



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Instalación y Puesta en Marcha de una Red Geodésica de Estaciones de Referencia GPS

INFORME ESCRITO DE LA OPCIÓN VI “TITULACIÓN POR TRABAJO PROFESIONAL”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA

PRESENTA:

FRANCISCO JAVIER CASTILLO ALANIS

AVAL: ING. GABINO GASPAR MONTERROSA REYES



OCTUBRE, 2010

DEDICATORIAS,

Sin que sea el clásico tablón del apartado que nadie lee, quiero dedicar la culminación de este ciclo a mis verdaderos ángeles que me han seguido durante este camino:

A mi Preciosa Liz que me ha dado la inspiración para transitar por esta vida en partida cuádruple. Me has hecho pintar y despintar el Cielo con todo y sus Estrellas. Entre ellas, la más brillante es la Tuya, mi lugarcito. Las cosas son más fáciles cuanto tú estás conmigo. Te Amo...

Para mis amores, mis Hijos Preciosos, verlos alrededor nuestro sonreír hacen que nuestros días tengan sentido, sigan siendo Ustedes mismos. Gracias por su enseñanza, son un tesoro inmenso tenerlos a mi lado, somos más fuertes cuando estamos juntos y me impregnan su energía, son mis faros en la costa...Los Amo!

A mis Padres, por darme el mejor clima para crecer, los ejemplos para vivir y la fortaleza para enfrentar los retos. **Má**, eres toda una Señora Concha, la columna vertebral de esta Familia, el refugio en el cual llegar a salvo. Gracias por tus desvelos y tu incomparable cariño. No me alcanzan las palabras para describirte lo que siento por Ti...Te Quiero **Má**...

Mis Héroes Personales: **Mis Hermanos, Chata (Ara) y Jorge**. Los Quiero, cada uno de Ustedes tiene lo mejor que una persona puede tener: humanismo y sensibilidad. He aprendido siempre de ambos. La historia no se puede contar si no están Ustedes presentes, no hay pasado, ni presente ni futuro sin mis Hermanos porque son únicos. Son mi capacidad de asombro y mi sentido de pertenencia. Es decir, a ambos por igual ¡Los Quiero Mucho!

A mis Abuelitos, Rodolfo, Julia, Martín, por protegerme, por iniciar esta historia, por consentirnos a su única e inigualable manera. Dondequiera que se encuentren, cuídenos mucho. **Abuelita Carmen**, acá estás y tu fortaleza me impresiona cada vez más, quién como Tú, Abuelita? Quién como Tú?...

A todos mis Tíos, parte importante para formar mi carácter y experiencia. En especial a mi Tío Fidel, por estar ahí en momentos complicados, sin tu ayuda no hubiera sido posible continuar con el camino. Gracias por todo...

A mi Tío Arturo, a mis primos, en las coincidencias, ninguna desavenencia, siempre camaradería, casi hermanos y compañeros de travesía, cómplices de aventuras y guardianes de la sinceridad y el respeto...sin complicaciones y sin secretos...Gracias...

Al Ing. Gabino Gaspar Monterrosa y su hermosa Familia. Usted tiene un don que le ha dado la vida: el don de ser gente con sus semejantes. En estos tiempos eso es de admirar. He aprendido que no importa la situación en la que nos encontremos, lo importante es disfrutar de la vida. El más amplio de mi reconocimiento para Usted, por brindarme su confianza y apoyo todo el tiempo que llevamos de conocernos.

A los profesores que tuve durante mi Carrera en la Facultad de Ingeniería. En especial a los que considero **Mis Maestros**; a todos ellos que tienen la vocación de la docencia y dan su 200% para con sus alumnos y se convierten en sus líderes. Gracias por sus consejos y enseñanzas...

A Jayro, un niño chiapaneco que me enseñó (durante mi Servicio Social en el Volcán Tacaná, Chiapas) lo que es disfrutar lo que tienes; y que si no tienes nada material, tu felicidad te alcanza para seguir viviendo. Dondequiera que estés, Jayro, perdónalos que no saben lo que hacen...

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO I.- BREVE DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	2
1.1. Un poco de historia	3
1.1.1. Sistema DECCA	3
1.1.2. Sistema TRANSIT	10
1.2. Los tres segmentos que componen el sistema	12
1.2.1. El segmento espacial	12
1.2.1.1. Constelación de satélites GPS	12
1.2.1.2. Satélites NAVSTAR	12
1.2.2. Segmento de Control	13
1.2.3. Segmento de usuarios	14
1.3. Funcionamiento	14
1.3.1. Datos complementarios	19
1.4. Métodos de Levantamiento con receptores GPS	21
1.5. Principales fuentes de error en el Sistema	25
1.5.1. Cuantificación de la incertidumbre en localización GPS	27
1.5.2. Dilución de la Precisión	28
1.5.3. Corrección de errores mediante técnicas diferenciales (DGPS)	29
1.6. Aspectos geodésicos	29
1.6.1. Antecedentes históricos	29
1.6.2. Primeras mediciones de la Tierra	30
1.6.2.1. Situación durante la edad media	31
1.6.2.2. Revolución científica	32
1.6.3. La forma general de la tierra	34
1.6.4. El elipsoide	35
1.6.5. El geoide	37
1.7. Sistemas de coordenadas	40
1.7.1. El tema de la altura	42
1.7.2. Transformaciones	42
1.7.2.1. Transformaciones de Helmert	43
1.7.2.2. Otros métodos de transformación	45
1.7.3. Proyecciones de mapas y coordenadas planas	46
1.7.3.1. Proyección Universal Transversa de Mercator	48
1.7.3.2. Proyección de Lambert con dos paralelos tipo	50
1.8. Perspectivas a futuro del Sistema de Posicionamiento Global	52
CAPÍTULO II. PRINCIPALES APLICACIONES EN LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA	54
II.1. La Comisión Nacional del Agua. Antecedentes	54
II.2. Misión y visión de la Comisión Nacional del Agua	57
II.2.1. Explicación de la misión	57
II.3. Situación del Agua en México	58
II.3.1. Consumo de agua	62
II.3.2. Análisis retrospectivo	65
II.4. Administración del agua (demanda). Uso en riego. Uso industrial. Servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento	68
II.5. Conflictos Sociales por el Agua en México	82
II.5.1. Un modelo de la conflictividad por agua en México	83
II.5.2. Los conflictos por agua en México	85
II.5.3. La conflictividad y la factibilidad política de las políticas	87
II.5.4. Conclusión	88

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO III.- TIPOS DE RECEPTORES QUE SE EMPLEAN EN LA INSTITUCIÓN	89
III.1. Introducción	88
III.2. Equipos navegadores	89
III.2.1 Tipos de Navegadores	90
III.2.2. El uso en el transporte público y privado	92
III.3. Aplicaciones GPS en Sistemas de Información Geográfica (GPS/SIG)	93
III.3.1 Sistemas de Información Geográfica	93
III.3.2. GPS: principal fuente de datos	95
III.3.2.1 Integración de datos GPS en un SIG	96
III.3.2.2. Obtención de datos de atributo SIG con equipos GPS	96
III.4. Aplicaciones en la Comisión Nacional del Agua	97
III.4.1. El Sistema de Información Geográfico del Agua y el desarrollo de aplicaciones	97
III.4.2. El Sistema de Información Geográfica de Agua Limpia (SIGAL)	97
III.4.3. Ubicación e inventario de estaciones hidrométricas	99
III.4.4. Extracción de materiales pétreos. Verificación	102
III.4.5. Inventario de estaciones climatológicas	103
III.4.6. Inspección y medición. Visitas de inspección en la georreferenciación de infraestructura hidráulica	104
III.4.7. Infraestructura meteorológica. Observatorios sinópticos y radares	106
III.4.8. Localizador del registro público de usuarios del agua	108
III.5. Aplicaciones con receptores GPS topográficos y geodésicos	109
III.5.1. Delimitación de zonas federales	109
III.5.2. Estudios batimétricos	111
III.5.2.1. Toma de datos y equipos utilizados	111
III.5.2.1.1. Objetivo	111
III.5.2.1.2 Vuelo fotogramétrico	111
III.5.2.1.3. Puntos de apoyo en los fotogramas	112
III.5.2.1.4. Red de triangulación o poligonación	113
III.5.2.2. Perfiles batimétricos	113
III.5.2.3. Trabajos de campo	114
III.5.2.3.1. Apoyo de los pares estereoscópicos del vuelo fotogramétrico	114
III.5.2.4. Levantamiento batimétrico	115
III.5.2.5. Trabajos de gabinete	115
III.5.2.5.1. Cálculo de los trabajos de campo realizados	116
III.5.2.6. Cubicación del embalse (cálculo del volumen)	117
III.5.3. Red de piezometría	118
III.5.3.1. Características de las redes de monitoreo	119
III.5.3.1.1. Selección de los pozos de monitoreo	119
III.5.3.2. Localización y distribución de los puntos de medición	121
III.5.3.2.1. Frecuencia de medición	122
III.6. Necesidad de una red geodésica de alta disponibilidad de datos	124
III.6.1. Fundamento y utilidad de una estación de referencia permanente	125
III.6.2. Redes de Estaciones de Referencia	126
III.6.3. La Red Geodésica Nacional Activa	130
III.6.3.1. Definición	130
III.6.3.2. Antecedentes	130
III.6.3.3. Características de operación de las estaciones fijas	132
III.6.3.4. Equipo de las estaciones fijas	132
III.6.3.5. Ventajas	132

ÍNDICE

	Página
III.6.3.6. Tipo de información que proporcionan las estaciones fijas	132
III.6.4. La necesidad de contar con una red geodésica acorde a las necesidades de la Comisión Nacional del Agua	135
Capítulo IV.- Diseño de la red geodésica de Estaciones Fijas de Referencia GPS	138
IV.1. Objetivos de la red de estaciones de referencia GPS y posibles usuarios	139
IV.2. Elección de los sitios	140
IV.2.1. Estación de Referencia GRPY (Organismo de Cuenca Península de Yucatán - Mérida, Yucatán)	144
IV.2.2. Estación de Referencia GRFS (Organismo de Cuenca Frontera Sur – Tuxtla Gutiérrez, Chiapas)	147
IV.2.3. Estación de Referencia GRGC (Organismo de Cuenca Golfo Centro – Xalapa de Enríquez, Veracruz)	150
IV.2.4. Estación de Referencia Amoxcalli (Oficinas Centrales – Distrito Federal)	153
IV.2.5. Segunda etapa de la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua: Estación de Referencia OCPBC (Organismo de Cuenca Península de Baja California – Mexicali, Baja California)	157
IV.2.6. Segunda etapa de la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua: Estación de Referencia OCRB (Organismo de Cuenca Río Bravo – Monterrey, Nuevo León).	161
IV.2.7. Segunda etapa de la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua: Estación de Referencia DLN (Dirección Local Nayarit – Tepic, Nayarit).	166
IV.3. Proceso de Instalación.	170
IV.3.1. Diagrama de flujo.	170
IV.3.2. Descripción de las actividades.	171
IV.4. Pruebas de operación y registro de datos.	172
Capítulo V.- Puesta en Marcha de la Red Geodésica.	178
V.1. Estación de Referencia GPS GRPY.	178
V.1.1. Características principales del equipo.	178
V.2. Estación de Referencia GPS GRFS.	180

