no hay radiación entre puntos y rayas, pueden considerarse como ondas de amplitud cero.



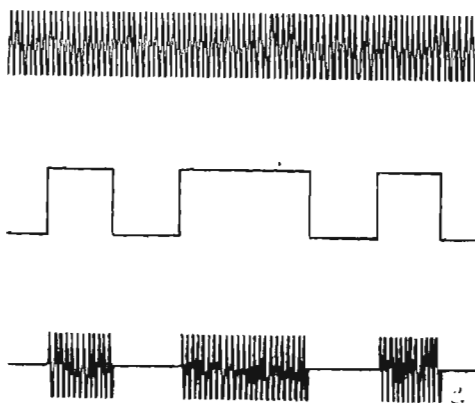


Figura 150

En la parte superior hay una radioonda de alta frecuencia, llamada onda portadora. Abajo está la clave telegráfica para la letra R (punto - raya - punto) convertida en una señal eléctrica. El dibujo inferior muestra el resultado de combinar las otras dos ondas. Esto puede imaginarse como si una frecuencia portadora fuera desconectada o conectada por la señal de audio.

El mismo proceso general puede servir para imprimir cualquier señal de audio en una onda portadora. En la figura 151 por ejemplo, la onda superior es una onda portadora de radiofrecuencia. La segunda onda consiste en una pequeña porción de una señal debida a la voz. La 150 c muestra el resultado obtenido cuando la amplitud de la onda portadora es modificada, o *modulada* por la señal de audio. Recordemos que para propósitos de radiodifusión, la onda portadora sin modulación no tiene valor porque no lleva señales, ideas o comunicaciones. La onda de radio por sí misma tampoco vale, puesto que su frecuencia es tan baja que no puede radiarse eficientemente. Solo la onda portadora modulada es útil para la radiocomunicación; en este caso la onda se llama onda portadora *modulada en amplitud (AM)*; el sistema se llama también de *modulación de amplitud*.

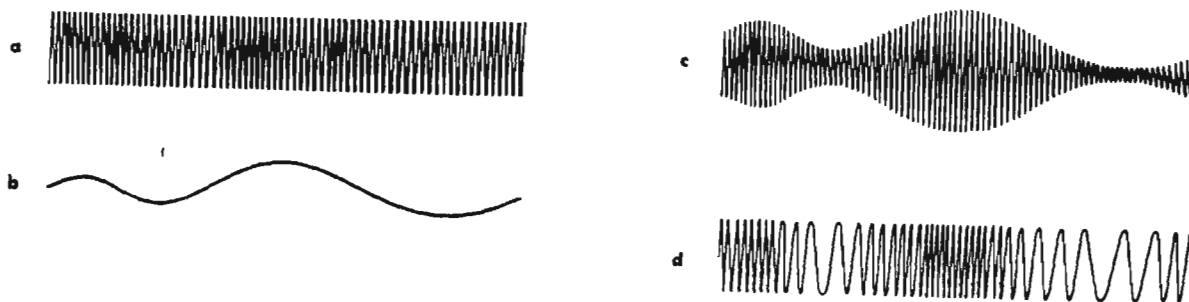


Figura 151

Estas formas de onda ilustran la diferencia entre modulación en amplitud y modulación en frecuencia. Arriba hay una onda portadora sin modulación; en seguida una señal de audio. La tercera onda es la onda portadora modulada en amplitud por la señal de audio. La cuarta onda es la onda portadora modulada en frecuencia por la misma señal de audio. Nótese que esta última onda muestra frecuencia variable pero amplitud constante.

La frecuencia de una onda portadora puede también modularse.

Como lo sugiere el nombre, un sistema de comunicación de *modulación en frecuencia* o de *frecuencia modulada (FM)*, lleva a cabo la modulación variando la *frecuencia* en lugar de la *amplitud* de la onda portadora. La forma de esta onda se indica en la figura 151 d.