ÍNDICE

	Página
V.2.1. Características principales del equipo.	180
V.3. ESTACIÓN DE REFERENCIA GPS GRGC	182
V.3.1. Características principales del equipo.	182
V.4. ESTACIÓN DE REFERENCIA GPS AMOXCALLI.	184
V.4.1. Características principales del equipo.	184
V.5. ESTACIÓN DE REFERENCIA GPS OCRB.	186
V.5.1. Características principales del equipo.	186
V.6. ESTACIÓN DE REFERENCIA GPS OCPBC.	188
V.6.1. Características principales del equipo.	188
V.7. ESTACIÓN DE REFERENCIA GPS DLN.	190
V.7.1. Características principales del equipo.	190
CAPÍTULO VI.- HERRAMIENTA DE ADMINISTRACIÓN CENTRALIZADA (ADMINISTRACIÓN REMOTA).	192
VI.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA HERRAMIENTA DE ADMINISTRACIÓN.	192
VI.2. Configuración de las estaciones de referencia.	194
VI.2.1. Requisitos para la configuración del GRX1200 pro.	194
VI.2.2. Configuración de los parámetros de red.	196
VI.2.3. Configuración mediante la interfaz web.	199
VI.3. Configuración del servidor de estaciones.	200
VI.3.1. Sensor comm 1.	200
VI.3.2. General.	201
VI.3.3. Antenna.	202
VI.3.4. Operator.	203
VI.3.5. Thematic.	205
VI.3.6. Conexión e inicio de registro de datos.	206
VI.3.7. Archivos de datos producto de las estaciones de referencia (file products).	209
VI.4. Breve descripción de los componentes de la herramienta de administración.	220
VI.4.1. Componentes de GNSS spider.	220
VI.4.2. Server management.	220

ÍNDICE

	Página
VI.4.3. Site server.	221
VI.4.4. Site server y network server.	222
VI.4.5. Views (vistas).	223
VI.4.6. Tools (herramientas).	224
VI.5. Configuración de la herramienta llave-en-mano.	226
VI.5.1. Registro de usuarios.	227
VI.6. Cálculo de coordenadas con el software de los receptores gps y la herramienta en línea (llave-en-mano).	239
VI.6.1. Procesamiento con el software GIS DATA pro.	240
VI.6.2. Procesamiento con la herramienta en línea.	252
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	258
BIBLIOGRAFÍA	265
ANEXOS	
Anexo A. Funcionamiento del Sistema DECCA Navigator.	270
Anexo B. Descripción del Sistema TRANSIT.	276
Anexo C. Carta enviada por el entonces Secretario de Defensa de los USA a la Unión Europea para que desistieran del proyecto GALILEO (1 de diciembre de 2001).	279
Anexo D. Declaración de la Oficina del Secretario de Prensa del Gobierno de los USA sobre el apagado de la Disponibilidad Selectiva (S/A off).	280
Anexo E. Artículo The Shape Of The Earth (Part I/Part II) sobre las expediciones enviadas para definir la forma y dimensiones de la Tierra.	281
Anexo F. Resumen del cálculo de las coordenadas mediante la liga a la Red Geodésica Nacional del INEGI (AMOXCALLI, GRFS, GRGC, GRPY, OCRB, OCPBC Y DLN).	287
Anexo G. Reporte por línea base del cálculo del cálculo de coordenadas del levantamiento efectuado en La Paz, BCS.	300

CAPÍTULO I.- BREVE DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.

GPS es un modo de hacer mención a NAVSTAR GPS. Este es el acrónimo en inglés de **NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System**, (Sistema de Posicionamiento Global con Sistema de Navegación por Tiempo y Distancia). El Sistema de Posicionamiento Global (de ahora en adelante GPS) es la solución para una de las incógnitas más antiguas que se ha planteado el hombre: el preguntarse "*¿En qué lugar de la Tierra me encuentro?*"

Hoy en día el Sistema denominado GPS parece dar una respuesta puntual y oportuna a esa interrogante que se planteó el hombre en sus primeras épocas de existencia en la faz de la Tierra. En estos tiempos donde el mercado es el que manda en la producción de nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades de los usuarios (en su mayoría cautivos por la necesidad de autolocalizarse o localizar sus activos) es oportuno mencionar sólo algunas cifras y detalles que demuestran la importancia de la industria de la Georreferenciación.

La política de la administración de los Estados Unidos de América (USA) es mantener el costo en cero pesos y cero centavos para el usuario del sistema GPS, potenciar sus aplicaciones civiles a la vez que se mantiene el carácter militar. Las aplicaciones disponibles se orientan principalmente a sistemas de navegación, investigación y aplicaciones cartográficas: topografía, cartografía, geodesia, sistemas de información geográfica (SIG), recreación (deportes de montaña, náutica, expediciones de todo tipo, entre otras), patrones de tiempo y sistemas de sincronización; aplicaciones diferenciales que requieran mayor precisión además de las aplicaciones militares y espaciales.

En cuanto al reparto del mercado los más importantes son la navegación marítima, la aérea y la terrestre. Con una flota de más de 50 millones de embarcaciones en todo el mundo, de los que el 98% son de recreo, la navegación marítima supone un mercado nada despreciable. Embarcaciones de recreo, pesqueros, mercantes, petroleros, dragas y plataformas petrolíferas son perfectos candidatos al uso de receptores GPS. El volumen de venta de equipos GPS está en torno a los 300 millones de dólares anuales.

En cuanto a la navegación aérea con unos 300,000 aviones en todo el mundo, el equipamiento de GPS para navegación intercontinental o entre aeropuertos tiene una penetración anual del 5% (aproximadamente unas 15,000 unidades). Sin embargo, en las maniobras de aproximación el GPS no tiene la suficiente integridad y precisión, aunque la FAA (*Federal Aviation Administration* de los USA) está financiando el proyecto WAAS (*Wide Area Augmentation System*) que refuerza el sistema GPS y será útil para aproximaciones de clase I (en los USA) (*Blauden Electronics, 2007*)

Pero el auténtico mercado del GPS en el mundo es la navegación terrestre. Con más 435 millones de automóviles y 135 millones de camiones es el más amplio mercado potencial de las aplicaciones comerciales del GPS. De hecho, el crecimiento de equipamiento de GPS sólo en los USA fue de 13,000 millones de dólares en el 2003 y se espera un crecimiento de hasta 30,000 millones de dólares en el 2008. Entre las aplicaciones con más desarrollo se cuenta con sistemas de navegación independiente, sistemas de seguimiento automático, control de flotas, administración de servicios y otras más.

Por dar solo unos datos de lo que supone el mercado GPS, en el año 2005 desde Taiwán se exportaron 1.10 millones de PDA (Ayudante personal digital, del inglés *Personal Digital Assistant*) con GPS. En el mercado europeo se vendieron más de 720,000 unidades GPS portátiles en el 2004. Además, en el 2005 el crecimiento del mercado GPS fue de un 53% con una producción de unos 100 millones de unidades GPS. Para el 2006, se estimó un crecimiento del 41%, lo que hizo suponer unas ventas de 140 millones de unidades GPS en todo el mundo.

I.1. UN POCO DE HISTORIA.

Durante muchos siglos, la interrogante "¿En qué lugar de la Tierra me encuentro?" fue resuelta empleando al Sol y las estrellas principalmente en la navegación. Asimismo, en tierra, los topógrafos y los exploradores utilizaban puntos conocidos hacia los cuales hacían referencia para sus mediciones o para encontrar su camino. Estos métodos cumplían su cometido dentro de ciertos límites, pues el Sol y las estrellas no pueden ser observados cuando el cielo está nublado. Además, aún efectuando las mediciones lo más precisas posibles, la posición no podía ser determinada en forma tan precisa como actualmente se logra con el uso de receptores GPS.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se hizo necesario que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica (DD) encontrara una solución al problema de determinar una posición absoluta y exacta. Durante los siguientes 25 años, se llevaron a cabo proyectos diversos y experimentos con este fin, entre los que se cuentan los sistemas *Transit*, *Timation*, *Loran*, *Decca* y otros. Todos ellos permitían determinar posiciones, pero continuaban siendo muy limitados en precisión y funcionalidad (ver Figura I-1).

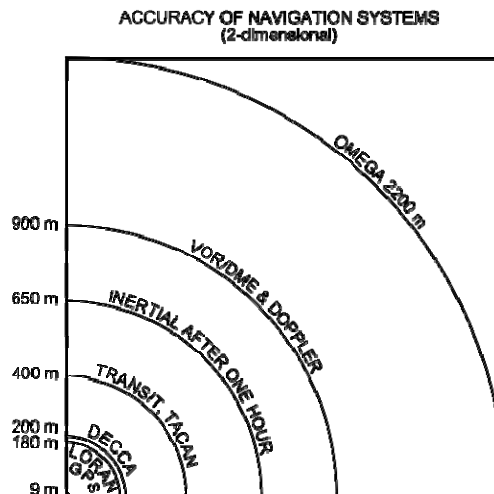


Figura I-1. Precisión de distintos Sistema de Navegación en dos dimensiones.
Publicada en www.wikipedia.com. Autor: Johannes Rössel, estudiante de ciencias de la computación de la Universidad de Rostock, Alemania.

Por lo extenso del contenido y su importancia, sólo mencionaremos en este documento los antecedentes históricos de los siguientes sistemas de posicionamiento: *Decca* y *TRANSIT*.

I.1.1. SISTEMA DECCA¹.

Su origen: Inicios en la Segunda Guerra Mundial
Inventado en América, pero desarrollado por la empresa londinense "DECCA Radio and Televisión, Ltd.", el sistema *DECCA Navigator* se usó inicialmente para dirigir el rumbo de los dragaminas y ayudar a la navegación aérea de la flota paracaidista durante el desembarco de Normandía en la Segunda Guerra Mundial. La dificultad de guiar un dragaminas en el Canal de la Mancha y realizar sus misiones de limpieza en plena noche fue considerada imposible sin alguna forma de navegación de radio exacta.

¹ Este texto es una adaptación y traducción de la información aportada por **Davis S. Jones** a la web de **Jerry Proc** en el sitio <http://www.decca-navigator.com>

Establecido sobre la costa sur de Inglaterra, el DECCA comenzó a transmitir el 5 de junio de 1944, un día antes del *Día-D*, día del desembarco de Normandía. Sin un sistema de posicionamiento como el DECCA, ahora se cree que la invasión del *Día-D* hubiese tenido que seguir un plan completamente diferente. El sistema fue originalmente concebido por W.J. O'Brien, en los Estados Unidos, como un método para medir la velocidad de un avión con relación a tierra para fines de pruebas, y por ello fue llamado en un principio 'Indicador de Posición en Aviación'.

Al parecer sin el conocimiento de las patentes de Harms u Honore y sin ser consciente del trabajo desarrollado en los Estados Unidos por Shanklin, Donnelly y Holmes, O'Brien trabajó independientemente en su sistema desde 1936 hasta 1939. Fracasó inicialmente en su intento de despertar el interés del ejército estadounidense o de las autoridades civiles en su sistema pero con el comienzo de la guerra en 1939 pudo ofrecer su idea al ministerio del aire inglés mediante la intervención de su amigo H.F. Schwartz, un trabajador estadounidense de la empresa inglesa DECCA Record Company. Como ninguno de los dos era consciente del desarrollo de los sistemas de pulsos realizado en Inglaterra la idea fue rechazada por Watson-Watt por ser demasiado vulnerable al "jamming" y a otro tipo de interferencias.

O'Brien y Schwarz, ya con el apoyo de la compañía DECCA, comenzaron a probar un prototipo del sistema en California usando una estación maestra transmitiendo a 300 kHz y una estación esclava emitiendo a 600 kHz. La comparación se hizo a 1200 kHz y la exactitud del sistema se comprobó con ayuda de un coche.

El Almirantazgo Inglés, buscando la posibilidad de eventuales aterrizajes en Francia y la necesidad de un método de navegación exacta, comenzó a interesarse en el sistema DECCA en el año 1941. Surgía también la necesidad de contar con un sistema que pudiese reemplazar al usado en ese momento, el "Gee"², en caso de una eventual caída del mismo. Se desarrollaron pruebas en los alrededores de Anglesey a mediados de 1942 con los mismos equipos y frecuencias utilizadas en las pruebas californianas. Fueron un gran éxito y el trabajo en el sistema DECCA siguió adelante con el apoyo del "Admiralty Signals Establishment".

A principios de marzo de 1943 DECCA recibió la orden de producir 27 receptores y las unidades de fase necesarias para los transmisores. Se entregó todo el material a la Royal Navy a mediados de mayo, cuando se iniciaron seriamente el entrenamiento y las preparaciones necesarias. En enero de 1944 se realizaron las pruebas del DECCA (o QM, como se conocía en aquel entonces) sobre nuevas frecuencias en el mar irlandés y también se hicieron pruebas en comparación con el Gee. Es importante saber que por aquel entonces el también sistema hiperbólico de navegación de la RAF, el "Gee" estaba muy extendido.

La versión naval, QH, fue usada por primera vez en el desembarco fallido de Dieppe en agosto de 1942, y posteriormente fue implantado como el sistema estándar para la navegación. Para la operación naval del Día-D (Operación Neptuno), los tramos iniciales de los canales que debían limpiar los dragaminas fueron planeados para coincidir con las líneas de posición (hipérbolas) de las cartas Gee. Tan importante era la exactitud, que más de 860 barcos fueron equipados con receptores del sistema Gee.

Aunque el Gee y el DECCA eran similares en cuanto a principios de funcionamiento, el DECCA era mucho más exacto y más "amigable" ya que la información era directamente representada en unos indicadores tipo reloj llamados "decómetros" en vez del complejo sistema de tubo de rayos catódicos del Gee. Una de las desventajas de primigenio sistema era que se debía configurar manualmente los decómetros para que marcaran la posición exacta al inicio de la travesía. Si se dejaba de recibir la señal por cualquier razón había que volver a recalibrarlos para evitar el salto de calle.

Para la Operación Neptuno (*Día-D*) se establecieron cuatro estaciones transmisoras, todo ello en gran secreto. La construcción de los transmisores así como el emplazamiento de los mismos era un gran secreto ya que eran indicativos claros de las playas que serían los objetivos del *Día-D*. Posteriormente se

² El GEE era un sistema hiperbólico de navegación de origen inglés desarrollado por Watson-Watt y utilizado ampliamente por el ejército británico durante la Segunda Guerra Mundial.

supo que la estación Maestra, denominada A, estaba situada cerca de Chichester, la estación Esclava Roja, denominada B se situó cerca de Swanage en Dorset y la estación C, Esclava Verde, en Beachy Head para cubrir el área del desembarco. En la isla de Sheppey se construyó un transmisor como "señuelo" en caso de que los alemanes descubriesen parte del plan. Aunque posteriormente se estableció el uso habitual de un cuarto transmisor (Púrpura), no fue considerado necesario durante este periodo.

Las mujeres responsables de calcular las líneas de posición de las primigenias cartas DECCA (hipérbolas rojas y verdes) trabajaban en parejas en una cabaña en ASE. Trabajaban bajo alto secreto y disponían de guardia armada para su defensa ya que las hipérbolas representaban claramente que el desembarco se iba a efectuar en Normandía y no en el paso de Calais como pensaban los alemanes (Operación Fortitude).

Diecinueve receptores DECCA fueron fabricados por la empresa DECCA en muy poco tiempo y fueron instalados en los barcos líder de una docena de flotillas de dragaminas, en las cinco LCH y en un par de lanchas motoras. El DECCA comenzó a transmitir el 5 de junio de 1944, el día antes del *Día-D*. Había también receptores en tierra para la monitorización. Bill O'Brien disponía de un receptor experimental en su casa de Londres. Cuando los decímetros empezaron a moverse él supo que la invasión era inminente. El uso del *DECCA Navigator* en la Operación Neptuno parece no ser mencionada en ninguna publicación, sin embargo el sistema funcionaba realmente bien, proporcionando más exactitud que el Gee, pero aun era menos fiable que este debido a los saltos de calle. El Gee fue solamente útil, hasta el punto de reunión en medio del Canal de la Mancha.

Gracias principalmente al Gee y al DECCA, la 18ª flotilla de dragaminas, por ejemplo, estuvo sólo a 4 minutos y 400 yardas de la posición del objetivo fuera de la playa, a pesar de fuertes vientos y mareas durante el trayecto. Era un más que razonable margen de error. Uno de los oficiales de navegación dijo posteriormente: "Fue muy extraño, parecía como si alguna clase de telegrafía no sólo nos mostrara la dirección sino también nuestra velocidad".

Para disgusto de las flotillas de dragaminas, quienes habrían hecho buen uso del DECCA, el sistema dejó de emitir el *Día D+1*, presuntamente debido al alto secreto del sistema y para evitar problemas con los transmisores. El sistema nunca fue interferido por el enemigo y por lo que se sabe los Alemanes ni siquiera llegaron a sospechar de su existencia. Ahora se cree que sin un sistema como el QM (Nombre del DECCA en la Royal Navy y en la RAF) el plan de invasión del Día-D hubiese tenido que seguir un plan completamente distinto.

Se dice que durante el periodo de pruebas que llevó a cabo el Almirantazgo los ensayos casi terminan en un exitoso desastre. Para comodidad de uso el barco equipado con el equipo de navegación navegaba sobre una línea hiperbólica que pasaba a través de un arrecife. Vigilando el indicador de fase, timonearon a la derecha en el último momento estando casi a punto de embarrancar ya que pensaban que el DECCA no era tan increíblemente exacto.

Dada la importancia del tema desde el punto de vista histórico, recomendamos la lectura del **Anexo A** de este documento para revisar a detalle el Funcionamiento del Sistema DECCA Navigator.

En seguida, mostramos ejemplos de receptores DECCA:



Figura I-2. Receptor para navegación aérea Decca Mk19.



Figura I-3. Receptor para navegación Decca QM-RX



Figura I-4. Cadena 1 Decca en España. Nótese el arreglo de las antenas localizadas sobre el terreno. Nótese el arreglo en forma de "Y" para la transmisión de las señales.



Figura I-5. Receptores Decca MK5_9Chains y MK21. Fuente: Decca Navigator España, 2005.



Figura I-6. VideoPlotter Decca para trazar las posiciones encontradas. Fuente: Decca Navigator España, 2005.



Figura I-7. Teclado alfanumérico de Receptor Decca Navigator MK52. Fuente: Decca Navigator España, 2005. Nótese la similitud en diseño con equipos GPS de los años 90's, como el Ashtech de la serie Z.



Figura I-8. Receptor GPS marca Ashtech modelo Z-XII.

I.1.2. SISTEMA TRANSIT.

El Sistema *TRANSIT*, también conocido como *NAVSAT* (del inglés *Navy Navigation Satellite System*), fue el primer sistema de navegación por satélite en operar formalmente. Este sistema fue utilizado en primer instancia por la Marina de los USA para proporcionar una localización precisa a los misiles balísticos de los submarinos *Polaris* y también se utilizó como un sistema de navegación por parte de las embarcaciones de superficie de la misma Marina; también sirvió para efectuar estudios hidrográficos y geodésicos (Figura I-9).



Figura I-9 . Satélite TRANSIT en operación

El sistema TRANSIT fue desarrollado por el Laboratorio de Física Aplicada (*Applied Physics Laboratory*, APL) de la Universidad Johns Hopkins para la Marina. Justo después del lanzamiento del Sputnik I ruso el 4 de octubre de 1957, los científicos George Weiffenbach y William Guier del APL, pudieron determinar la órbita del Sputnik por medio del análisis del efecto Doppler de sus señales de radio durante una sola pasada. Frank McClure, el gerente del Centro de Investigación del APL, sugirió que si la posición del satélite era conocida y predecible, el efecto Doppler se podría utilizar para localizar un receptor sobre la superficie terrestre³.

El desarrollo de TRANSIT comenzó en 1958 y el prototipo del primer satélite el Transit 1A fue lanzado en septiembre de 1959. Este satélite nunca alcanzó su órbita y falló. El Transit 1B fue lanzado el 13 de abril de 1960 mediante un cohete *Thor-Ablestar*. Las primeras pruebas con éxito se realizaron en 1960 y el sistema por fin entró en operaciones en el Servicio Naval en 1964. Los satélites conocidos como *OSCAR* y *NOVA* fueron colocados en órbitas polares a una altitud de 1,100km, con un periodo orbital cercano a los 106 minutos. Se consideró una constelación de cinco satélites para una cobertura global razonable en su momento. En tanto el sistema se encontraba operacional, al menos diez satélites (uno de reemplazo por cada satélite de la constelación básica) ya se encontraban en órbita. Los satélites *OSCAR* no fueron los mismos que se emplearon en la serie *OSCAR* de satélites desarrollados para fines de comunicación y de radio aficionados.

Las órbitas de los satélites TRANSIT fueron seleccionadas para cubrir la Tierra, incluyendo su paso por los polos y el ecuador. A pesar de que un solo satélite era visible a cualquier hora, se efectuaron arreglos para los casos en que los satélites se encontraran sobre el horizonte. En el ecuador, este retraso en la señal provocado por estar casi en el horizonte podría ser incluso hasta de varias horas. En latitudes medias, el retraso era de 1 a 2 horas. El sistema TRANSIT funcionaba muy bien a pesar de llevar a cabo

³ Fuente: [http://en.wikipedia.org/wiki/Transit_\(satellite\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Transit_(satellite))

estas correcciones por retraso de la señal y enviarlas como actualizaciones propias del sistema, ya que los submarinos tomaban en cuenta estas correcciones para actualizar su sistema de navegación inercial. Con el tiempo, el Sistema TRANSIT carecía de la habilidad para proporcionar mediciones en tiempo real de alta precisión a gran velocidad (Figura I-10).

Con el tiempo y con las mejoras correspondientes, el TRANSIT pudo proporcionar una precisión instantánea de 200m y tiempo de sincronización de 50 microsegundos. Los satélites transmitían mensajes encriptados a pesar de que no era su función principal. El principio básico del TRANSIT fue muy similar al sistema emergente y localizador de transmisores, excepto que su transmisor se encontraba en tierra y el receptor en órbita. Los detalles de la señal eran enviados directamente a las estaciones terrenas, las cuales generaban las correcciones en el transmisor, similar a como lo realizaba TRANSIT.