Como ejemplo, supongamos que una onda portadora con una frecuencia de 100 MHz. (100 000 000 de ciclos/seg.) se modula con una nota de audio de 400 Hz./seg. Bajo estas circunstancias, la frecuencia de la onda portadora no permanecerá constante en 100 MHz., sino que fluctuará arriba y abajo de este valor 400 veces/seg. Cuando mayor sea la amplitud de la señal de audio, mayor será la magnitud de la fluctuación. Por esto, la frecuencia de la onda portadora va de un extremo a otro y retrocede de nuevo con una rapidez determinada por la frecuencia de la señal de audio.

La FM tiene muchas ventajas con relación a la AM.

La radiocomunicación de FM tiene las siguientes ventajas sobre la AM:

1. Menos interferencia de algunas clases de estática. (La mayor parte de la estática es modulación en amplitud y un buen receptor de FM es "sordo" a esta modulación).

2. Menor perturbación debida al "desvanecimiento" de la señal.

3. Menos superposición de dos estaciones próximas en el cuadrante de radio.

En adición a estas ventajas, que son inherentes a los sistemas de FM, existen otras diferencias debidas a las frecuencias que cada país asigna a la radiodifusión en AM y en FM. La primera tiene un intervalo de 0.54 a 1.6 MHz., mientras que el de la segunda es de 88 a 108 MHz., con frecuencias unas 100 veces mayores. A causa de que la radiodifusión de FM se transmite a una frecuencia mas alta:

1. La transmisión de FM puede concentrarse mas fácilmente en cualquier dirección escogida.

2. Las estaciones de FM tienen menor alcance que las de AM, porque las altas frecuencias no siguen la curvatura de la Tierra, sino que se propagan en línea recta. Las señales de FM rara vez pueden recibirse mas allá de 150 kilómetros. En consecuencia muchas más licencias pueden ser conseguidas por dichas estaciones de la misma longitud de onda y separadas algunos centenares de kilómetros, sin que puedan interferir entre sí.

3. Los circuitos de sintonización en los receptores FM presentan más perturbaciones de desviación de frecuencia debido a los cambios de temperatura. Por esta razón algunos receptores domésticos de FM deben volverse a sintonizar después de haber logrado cierta temperatura.

Cada onda portadora tiene una frecuencia diferente.

Desde la antena, la onda portadora modulada se irradia al espacio como una onda electromagnética. Cuando es interceptada por la antena de un receptor de radio, una porción diminuta de la energía de onda, origina una fem alterna en esta antena.

Teniendo en cuenta la radiocomunicación comercial, militar y de aficionados, centenares de ondas chocan a la vez con la antena receptora. Si todas estas señales existen simultáneamente en el circuito de la antena, ¿cómo es posible seleccionar la que se desea excluyendo todas las demás?. La selección es posible porque cada onda portadora tiene diferente frecuencia. Esto sucede porque el gobierno de cada país asigna la frecuencia de la onda portadora a cada estación autorizada. Por supuesto, estaciones débiles, geográficamente muy alejadas, pueden usar la misma frecuencia transmisora. Los circuitos resonantes son capaces de seleccionar una sola frecuencia o una banda limitada de frecuencias.

## La demodulación.

No es necesario decirlo, una onda portadora modulada es inaudible; su frecuencia está mucho más allá del límite de la percepción humana. Por consiguiente, debe existir algún dispositivo para separar la señal de audio de la frecuencia de la onda portadora. Este proceso se llama *demodulación o detección*.

La teoría general de la demodulación es la inversa de la correspondiente a la modulación. Esto se logra por medio de un diodo rectificador de media onda, generalmente llamado *detector de diodo*, es el más usado ahora en los receptores de radio.

El circuito del diodo demodulador, se muestra en la figura 152. La entrada es la onda portadora modulada. En este paso, ya ha sido captada por la antena y es una señal eléctrica. El diodo (que puede ser un tubo al vacío o un diodo semiconductor de cristal), rectifica una señal de corriente alterna para darle la forma de la onda de la figura 152 c. La corriente rectificada pasa a través del resistor, que es, literalmente, la carga de consumo del circuito. Un capacitor en paralelo con dicho resistor filtra la señal rectificada y se obtiene la forma de onda de la figura 152d, que es equivalente a la forma de la onda original de la figura 152e.

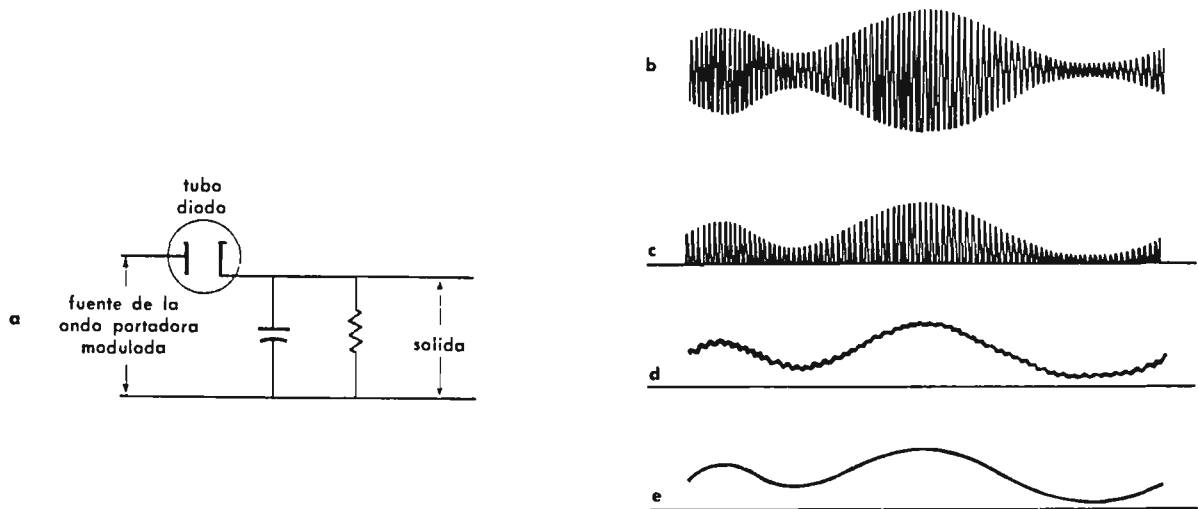


Figura 152

- a. El circuito de un detector de diodo sencillo
- b. La señal de la onda portadora modulada.
- c. La señal luego de ser filtrada por el capacitor.
- d. la señal después de ser rectificada por el diodo.
- e. La forma de la onda de la señal original de audio. Nótese que la señal filtrada en d es casi igual a la señal en e.

En GPS la señal de "audio", la compone precisamente el PRN y la que modula en amplitud a la portadora.

## Códigos.

En GPS existen los siguientes códigos:

Código C/A (Coarse Acquisition), también llamado código "S", es una serie de ceros y unos y conforman una clave diferente para cada satélite.

Cada cero o uno se coloca en la onda portadora de la señal cada 10 tics del reloj fundamental, en otras palabras, en cada segundo hay 1' 023 000 ceros o unos del código C/A, y el mensaje del código se repite cada milésima de segundo.

### Código "P"

El código "P" es otra serie de ceros y unos, cada cero o uno se coloca en la onda portadora en cada uno de los tics del reloj fundamental, es decir en cada segundo se registran 10' 230 000 ceros o unos.

La secuencia completa del código "P" dura 267 días, 9 horas, 45 minutos, 55.5 segundos y tiene 235 469 592 765 000 bits.

### Código "Y"

Este es un código similar al código "P", empleado por el Departamento de Defensa de los E.U.A., cuando el (AS) Anti Spoofing, Anti Engaño, está activado.

El código "Y" es secreto e impide el acceso a la señal de GPS a todos los usuarios no autorizados.

### Código PRN (Pseudo Random Noise)

Los códigos descritos anteriormente, se llaman de Pseudo Ruido Aleatorio y son en realidad creados por una ecuación matemática.

La (SA) Disponibilidad Selectiva, es un método de degradación de la precisión dirigida a los usuarios no autorizados de GPS, fué implementada por el Departamento de Defensa de los E.U.A. por primera vez en el mes de marzo de 1992.