Al sistema TRANSIT lo volvió obsoleto el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y cesó sus operaciones en 1996. Las mejoras electrónicas permitieron al GPS llevar a cabo las correcciones de su antecesor de mejor forma y con ello reducir la complejidad para calcular y deducir la posición. En adición, el GPS utiliza muchos más satélites que los que usaba TRANSIT, siendo capaz de ser utilizado de manera continua. Situación que no lo permitía TRANSIT, que enviaba una corrección a cada hora e incluso más, lo que interrumpía su continuidad.



Figura I-10. Satélite Transit-1. Fuente:

<https://www.patrick.af.mil/heritage/6555th/6555ch4/images/wcgtz.jpg> (PD-USGov-Military-Air Force)

Después de 1996, los satélites TRANSIT se mantuvieron en vehículos espaciales embalados y después fueron utilizados para el Sistema de Monitoreo Ionosférico de la Marina de los USA.

Para más detalle de la descripción y de la operación del sistema TRANSIT, consulte el **Anexo B** de este documento.

I.2. LOS TRES SEGMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA.

El sistema GPS comprende tres segmentos:

- **El segmento Espacial** – Se refiere a los satélites que giran en órbitas alrededor de la Tierra.
- **El segmento de Control** - Conformado por estaciones ubicadas cerca del ecuador terrestre para controlar a los satélites.
- **El segmento de Usuarios** – Cualquier persona que use un receptor GPS para utilizar las señales que emiten los satélites.

I.2.1. EL SEGMENTO ESPACIAL.

Como se ha mencionado, el segmento Espacial consiste de 24 satélites que giran en órbitas ubicadas aproximadamente a 20,200km cada 12 horas. Al momento de redactar este informe, existen 26 satélites operativos que giran alrededor de la Tierra.

I.2.1.1. CONSTELACIÓN DE SATÉLITES GPS.

El segmento espacial está diseñado de tal forma que se pueda contar con un mínimo de 4 satélites visibles por encima de un ángulo de elevación de 15° en cualquier punto de la superficie terrestre, durante las 24 horas del día. Para la mayoría de las aplicaciones, el número mínimo de satélites visibles deberá ser de cuatro. La experiencia ha demostrado que la mayor parte del tiempo hay por lo menos 5 satélites visibles por encima de los 15°, y muy a menudo hay 6 ó 7 satélites visibles.

I.2.1.2. SATÉLITES NAVSTAR.

Cada satélite GPS lleva a bordo varios relojes atómicos muy precisos. Estos relojes operan en una frecuencia de 10.23MHz denominada frecuencia fundamental, la cual se emplea para generar las señales transmitidas por el satélite (ver Figuras I-11 y I-12).

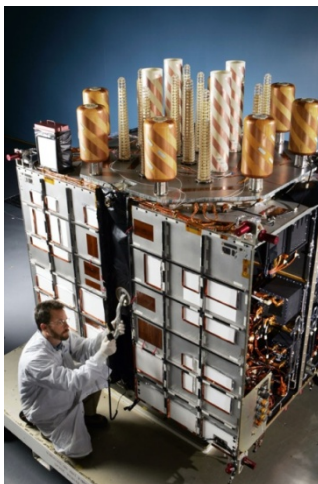


Figura I-11. Satélite NAVSTAR 62, o GPS IIR-19M, lanzado el 15 de marzo de 2008 (Fotografía: Lockheed Martin Corporation)



Figura I-12. Esquema del satélite NAVSTAR 62 (Imagen propiedad de Lockheed Martin Corporation)

1.2.2. SEGMENTO DE CONTROL.

Está constituido por:

- Una estación de control maestro,
- 5 estaciones de observación y
- 4 antenas de tierra distribuidas entre 5 puntos muy cercanos al ecuador terrestre.

Todas ellas reciben continuamente las señales GPS con receptores de dos frecuencias y provistas de osciladores de Cesio (Cs). También se registran, en forma precisa, otras series de parámetros como presión y temperatura, que afectan de manera muy importante a la propagación de la información que se recibe de los satélites.

El segmento de Control rastrea los satélites GPS, actualiza su posición orbital y calibra y sincroniza los relojes que llevan a bordo los satélites. Otra función importante consiste en determinar la órbita de cada satélite y predecir su trayectoria para las siguientes 24 horas.

Las señales de los satélites son leídas desde las estaciones: Ascensión, Diego García, Hawaii y Kwajalein (ver Figura I-13). Estas mediciones son entonces enviadas a la Estación de Control Maestro en Colorado Springs, donde son procesadas para determinar cualquier error en cada satélite. Enseguida, la información es enviada posteriormente a las cuatro estaciones de observación equipadas con antenas de tierra y desde ellas se carga la información corregida a los satélites. Esto último permite al receptor GPS conocer la ubicación de cada satélite.



Figura I-13. Estaciones de Control GPS ubicadas alrededor del Ecuador y foto panorámica de la Estación de Monitoreo localizada en Hawaii, USA. (Fuente: NASA y Folleto de la Base de la Fuerza Aérea Schriever, vol. 6. N° 12)

1.2.3. SEGMENTO DE USUARIOS.

Este segmento es uno de los más importantes y en el que radica la mayor parte de las aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global, este segmento lo conforman todas aquellas personas (físicas o morales) que son poseedoras de un equipo receptor GPS, a final de cuentas denominados los usuarios de las señales de la constelación de satélites.



Figura I-14. Aplicaciones en control de maquinaria y prácticas en campo en la Comisión Nacional del Agua

Algunas aplicaciones típicas dentro del segmento Usuarios son: la navegación en tierra para excursionistas, ubicación de vehículos, topografía, navegación marítima y aérea, control de maquinaria, aplicaciones de teoría de la deriva continental, entre otras (ver figura I-14). Más adelante se centrará la atención en las Aplicaciones Cartográficas (principalmente) desarrolladas en el ámbito de competencia de la Comisión Nacional del Agua.

1.3. FUNCIONAMIENTO.

De forma precisa, un receptor GPS capta dos tipos de datos:

- a) los datos del Almanaque, que consisten en una serie de parámetros generales sobre la ubicación y la operatividad de cada satélite en relación al resto de satélites de la red. Esta información puede ser recibida desde cualquier satélite, y una vez que el receptor GPS tiene la información del más reciente Almanaque recibido y la hora precisa, sabe dónde buscar los satélites en el espacio;
- b) la otra serie de datos, también conocida como Efemérides, hace referencia a los datos precisos, únicamente, del satélite que está siendo captado por el receptor GPS. Son parámetros orbitales exclusivos de ese satélite y se utilizan para calcular la distancia exacta del receptor al satélite.

Cuando el receptor ha captado la señal de -al menos- tres satélites calcula su propia posición en la Tierra mediante la triangulación de la posición de los satélites captados, y nos presenta los datos de Longitud, Latitud y Altitud calculados. Los receptores GPS pueden recibir, y habitualmente lo hacen, la señal de más de tres satélites para calcular su posición. En principio, cuantas más señales recibe, más exacto es el cálculo de posición.

Los satélites transmiten constantemente en dos ondas portadoras. Estas ondas portadoras se encuentran en la banda L (utilizada para transmisiones de radio) y viajan a la Tierra a la velocidad de la luz. Dichas ondas portadoras se derivan de la frecuencia fundamental, generada por un reloj atómico muy preciso:

- La portadora L1 es transmitida a 1575.42 MHz (10.23 x 154)
- La portadora L2 es transmitida a 1227.60 MHz (10.23 x 120)

La portadora L1 es modulada por dos códigos. El Código C/A o Código de Adquisición *Gruesa* modula a 1.023MHz (10.23/10) y el código P o Código de Precisión modula a 10.23MHz. La banda L2 es modulada por un código solamente. El código P en L2 modula a 10.23 MHz (ver Figura I-15).

Los receptores GPS utilizan los diferentes códigos para distinguir los satélites. Los códigos también pueden ser empleados como base para realizar las mediciones de *pseudodistancia* y a partir de ahí, calcular una posición.

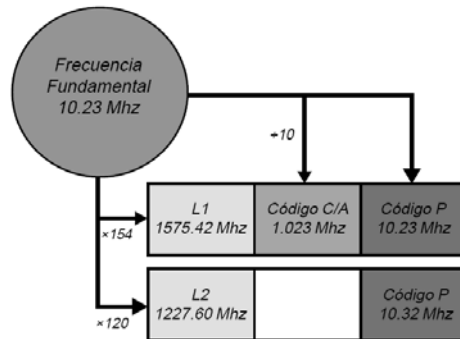


Figura I-15. Valores de las frecuencias que utiliza la señal GPS

Para calcular la distancia a cada satélite, se utiliza la relación correspondiente a la Cinemática (del griego *κινεω, kineo*, movimiento) que es la rama de la mecánica clásica que estudia las leyes del movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las causas que lo producen, limitándose, esencialmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo. Esto es:

$$v = \frac{d}{t}$$

Por lo tanto,

$$d = v t$$

donde,

d =distancia
 v = velocidad
 t = tiempo

Por ejemplo, es posible calcular la distancia que un tren ha viajado si se conoce la velocidad de desplazamiento y el tiempo que ha venido desplazándose a esa velocidad.

Para calcular la distancia del receptor GPS al satélite se requiere conocer la velocidad y el tiempo que tarda la señal en llegar desde el satélite el receptor GPS. La Velocidad es el valor de desplazamiento de las señales de radio, que en este caso viajan a la velocidad de la luz, a 290,000 km/s (aproximadamente 300,000 km/s). Una vez conocida la velocidad, se requiere conocer el tiempo que tarda la señal de radio en viajar desde el satélite al receptor GPS. Esto es un poco difícil de calcular, ya que se necesita conocer el momento en que la señal de radio salió del satélite y el momento en que llegó al receptor.

Como hemos mencionado, la señal del satélite transmite el tiempo marcado por un reloj atómico de alta precisión. El receptor cuenta también con un reloj, que no es atómico y en consecuencia marca una hora diferente a la del satélite, la función del receptor es sincronizar o "hacer coincidir" ambos tiempos, el del satélite y la del receptor GPS (ver Figura I-16).