El efecto que causa la disponibilidad selectiva en las medidas GPS, es que son menos precisas, pues puede degradar la precisión horizontal de las posiciones hasta en 100 metros en el 95% del tiempo y hasta 300 metros en el 5% restante.

A este respecto solo los usuarios autorizados pueden corregir el efecto de Disponibilidad Selectiva, usando la información criptografiada en el mensaje de navegación con receptores que contienen circuitos especiales.

Quienes no poseen autorización de uso del Código P, cuando SA esta operando, podrán obtener la precisión similar al de este código, procesando la información usando el método diferencial.

De aquí obtenemos la conclusión de que los (archivos crudos), es decir la información de campo directamente en pantalla, o aún sin procesar, no nos garantizará ninguna precisión de nuestros levantamientos topográfico-geodésicos.

Es necesario también referimos al Mensaje de Navegación, que es el contenido de las ondas o señales emitidas por los satélites y que reciben los usuarios, de estas se obtiene:

- El estatus satelital
- Las efemérides

- El estatus satelital, es el estado en que se encuentra cada satélite para la transmisión de la señal particular de cada uno de ellos; si se presentara algún problema, en el MP se puede detectar.
- Las efemérides, son las órbitas por las cuales se desplazan los satélites en el espacio; para llevar a cabo trabajos geodésicos, podemos considerar a las efemérides desde dos perspectivas:

1. Efemérides predichas; que son la información orbital, posición y variación en la posición del satélite, calculadas en base a observaciones pasadas y extrapoladas a una época de referencia futura y se obtienen por medio del "Almanaque", para lo cual se debe realizar el posicionamiento del receptor por espacio de una hora, para posteriormente, bajar la información a la computadora y con apoyo del software Mission Planning, se obtiene la posición de cada satélite en la fecha y hora que se desee.

El almanaque es un archivo de datos mediante el cual podemos calcular las órbitas predichas y la posición de cada uno de los satélites, este es actualizado por los operarios del sistema GPS según se requiera, para reflejar las condiciones vigentes, se emplea para la planeación de proyectos de levantamiento.

El almanaque se obtiene en los receptores al realizar un posicionamiento, posteriormente hay que respaldarlo en la computadora y con apoyo del software Mission Planning, se obtiene la posición de cada satélite, para así poder programar la fecha y hora de las observaciones en campo.

INEGI, acostumbra reponer su almanaque cada semana, específicamente cada día miércoles.

2. Efemérides precisas; Es la información orbital estimada a partir de observaciones hechas por redes globales de estaciones rastreadoras como son las estaciones de control y otras que funcionan en diferentes países.

Fuentes de error.

Las mediciones que se efectúan con GPS son susceptibles de errores, estos pueden ser producidos por los diferentes segmentos que componen el sistema NAVSTAR, los principales son:

<u>Segmento</u>	<u>Fuente de error</u>
Del Espacio	Reloj, Perturbaciones satelitales
De Control	Efemérides
Del Usuario	Refracción o Retraso Ionosférico
	Refracción o Retraso Troposférico
	Trayectoria Múltiple (Multipath)
	Errores Instrumentales
	Errores Humanos

Los retrasos de la señal o refracción, son ligeras variaciones que sufren las ondas enviadas por los satélites al atravesar las distintas capas que rodean la Tierra.

Los dos principales retrasos que afectan todas las mediciones efectuadas con equipo GPS, están dados por efectos que ocurren en el medio en que se propagan las ondas electromagnéticas y son:

El retraso troposférico, que se da en función de la temperatura, presión, humedad relativa y la altura de la capa troposférica que cubre la tierra, este error alcanza a tener un efecto considerable.

El retraso ionosférico, se da en función del contenido total de electrones en la capa de la Ionósfera, es un medio dispersivo en la cual se reflejan las ondas de radio.

De aquí que resulta el error de distancia equivalente del usuario, y no es más que, el resultado de la combinación de sesgos en los tiempos de los relojes, tanto del satélite como del receptor, errores en las órbitas, los sesgos en la fase de la onda portadora y los retrasos ionosféricos y troposféricos, todo esto es transmitido en el mensaje de navegación, que no es otra cosa que la señal recibida por los receptores.

Entonces el producto de la velocidad de la luz, ( $2'99\ 792\ 458\ X\ 10^8$ ) M/seg. y el tiempo de retraso requerido para alinear una réplica del código generado en el receptor con el código recibido del satélite; es a lo que se llama *Pseudorange en las Mediciones GPS*; y debido a que el retraso no es exactamente igual a la diferencia de tiempo de emisión y recepción, se introduce un sesgo de tiempo, la presencia de este sesgo es la razón por la que se denomina Pseudorange y no simplemente Rango.

Algunos errores, pueden corregirse con el **Método Diferencial**, este es una técnica que permite lograr precisiones cercanas al milímetro. Su uso exige el empleo de múltiples receptores que recopilen datos simultáneamente de los mismos satélites, esto se logra con 2 o más estaciones fijas de la RGNA y dos o mas receptores que midan al menos una línea.

Típicamente, la precisión horizontal de una sola posición relativa de un receptor GPS es de 25 metros (RMS). Si la distribución de posiciones relativas acerca de la posición real es circular normal con cero de promedio, una precisión de 25 metros RMS significa que alrededor del 63% de las posiciones relativas obtenidas en la sesión se encuentran a 25 metros o menos de la posición real.

Existen dos tipos de error de posicionamiento: corregibles y no corregibles. Los errores corregibles son esencialmente los mismos para dos receptores GPS en una misma área y pueden eliminarse con el método diferencial. Los errores no coreegibles no pueden correlacionarse entre dos receptores GPS en una misma área.

#### Errores corregibles

En las fuentes de error corregibles se pueden incluir: el reloj del satélite, datos de efemérides y demora ionosférica y troposférica. Si se usa, la disponibilidad selectiva, también puede provocar errores corregibles de posicionamiento.

Los errores de reloj y de efemérides se originan en el satélite GPS. Un error de reloj es un error de cambio lento que aparece como una desviación en la medición de pseudodistancia efectuada por el receptor. Un error de efeméride es un error residual en los datos usados por el receptor para localizar un satélite en el espacio.

Los errores de demora ionosférica y troposférica son provocados por las condiciones atmosféricas. La demora ionosférica ocurre cuando la densidad de electrones en la ionosfera, junto con el curso de la señal, evitan que el receptor determine con precisión la variación de la velocidad de la señal. Los errores troposféricos son causados por un error residual en el cálculo de la refracción (curvatura) del curso de la señal GPS conforme esta se desplaza por la troposfera. La refracción troposférica está relacionada con la humedad, la temperatura y la altitud en el curso de la señal. Por lo general, los errores troposféricos son menores que los errores ionosféricos.

Otro error corregible surge cuando se activa la Disponibilidad Selectiva (SA). La SA es usada como ya se había dicho, por el Departamento de Defensa de los E.U.A., para mantener la óptima efectividad militar, introduciendo errores en las señales GPS del Servicio de Posicionamiento Stándar (SPS) y degrada la precisión de las posiciones relativas. El efecto de la SA se puede superar con el método diferencial.

Todas estas fuentes de error tienen una importante característica en común: la magnitud y la dirección del error en un momento dado no cambia con rapidez. Por tanto, dos receptores GPS que estén suficientemente cerca y usen los mismos satélites, observarán el mismo error de posición relativa y se puede determinar su magnitud.

#### Errores no corregibles

Los errores no corregibles no pueden correlacionarse entre dos receptores GPS ubicados en la misma área. En las fuentes de errores no corregibles se incluyen: ruido del receptor, que es

problema del receptor, y errores de cursos múltiples, que son ambientales. Ninguno de estos errores se puede eliminar con el método diferencial, pero se puede reducir mucho promediando las posiciones relativas.