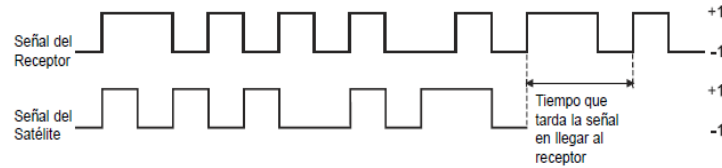
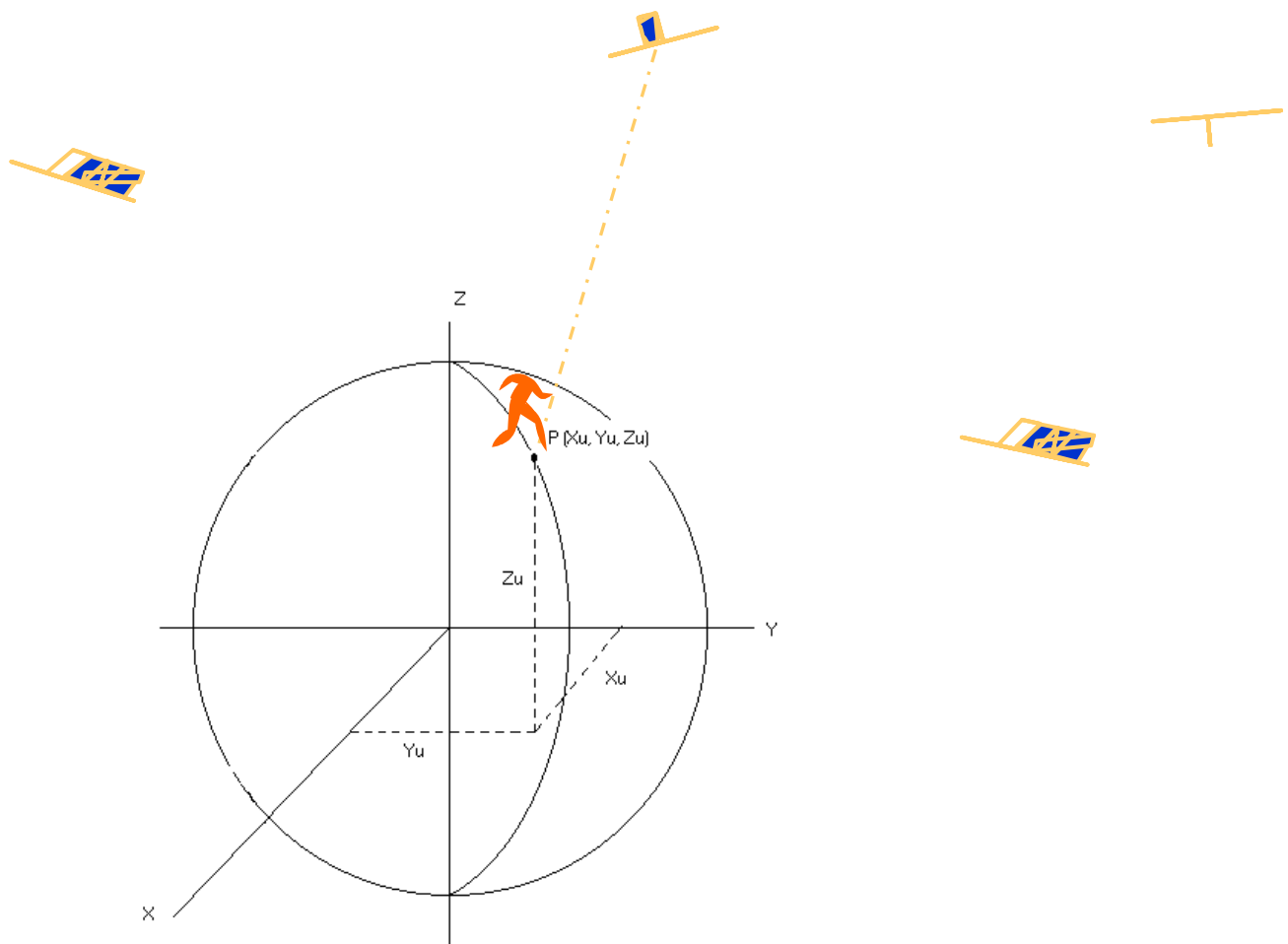


Figura I-16. Señal del receptor y del satélite GPS

El tiempo que tarda en hacer coincidir ambos ciclos de señales es entonces el tiempo que tarda en llegar la señal del satélite al receptor. De esta forma es como se calcula el tiempo que tarda en viajar la señal de radio desde el satélite hasta el receptor GPS.

Por todo lo anterior, se deduce que aquí es importante el cálculo del tiempo como factor para poder conocer la posición de un punto sobre la Tierra haciendo uso de todo el Sistema.

Observemos la siguiente figura:



Partiendo del hecho de que los satélites SV1, SV2, SV3 y SV4 tienen coordenadas conocidas, lo que necesitamos es conocer las coordenadas del punto P sobre la superficie terrestre (X_u, Y_u, Z_u). En primer lugar, el receptor calcula la distancia que existe entre él y cada uno de los satélites enganchados ($d = v t$) es decir:

$$d_1 = \sqrt{(X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2}$$

$$d_1^2 = (X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2 \dots \dots \dots (1)$$

Físicamente el receptor calcula la *distancia*, multiplicando el tiempo de viaje de la señal Δt por el valor asignado a la velocidad de la luz:

$$d_{(Dist. \text{ Sat-Receptor})} = C_{(Vel. \text{ de la Luz})} \cdot \Delta t_{(Retraso \text{ de la Señal})}$$

En el cálculo de este valor, están implicados varios factores⁴:

- Corrección de Reloj del Satélite
- Retraso Atmosférico
- Ruido en la Señal

Por lo que en realidad el receptor calcula una pseudodistancia, la ecuación entonces se modifica como sigue para el satélite 1:

$$Pd_1 = C \cdot \Delta t_1 \dots \dots \dots (2)$$

Pd_1 Es la *pseudodistancia*

Los receptores, procesan y estiman el tiempo de viaje de la señal (Δt), la distancia real resultará de la diferencia de la pseudodistancia menos el factor de corrección Cr :

$$d_1 = Pd_1 - Cr \dots \dots \dots (3)$$

sustituyendo d_1 con la ecuación 1 tenemos:

$$(X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2 = (Pd_1 - Cr)^2 \dots \dots \dots (4)$$

De lo anterior podemos decir que para el cálculo están involucradas las siguientes constantes y variables:

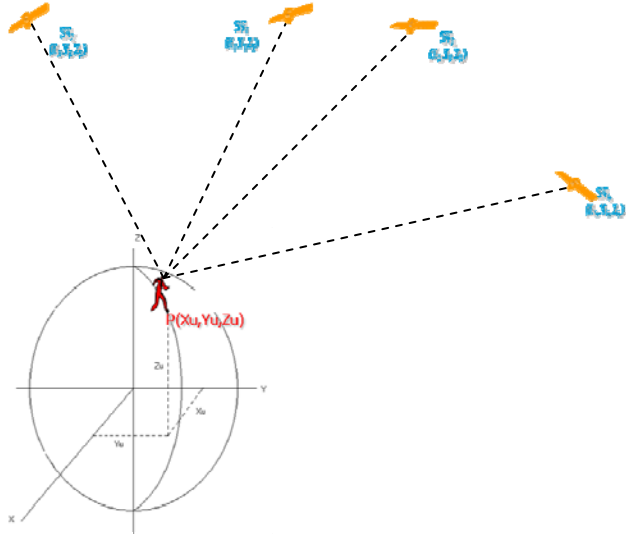
Valores conocidos	Incógnitas
X_1, Y_1, Z_1 : Coordenadas del SV ₁	X_u, Y_u, Z_u : Coordenadas Usuario
t_u : Hora de observación en el receptor del Usuario	C_r : Corrección del reloj del receptor del usuario
t_{sv1} : Hora de observación en el reloj atómico del SV ₁	
C : Velocidad de la luz (300,000 km/s)	

Las incógnitas a saber son 4:

- Coordenadas del Receptor X_u, Y_u, Z_u
- Corrección del reloj del receptor GPS del usuario

⁴ Estos factores son compensados, antes de incluirlas en el cálculo de la posición, quedando solo por determinar la Corrección en el Reloj del Receptor.

Si se cuenta con la señal de al menos 4 satélites, entonces es posible obtener el siguiente sistema de ecuaciones,



$$(X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2 = (Pd_1 - Cr)^2$$

$$(X_2 - X_u)^2 + (Y_2 - Y_u)^2 + (Z_2 - Z_u)^2 = (Pd_2 - Cr)^2$$

$$(X_3 - X_u)^2 + (Y_3 - Y_u)^2 + (Z_3 - Z_u)^2 = (Pd_3 - Cr)^2$$

$$(X_4 - X_u)^2 + (Y_4 - Y_u)^2 + (Z_4 - Z_u)^2 = (Pd_4 - Cr)^2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$(X_i - X_u)^2 + (Y_i - Y_u)^2 + (Z_i - Z_u)^2 = (Pd_i - Cr)^2$$

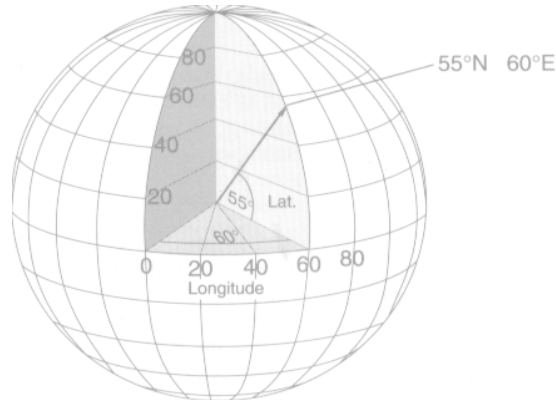
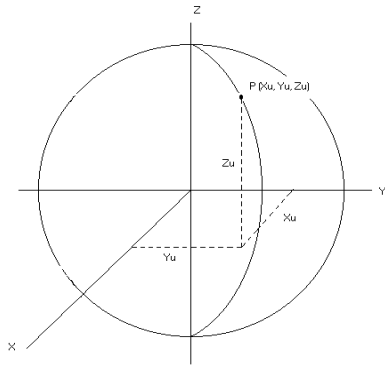
para $i = 1, \dots, 4$

(x_i, y_i, z_i) : coordenadas del satélite

4 ecuaciones ~ 4 incógnitas: solución única

Si hay más de 4 satélites visibles se calculan las *pseudodistancias* respecto a todos los satélites visibles, obteniendo así un sistema con más

ecuaciones que incógnitas, lo que simplifica el cálculo de la posición. El sistema está diseñado para que sobre cualquier punto de la superficie terrestre haya al menos 4 satélites visibles.



El receptor transformará las coordenadas del punto P(Xu, Yu, Zu) en Coordenadas Geodésicas, Latitud, Longitud y Altitud (sobre el elipsoide).

1.3.1. DATOS COMPLEMENTARIOS.

Al igual que se ha gestado el esfuerzo de los USA en este ámbito, otros países del mundo han formado su propia constelación de satélites; tal es el caso de la constelación GLONASS de propiedad rusa, la china cuyo nombre es COMPASS y la de la Unión Europea GALILEO.

Tabla 1. Comparativa básica de 3 Constelaciones de satélites

CARACTERÍSTICA	NAVSTAR GPS	GLONASS	GALILEO
País	Estados Unidos de América	Rusia	Unión Europea
Compañía Impulsora	Departamento de Defensa de EUA (<i>NAVSTAR Systems Ltd</i>)	Gobierno Ruso	Agencia Espacial Europea (ESA)
Número de satélites	24 en 6 planos orbitales	24 en 6 planos orbitales	30 (27 activos y 3 de reserva)
Tipo de órbita	Media (20,200 km); inclinación 63°; período de 12 hrs	Media (19,200 km) en 6 planos orbitales; inclinación 64.8°; período de 11 hrs 15 min	Media (23,616 km) en tres planos a 120°, con planos inclinados a 56° del Ecuador. Período de 14 horas para completar la órbita de la Tierra
Frecuencias	Banda L ($L1=1.57542$ GHz, $L2=1.2276$ GHz)	Banda L ($L1=1.609$ GHz, $L2=1.251$ GHz)	<ul style="list-style-type: none"> - 4 frecuencias en el rango de 1164-1215 MHz (E5A-E5B) - 3 frecuencias en el rango de 1260-1300 MHz (E6) - 3 frecuencias en el rango de 1559-1591 MHz (L1).
Vida útil aprox.	7.5 años cada satélite	7.5 años cada satélite	20 años toda la constelación
Uso original	Principalmente Militar	Principalmente Militar	Uso civil
Interoperabilidad⁵	Si	Si	Si: con GPS y GLONASS
Precisión⁶	De 5 a 10m absoluta en posición horizontal, 2x en vertical	De 5 a 10m absoluta en posición horizontal, 2x en vertical	± 4.0 metros [horizontal] ± 7.7 metros [vertical]

Hay que mencionar que China también se encuentra en fase de impulso con su Constelación de satélites denominada COMPASS y que estará disponible en un futuro a mediano plazo.

El sistema de navegación por satélite COMPASS (también conocido como Beidou-2) es un proyecto que lleva a cabo la República Popular China y que tiene como objetivo desarrollar un sistema de navegación por satélite independiente. El actual sistema Beidou (constituido por 4 satélites) es de carácter experimental y tiene una cobertura y aplicaciones limitadas. Sin embargo, con el sistema COMPASS, China planea desarrollar un verdadero sistema global de navegación por satélite formado por 35 satélites.

Ésta constelación incluirá 5 satélites de órbita terrestre geosíncrona (GEO) y 30 de órbita terrestre media (MEO), que ofrecerán una completa cobertura del globo. El sistema estará preparado para proveer dos niveles de servicios; servicios libres para el pueblo chino y servicios autorizados solo para uso militar.

⁵ Se refiere a la compatibilidad en radiofrecuencias, que es esencial para hacer que los sistemas actuales, GPS, GLONASS y GALILEO sean interoperables y compatibles entre sí.

⁶ Las precisiones en GALILEO aún son estimadas, ya que se menciona en la bibliografía que puede incluso alcanzar el submetro de precisión en posición absoluta pero con acceso restringido por cuota en uso civil.

Los servicios libres tendrán una exactitud de localización con un error inferior a los 10 metros de distancia, una sincronización de reloj con un error de unos 50 ns y una precisión en la medición de la velocidad de 0.2 m/s de margen.

Los servicios militares serán aún más precisos que los anteriores, y podrán ser usados para comunicaciones, además de que suministrarán información sobre el estado del sistema. Dos satélites del sistema COMPASS fueron lanzados a principios del 2007. En los próximos años, China planea continuar experimentando con el sistema y llevar a cabo operaciones de configuración del mismo. Con respecto al proyecto europeo, si bien, el intento de GALILEO es el de mostrar productos de valor agregado a sus usuarios, hasta el momento de editar este documento, sólo se han lanzado dos satélites Galileo para realizar pruebas; los satélites Galileo definitivos empezarán a lanzarse en 2010. La Comisión Europea, brazo ejecutivo de la UE, está firmando contratos para construir la infraestructura de seguimiento y control desde tierra, además de toda la constelación de satélites, pero empieza a sentirse preocupación por la viabilidad de esos contratos con las nuevas limitaciones presupuestarias y de plazos.

Mientras Galileo acumulaba retrasos, los chinos desarrollaban su sistema COMPASS / Beidou. Los funcionarios chinos han informado a la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la agencia de Naciones Unidas que asigna el espectro de frecuencias de radio para uso de satélites, que China piensa transmitir señales en la longitud de onda que la Unión Europea quiere utilizar en el Servicio Público Regulado del Galileo. El Servicio Público Regulado es una frecuencia encriptada para fines gubernamentales, de inmigración, de seguridad pública y —potencialmente— militar, que funcionaría en paralelo con los servicios básicos del programa Galileo, que pretenden ser comerciales.

Con las políticas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, el primer país que use una frecuencia específica tiene preferencia sobre ella, y los siguientes proveedores de servicios que transmitan en la misma banda deben garantizar que sus retransmisiones no interfieren con las señales previamente autorizadas.

Y eso fue lo que en un principio argumentaban los USA, cuando incluso llegaron a solicitar por escrito⁷ a la Unión Europea (UE) que desistieran de llevar a cabo el proyecto GALILEO, que entre otras cosas menciona una trasgresión a la seguridad de la OTAN con la puesta en marcha de su proyecto. Estados Unidos se había opuesto desde el primer momento al proyecto Galileo en favor del GPS porque entendía que supondría serios retos y problemas a la OTAN. Finalmente estadounidenses y europeos llegaron a un acuerdo de complementariedad de ambos sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) (Ver **Anexo C**, copia del documento enviado por Paul Wolfowitz, subsecretario de defensa estadounidense, a los ministros de la UE solicitando que abandonen el proyecto de sistema de posicionamiento GALILEO).

⁷ Fuente: <http://www.zdnet.fr/actualites/internet/0,39020774,2106129,00.htm>

I.4. MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO CON RECEPTORES GPS.

Existen diferentes métodos para obtener una posición empleando un receptor GPS. El método a utilizar depende de la precisión requerida por el usuario y el tipo de receptor disponible. En un sentido amplio de la palabra, estas técnicas pueden ser clasificadas conforme a lo siguiente:

En función de la onda o código utilizados para calcular las distancias:

- **Pseudodistancias.** En este caso se utilizan los códigos C/A y el P. Este método es el menos preciso, pero el más rápido; en menos de 3 minutos se puede comenzar a obtener coordenadas.
- **Diferencia de fase.** Utiliza las ondas portadoras. Este método es muy preciso, pero tiene los siguientes inconvenientes;
 - Supone necesariamente el empleo de dos o más equipos GPS (método relativo)
 - El tiempo de inicialización del sistema es notablemente superior, en ciertos equipos, próximo a los 60 minutos. Este tiempo se puede reducir mediante técnicas que suponen el empleo de receptores sofisticados y costosos con capacidad para registrar el código P o a estacionarse dos veces en cada punto durante una hora entre medidas.
 - Los resultados válidos sólo están disponibles a partir de un postproceso informático, por ello no es posible obtenerlos en tiempo real.
 - Se necesita que durante la inicialización y, según el método de medida, durante el desplazamiento entre los puntos, no se pierda la señal de al menos cuatro satélites en ningún momento. En caso de perderla hay que volver a inicializar el sistema. Esto último ya ha sido mejorado en algunos receptores GPS que existen en el mercado, marcando así una diferencia en el desempeño de los equipos al momento de editar este documento.

Otra clasificación se basa en el número de equipos empleados:

- **Navegación Autónoma** empleando sólo un receptor simple. Utilizado por excursionistas, barcos en alta mar y las fuerzas armadas. La Precisión de la Posición es de 5 a 10m para usuarios civiles y alrededor de 2m para usuarios militares (Figura I-17).

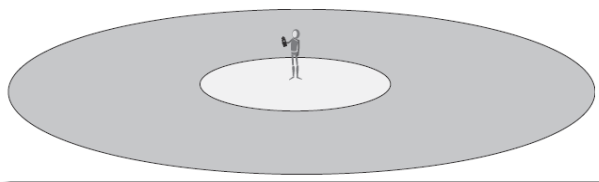


Fig. I-17. Posicionamiento absoluto con receptor GPS

Debido a que la señal GPS es emitida por satélites que se encuentran a miles de Kilómetros de los receptores y éstas atraviesan diversas capas de la ionósfera y la tropósfera esta señal llega debilitada e interferida a los receptores GPS⁸. Por ello, la precisión máxima que se puede obtener con un único receptor GPS, en el mejor de los casos, no supera algunos metros de precisión.

La anterior precisión es suficiente para excursionismo y para un navegador de automóvil, que nos guía de forma aproximada por las rutas que vamos a realizar, pero es insuficiente para numerosas actividades técnicas y científicas.

- **Método Diferencial.** Para poder obtener coordenadas con mayor precisión, existe el método diferencial⁹. Si se desea mejorar la precisión de las mediciones, se puede colocar un receptor en

⁸ Nuñez-García del Pozo, A. , J.L. Valbuena Durán, J. Velasco Gómez. "GPS, La Nueva era de la Topografía" Ciencias Sociales, Madrid 1992.

⁹ López Cuervo, S. "Topografía". Mundi Prensa, Madrid 1993.

un punto de coordenadas conocidas (por ejemplo uno de los vértices geodésicos dispuestos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía), cercano a otro punto cuyas coordenadas se quieren hallar, situando otro receptor en dicho punto.

Ambos receptores reciben información de forma simultánea de los mismos satélites. Puesto que existe un receptor estacionado sobre un punto de coordenadas conocidas, se pueden hallar los errores de la observación comparando estas coordenadas con las que resulten del procesado de los datos recogidos. Al estar ambos puntos próximos entre sí, se puede asumir que el error cometido será del mismo orden de magnitud y por consiguiente realizar las oportunas correcciones sobre los resultados proporcionados por el receptor, aumentando de esta manera la precisión de las observaciones sobre puntos de coordenadas desconocidas, hasta precisiones centimétricas. Esta técnica se denomina método diferencial o de posicionamiento relativo.

Si se dispone de un radioenlace entre los dos receptores estas correcciones pueden ser transmitidas y los resultados pueden visualizarse en tiempo real; si no es el caso de contar con radios en los extremos, será necesario efectuar un postprocesado de esta información en un equipo de cómputo.

- **Método Diferencial Corregido.** Más comúnmente conocido como *Differential Global Positioning System (DGPS)*, el cual proporciona precisiones del orden de 0.5m - 5m. Utilizado para navegación costera, adquisición de datos para SIG (Sistemas de Información Geográfica), agricultura automatizada, entre otros. Este método es el de más reciente generación; sin embargo, requiere de infraestructura especial para albergar una Estación de Referencia GPS y un radiotransmisor para enviar las correcciones en tiempo real a los equipos móviles necesarios (ver Figura I-18).

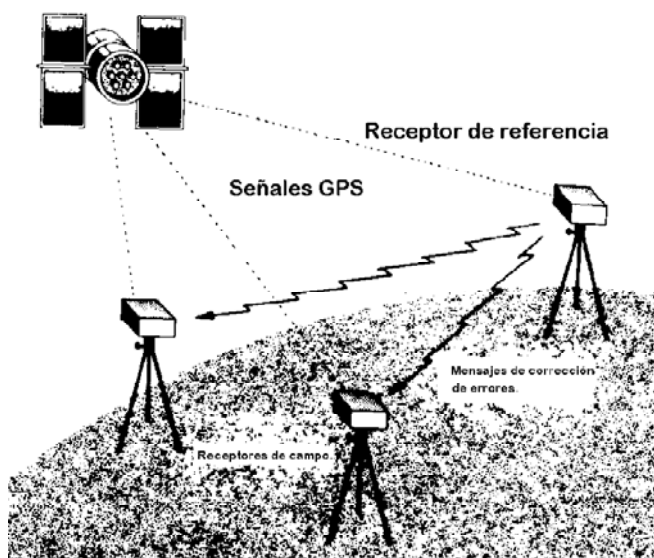


Fig. I-18. Esquema del GPS diferencial, utilizando un radioenlace que transmite en tiempo real las correcciones a los receptores cercanos. Imagen tomada de Trimble¹⁰.

Esto obliga a que se deban utilizar al menos dos receptores GPS si se desea mejorar la precisión obtenida. Esto se puede realizar adquiriendo por parte del usuario un receptor más, con el consiguiente costo económico o utilizar una Estación de Referencia GPS a la cual nos podemos conectar y de esta forma obtener sus registros y efectuar las correcciones diferenciales.

¹⁰ Hurn, J. "GPS Diferencial explicado claramente" GRAFINTA, Madrid 1993.