### FUENTES DE ERROR

Fuente de error Source	Alcance Equivalente Aprox. del error RMS
<b>Corregible con el Método Diferencial</b>	
Reloj (Segmento de Espacio)	3.0 metros
Efemérides (Segmento de Control)	2.7 metros
Demora ionosférica (Atmósfera)	8.2 metros
Demora troposférica (Atmósfera)	1.8 metros
Disponibilidad Selectiva (Si está activada)	27.4 metros
<b>No corregible con el método diferencial</b>	
Ruido del receptor (Unidad)	9.1 metros
Trayectoria múltiple (Ambiente)	3.0 metros
<b>Alcance Total Equivalente del Error para el Usuario (todas las fuentes)</b>	<b>30.5 metros</b>
Precisión de navegación (HDOP = 1.5)	45.8 metros

#### Método GPS Diferencial

Método GPS Diferencial usa dos unidades para determinar cual es el error, lo cual permite hacer la corrección respectiva.

Una unidad de control será cualquier estación fija de la RGNA en donde se esté dentro de su radio de acción de 500 kilómetros, cuya posición se conoce con alta precisión. Otra unidad (remota) se coloca en el punto cuya posición se trata de saber. Ambas unidades deben usar los mismos satélites, deben tomar posiciones relativas al mismo tiempo; si se usan dos o más receptores en posición remota, es recomendable que no excedan en 50 kilómetros de distancia, por las limitaciones de las correcciones troposféricas.

Las posiciones relativas obtenidas con la unidad de control se comparan con la posición conocida. La diferencia entre la posición conocida y la posición obtenida del punto de control es el error de posicionamiento. Dado que la unidad remota opera bajo condiciones similares en una ubicación cercana, se considera que las posiciones relativas obtenidas por la unidad están sujetas al mismo error.

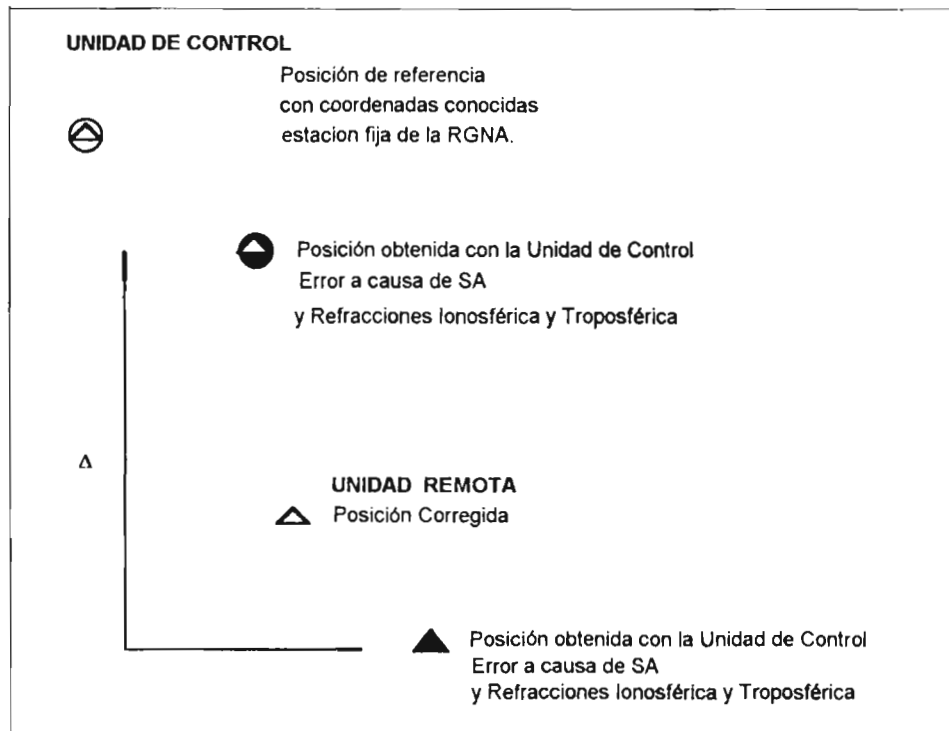


Figura 153

### Error de posición corregido con el método diferencial

La diferencia entre la posición conocida y la posición obtenida en el punto de control es la corrección **DELTA**  $\Delta$ , la que se expresa siempre en metros y es paralela a la superficie terrestre. Cuando se expresa en un sistema local de coordenadas, **DELTA**  $\Delta$  usa un eje Norte - Sur (**y**) y un eje Este - Oeste (**x**) en modalidad 2D, (Dos Dimensiones), en la modalidad 3D se usa un eje vertical adicional (**z**), que es perpendicular a los ejes **x**, **y**.