▪ **Método Diferencial de Fase.**

En este caso, la técnica empleada es bastante diferente a la anterior. No sólo se utilizan las informaciones contenidas en la señal de los satélites, sino el desfase de la propia señal entre un punto de referencia y el punto de medición. Esta técnica sirve especialmente para los levantamientos topográficos y viene a complementar, mas no a sustituir los métodos tradicionales de medición sobre el terreno (Figura I-19).

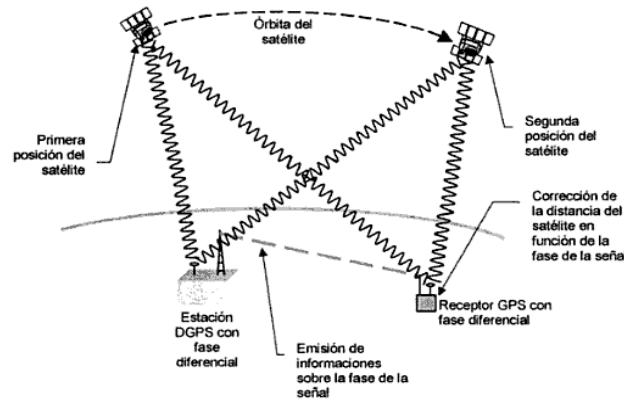


Fig. I-19. Medición con Fase Diferencial GPS. Tomada de Correia, Paul. "Guía Práctica del GPS". Madrid 2000

Este método permite medir dos puntos alejados hasta 30 kilómetros con una precisión comprendida entre un milímetro y un centímetro, en función de los equipos utilizados. A partir de 30 kilómetros, los retrasos introducidos por la ionósfera tienen el riesgo de no resultar suficientemente corregidos.

Dicha medición debe ser estática; de hecho, no puede efectuarse una medición si el receptor es móvil. Se utiliza un solo satélite y se llevan a cabo varias mediciones con diferentes posiciones del satélite. La posición exacta se deduce por cálculo. Una mayor precisión implica el uso de varios satélites. Generalmente, las observaciones (datos de observación geodésicos) simplemente son registradas o almacenadas, para luego procesarlas en un equipo de cómputo que las compara con las del lugar de referencia (puntos de control).

El tratamiento en tiempo real de las observaciones permite conseguir una precisión del orden del centímetro. No obstante, esta técnica necesita la transmisión de datos a muy alta velocidad, receptores GPS de gran calidad como los de tipo geodésico y un procesamiento de datos a fondo. El precio de estos equipos aún en día es muy elevado¹¹.

Dentro de las clasificaciones que podemos encontrar en la literatura, también se pueden clasificar según el movimiento al que es sometido el equipo GPS:

- **Estático.** El receptor permanece inmóvil en un punto concreto
- **Dinámico.** El receptor es desplazado mediante un itinerario (ruta) por el usuario, ya sea registrando coordenadas de manera discreta o continua.

Existen muchas formas de realizar las mediciones según las distintas combinaciones de estos métodos (Tabla 2), pero algunos quedan descartados en ciertas aplicaciones, ya sea por su baja precisión, por su excesiva demanda de tiempo para realizar las observaciones o por la imposibilidad de su realización en

¹¹ Precio promedio de un equipo de doble frecuencia, tipo geodésico = 50,000 USD. En su versión más completa (diciembre de 2009)

zonas montañosas, follaje denso o encañonamiento del sitio (desempeño vs precisión). De forma general, los métodos más frecuentes de localización son los siguientes:

- *Estático absoluto.* Se obtienen las coordenadas mediante pseudodistancias. Las medidas en tiempo real con el código S tardan dos o tres minutos como máximo y tienen una precisión del orden decamétrico. También se pueden realizar muchas medidas aumentándose la precisión en gabinete.
- *Dinámico absoluto.* Hay que utilizar el método de pseudodistancias, da la posición en tiempo real y su precisión es de 30m. Este método se utiliza en la navegación comercial.
- *Estático relativo.* Utiliza al menos dos receptores, uno de ellos localizado en un punto de coordenadas conocidas. Así se reducen mucho los errores de localización. Con el método de pseudodistancias y observaciones largas se llega a precisiones de 1m, si bien se suele admitir de 2 a 5m. Con el método de diferencia de fase se obtiene una precisión hasta de 0.025m, si los receptores están separados sólo unos kilómetros. Se puede alcanzar con este método precisiones milimétricas haciendo uso de otras técnicas.
- *Dinámico relativo.* También con dos receptores, uno fijo y otro móvil. Con el método de pseudodistancias la precisión es de 3 a 10m. Las medidas pueden ser en tiempo real si se usan radiotransmisores para enviar las correcciones que proporcionan distintos organismos privados en su mayoría, ya sea por radio o por satélite. Con el método de diferencia de fase se llega a una precisión Decimétrica.

Tabla 2. Resumen de métodos de levantamiento con receptores GPS. (tomado de Roberto Rodríguez-Solano, *et. al.*)

MÉTODO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN		NO. DE RECEPTORES	TIEMPO DE INICIALIZACIÓN	
	PSEUDODISTANCIAS	MEDIDA DE FASE		PSEUDODISTANCIAS	MEDIDA DE FASE
Estático absoluto	Decamétrica	-	1	2-3 minutos	-
Dinámico absoluto	Decamétrica	-	1	2-3 minutos	-
Estático relativo	1-5 m	0.25 m	2 ó más	2-3 minutos	10-60 minutos
Dinámico Relativo	3-10 m	Decimétrica	2 ó más	2-3 minutos	10-60 minutos

I.5. PRINCIPALES FUENTES DE ERROR EN EL SISTEMA.

A continuación se describen las fuentes de error que en la actualidad afectan de forma significativa a las medidas realizadas con el GPS:

- **Perturbación ionosférica.** La ionosfera está formada por una capa de partículas cargadas eléctricamente que modifican la velocidad de las señales de radio que la atraviesan.
- **Elevación del satélite.** Las señales de satélites que se encuentran en un ángulo de elevación bajo se verán más afectadas que las señales de satélites que se encuentran en un ángulo de elevación mayor (ver Figura I-20). Esto es debido a la mayor distancia que la señal tiene que viajar a través de la atmósfera cuando el satélite se encuentra en un ángulo bajo.

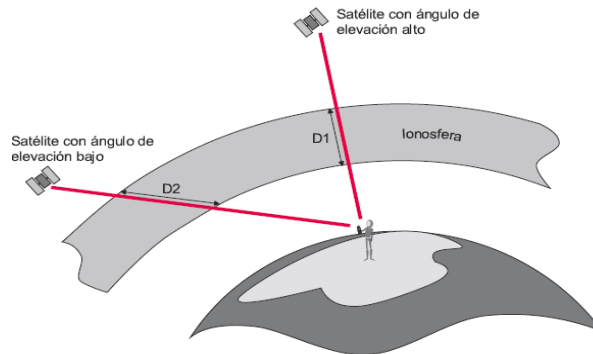


Fig. I-20. Error producido por la elevación del satélite al momento de la observación

- **Fenómenos meteorológicos.** En la tropósfera, cuna de los fenómenos meteorológicos, el vapor de agua afecta a las señales electromagnéticas disminuyendo su velocidad. Los errores generados son similares en magnitud a los causados por la ionosfera, pero su corrección es prácticamente imposible.
- **Imprecisión en los relojes.** Los relojes atómicos de los satélites presentan ligeras desviaciones a pesar de su cuidadoso ajuste y control; lo mismo sucede con los relojes de los receptores.
- **Interferencias eléctricas imprevistas.** Las interferencias eléctricas pueden ocasionar correlaciones erróneas de los códigos pseudoaleatorios o un redondeo inadecuado en el cálculo de una órbita. Si el error es grande resulta fácil detectarlo, pero no sucede lo mismo cuando las desviaciones son pequeñas y causan errores de hasta un metro.
- **Disponibilidad Selectiva (S/A).** La Disponibilidad Selectiva es un proceso aplicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos a la señal GPS. Lo anterior tiene como finalidad denegar, tanto a usuarios civiles como a las potencias hostiles, el acceso a toda la precisión que brinda el GPS, sometiendo a los relojes del satélite a un proceso conocido como "dithering" (dispersión), el cual altera el tiempo ligeramente. Además, las efemérides (o la trayectoria que el satélite seguirá), son transmitidas ligeramente alteradas respecto a las verdaderas. El resultado final es una degradación en la precisión de la posición.

Vale la pena hacer notar que el S/A afectaba a los usuarios civiles que utilizaban un solo receptor GPS para obtener una posición autónoma. Los usuarios de sistemas diferenciales no se veían afectados de manera significativa por este efecto. Actualmente, la Disponibilidad Selectiva se encuentra "apagada" por decreto presidencial a partir del 1 de mayo del 2000 (ver Anexo D, Documento donde se declara esta normativa por parte del Presidente de los USA).

- **Anti-Spoofing (A-S).** El efecto *Anti-Spoofing* es similar al efecto S/A, ya que ha sido concebido con la idea de no permitir que los usuarios civiles y las fuerzas hostiles tengan acceso al código P de la señal GPS, obligándolos a emplear el código C/A, al cual se aplica el efecto S/A. El efecto *Anti-spoofing* encripta el código P en una señal conocida como código Y. Sólo los usuarios con receptores GPS militares (USA y sus aliados) pueden descifrar el código Y.

Nota: En este sentido, cabe hacer la aclaración que los receptores militares son más precisos porque no utilizan el código C/A para calcular el tiempo que tarda en llegar la señal desde el satélite al receptor GPS. Únicamente emplean el código P. El código P modula a la portadora con una frecuencia de 10.23 Hz, mientras que el código C/A lo hace a 1.023 Hz. Las distancias se pueden calcular con mayor precisión empleando el código P, ya que este se transmite 10 veces más rápido por segundo que el código C/A. Sin embargo, muy a menudo el código P se ve afectado por el *Anti-Spoofing (A/S)*. Esto significa que, únicamente las fuerzas militares (equipadas con receptores GPS especiales), pueden descifrar el código P encriptado, también conocido como código Y.

Por todas estas razones, los usuarios de receptores GPS militares (Figura I-21) generalmente obtendrán precisiones del orden de 0.5 metros, mientras que los usuarios de equipos GPS civiles equivalentes únicamente alcanzarán precisiones de Receptor GPS militar portátil de 5 a 10 metros (OJO: todo esto antes de la declaración de eliminar la Disponibilidad Selectiva en mayo del 2000).



Figura I-21. Receptor GPS militar. Tomado de Leica Geosystems, cortesía de Rockwell

- **Error multitrayectoria.** Las señales transmitidas desde los satélites pueden sufrir reflexiones antes de alcanzar el receptor (ver figura I-22). Los receptores modernos emplean técnicas avanzadas de proceso de señal y antenas de diseño especial para minimizar este error, que resulta muy difícil de modelar al ser dependiente del entorno donde se ubique la antena GPS.
- **Interferencia** por "Disponibilidad Selectiva S/A". Constituye la mayor fuente de error y es introducida deliberadamente por el mando militar del Departamento de Defensa de los USA (actualmente deshabilitada para usuarios civiles).