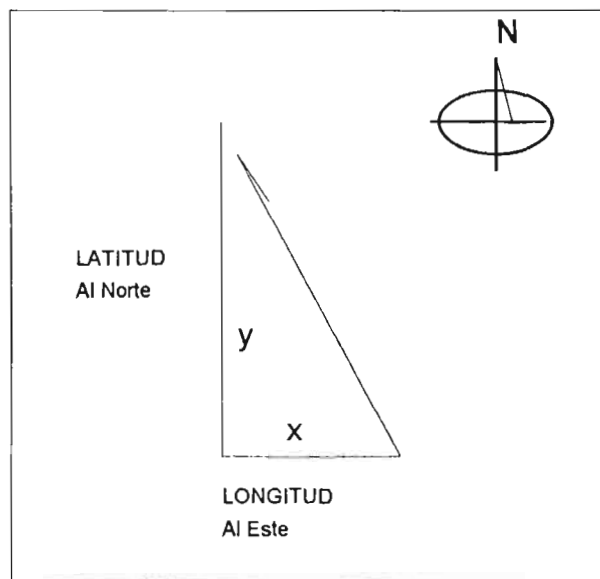


Figura 154



## Componentes del Diferencial

**Delta  $\Delta$**  siempre nos dirigirá a la posición deseada, ya sea que se trate de una posición corregida o un sitio que se trate de ubicar por sus coordenadas.

Cuando la unidad calcula el diferencial, sus componentes se enlistan en el orden y, x, z (Norte, Este y Altitud).

Hoy GPS entre sus múltiples empleos, se utiliza en automóviles, para generar un sistema de planos de ciudades en los que se señala el sentido de la vialidad para crear rutas y dirigimos a un lugar determinado; se emplea también para el control de ruta de camiones de carga y últimamente se ha diseñado una tarjeta electrónica, la que hace posible el aterrizaje de aviones comerciales por instrumentos, es decir, aterrizar aviones sin que tenga que intervenir el piloto mas que en conectar el sistema de aterrizaje automático.

El embate del GPS es mucho muy vasto, y si no se cuenta con personal ampliamente capacitado y el equipo adecuado a nuestras necesidades se pueden generar errores o tener grandes limitaciones, o cometer errores severos; sin embargo hasta este momento GPS es la mejor opción para resolver problemas geodesico-topográficos, con el menor tiempo, menor esfuerzo y un considerable ahorro financiero.

## BIBLIOGRAFIA

Thomas A. Stansell  
El Sistema de Navegación por Satélite "TRANSIT"  
Magnavox Advanced  
Products & Systems Company 1978

ASHTECH  
Receptor GPS ASHTECH Modelo P - 12  
Manual de Operación

INEGI  
Manual de la Brigada de Geodesia

INEGI  
Curso Avanzado de GPS

INEGI  
Apuntes del Curso Teoría del GPS, del  
Dr. T.Soler

INEGI  
Instructivo de Llenado de Cédulas de Información

INEGI  
Vértices Revista Trimestral  
Enero - Marzo 1993 Núm. 1

INEGI  
Vértices Revista Cuatrimestral  
Enero - Abril 1994 Núm. 1

Richard B. Langley & Alfred Kleusberg  
Department of Surveying Engineering at the University of New Brunswick  
Reprinted from GPS WORLD

H.E White  
Física Moderna Vol.I  
Montaner y Simon  
Barcelona

Ing. Fernando García Marquez  
Topografía Aplicada  
Editorial Concepto, S.A.

Ejército Mexicano  
Manual del Receptor NAV 1000 M<sup>s</sup>

W. G. Melbourne  
Jet Propulsion Laboratory  
California Institute of Technology  
Pasadena, California 91109  
GPS - Based Geodesy Tracking:  
Technology Prospects for the Year 2 000

Stollberg/Hill  
Física  
Fundamentos y Fronteras