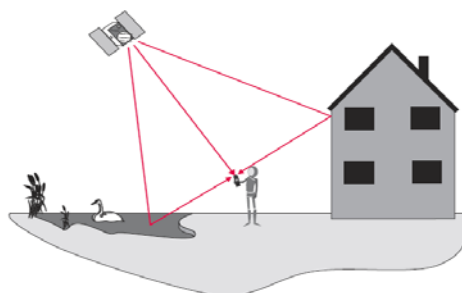


Figura I-22. Error por la multitrayectoria sufrida por las señales de radio de los satélites recibidas en los equipos GPS

- **Topología receptor-satélites.** Los receptores deben considerar la geometría receptor-satélites visibles utilizada en el cálculo de distancias, ya que una determinada configuración espacial puede aumentar o disminuir la precisión de las medidas. Los receptores más avanzados utilizan un factor multiplicativo que modifica el error de medición de la distancia (*dilución de la precisión geométrica*)

Las fuentes de error pueden agruparse si dependen o no de la geometría de los satélites. El error debido a la Disponibilidad Selectiva (S/A) y los derivados de la imprecisión de los relojes son independientes de la geometría de los satélites, mientras que los retrasos ionosféricos, troposféricos y los errores multitrayectoria dependen fuertemente de la topología de los satélites. Los errores procedentes de las distintas fuentes se acumulan en un valor de incertidumbre que va asociado a cada medida de posición GPS.

I.5.1. CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LOCALIZACIÓN GPS.

Debido a las múltiples fuentes de error anteriormente comentadas, los receptores GPS posicionan con un cierto grado de incertidumbre. Ofrecen una estimación de la posición, valor medio, a lo largo de un intervalo de tiempo con una determinada dispersión. De forma estándar se puede caracterizar esta dispersión mediante el error medio cuadrático (EMC) definido como la raíz cuadrada de la media de los errores al cuadrado, pudiendo referirse a una, dos o tres dimensiones.

En receptores GPS/GLONASS y DGPS (por sus siglas en inglés *Differential GPS*) los errores de posicionamiento, en un intervalo de horas se ajustan a una distribución normal, no ocurriendo así con el receptor GPS en modo absoluto debido al error S/A. En los dos primeros casos, el error en las medidas sigue una distribución de probabilidad normal en cada eje, por lo que se pueden deducir las probabilidades asociadas a los mismos. Para análisis unidimensional, el valor de una medida se encuentra en el intervalo [valor medio $\pm 2\sigma$] en el 95% de los casos¹². En el caso bidimensional (ejes norte y este), el porcentaje de dispersión que está dentro de un círculo de radio EMC depende de la distribución, siendo del 98% en el caso circular (A. Pozo-Ruz, *et al*).

Para las medidas GPS y GPS/GLONASS la distribución es elíptica, por lo que se aproxima a una distribución unidimensional, con probabilidad asociada del 95%¹³.

Los fabricantes de receptores GPS definen la precisión de las medidas de posición obtenidas con sus receptores mediante el Error Circular Probable (CEP), que se define como el radio del círculo en el que se encuentra la estimación más probable de la posición en un porcentaje del 95% o CEP 95%, en asociación con el EMC y del 50% o CEP 50%.

¹² Siendo σ la desviación típica de la distribución

¹³ Understanding GPS: Principles and Applications, Editor Elliot D. Kaplan, Artech House, 1996.

1.5.2. DILUCIÓN DE LA PRECISIÓN.

La Dilución de la Precisión (DOP) es una medida de la fortaleza de la geometría de los satélites y está relacionada con la distancia entre estos y su posición en el cielo. El DOP puede incrementar el efecto del error en la medición de la distancia a los satélites.

Este principio puede ser ilustrado mediante la siguiente Figura I-23:

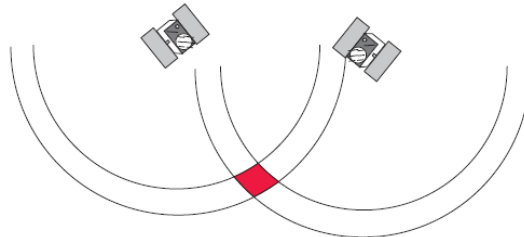


Figura I-23. Satélites con buena distribución, poca incertidumbre en su posición

La distancia hacia los satélites se ve afectada por los errores en la distancia previamente descritos. Cuando los satélites están bien distribuidos, la posición se puede determinar dentro del área sombreada del diagrama y el margen de error posible es mínimo.

Cuando los satélites están muy cerca unos de otros, el área sombreada aumenta su tamaño, incrementando también la incertidumbre en la posición (Figura I-24).

Dependiendo de la dimensión, se pueden calcular diferentes tipos de Dilución de la Precisión.

VDOP – Dilución Vertical de la Precisión. Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección vertical.

HDOP – Dilución Horizontal de la Precisión. Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección horizontal.

PDOP – Dilución de la Precisión en Posición. Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D.

GDOP – Dilución de la Precisión Geométrica. Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D y en tiempo. El valor DOP más útil a conocer es el GDOP, ya que es una combinación de todos los factores. Sin embargo, algunos receptores calculan el PDOP o HDOP, valores que no toman en consideración al componente de tiempo. La mejor manera de minimizar el efecto del GDOP es observar tantos satélites como sean posibles. Recuerde, sin embargo, que las señales de satélites con ángulo bajo de elevación generalmente tienen una gran influencia de las fuentes de error.

Cabe aclarar que el procesador interno del receptor GPS calcula y permite visualizar al usuario estos factores de dilución de la precisión al momento de realizar las observaciones.

Como regla general, cuando se utilice el receptor GPS para topografía, lo mejor es observar satélites con un ángulo de elevación mayor a 15° sobre el horizonte. Las posiciones más precisas serán calculadas por lo general cuando el GDOP tiene un valor bajo, usualmente menor que 8.

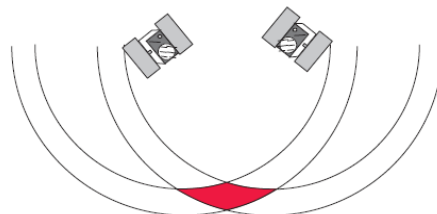


Figura I-24. Satélites con mala distribución, alta incertidumbre en su posición

1.5.3. CORRECCIÓN DE ERRORES MEDIANTE TÉCNICAS DIFERENCIALES (DGPS).

En aplicaciones que no requieren gran precisión se puede utilizar un receptor con un único canal y bajo costo, que calcula la distancia a cuatro satélites en un intervalo de 2 a 30 segundos. Ahora bien, la precisión de las medidas se ve afectada por el movimiento del satélite durante el cómputo y por el tiempo que se tarda en obtener las posiciones, debido a lecturas repetitivas de todos los mensajes de la constelación.

El requerimiento de una localización precisa y continua en tiempo real, ha conducido al desarrollo de receptores con un mayor número de canales (8-12 uno para cada satélite a enganchar) capaces de disminuir al máximo el error de localización utilizando los métodos de posicionamiento diferencial. Así, un receptor GPS ubicado en una posición conocida de la Tierra calcula su distancia a un conjunto de satélites; la diferencia entre la posición calculada y la localización exacta del receptor constituye el error en la medida. Este error se transmite en un código predefinido (RTCM *Radio Technical Commission Maritime*) y cualquier usuario-receptor con capacidad de corrección diferencial puede acceder a él para corregir su posición. Esta técnica elimina prácticamente los errores S/A siempre que el receptor diferencial esté próximo a la base emisora de la corrección.

Las correcciones pueden enviarse desde una estación base propiedad de los usuarios, desde una estación base virtual (por ejemplo el servicio *Omnistar*) y vía estaciones de radio comerciales (*Rasant*). En todos estos casos el modo de operación del DGPS se denomina de área global (WADGPS) ya que el error debido a cada satélite se procesa de modo individual.

1.6. ASPECTOS GEODÉSICOS.

1.6.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

El hombre primitivo se movía lentamente por la faz de la Tierra, tan sólo a la velocidad que le permitían sus piernas (unos 5 km/h a buen paso). Si tomamos en cuenta que además debía detenerse para cubrir sus necesidades primarias y las de la tribu (cazar, beber, cocinar, descansar), es evidente que le requería un gran esfuerzo y tiempo recorrer distancias muy pequeñas, comparadas éstas con el radio de la Tierra.

En estas condiciones, es fácil entender porqué al principio se pensaba que la Tierra era plana: Había que recorrer grandes distancias para notar el efecto del radio de curvatura de la superficie terrestre.

No obstante, conforme la humanidad empezó a utilizar medios de transporte más avanzados (bestias de carga, embarcaciones), fue capaz de recorrer mayores distancias en menor tiempo, y surgió la necesidad de desarrollar las artes de la navegación. Asimismo, el efecto de la curvatura de la Tierra empezó a hacerse más evidente.

Hay elementos que conducen a pensar en una Tierra que no es plana. Por ejemplo, durante los eclipses lunares (cuando la Tierra se interpone entre la Luna y el Sol), la sombra que se aprecia sobre la Luna es circular, lo que sugiere que la Tierra es una esfera. No obstante, algunos personajes de la antigüedad (por ejemplo, el poeta Homero¹⁴) atribuían esto a que la Tierra era un disco plano. Otras formas más exóticas fueron propuestas en diferentes culturas.

¹⁴ Tomado de Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Eratosthenes> y <http://nacc.upc.es/tierra/node9.html>

I.6.2. PRIMERAS MEDICIONES DE LA TIERRA.

Sin embargo, varios pensadores griegos importantes (Pitágoras, Aristóteles, Arquímedes y Platón) se inclinaban por la esfericidad de la Tierra, si bien más por razones filosóficas que científicas (pensaban que la esfera era el sólido más perfecto).

En todo caso, el filósofo griego Eratóstenes de Cyrene (actual Libia) fue el primer personaje conocido que estimó la circunferencia de la Tierra utilizando el método científico, aproximadamente en el 240 antes de nuestra era. Eratóstenes vivió del año 276 AC al 194 AC, y otro de sus logros es el desarrollo de un sistema que utilizaba los conceptos de latitud y longitud.

El método utilizado por Eratóstenes fue el siguiente: Él había recibido reportes indicando que en el pueblo de Syene (llamado Aswan en el Egipto moderno), el día del solsticio de verano el Sol de mediodía se reflejaba en las aguas del fondo de un pozo vertical profundo (Figura I-25).

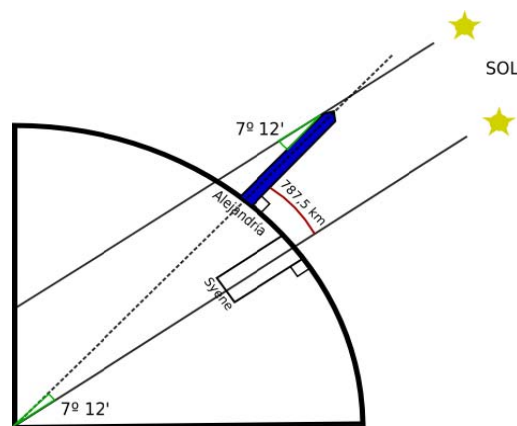


Figura I-25. Diagrama del cálculo de Eratóstenes

Por otra parte, él observó que el mismo día el Sol no estaba completamente vertical sobre Alejandría (localizada al norte de Syene, casi en el mismo meridiano. Ver Figura I-26), donde vivía, porque un gran obelisco generaba sombra, incluso a mediodía. Eratóstenes midió el ángulo de dicha sombra con la vertical y determinó que era de $7^{\circ}12'$.

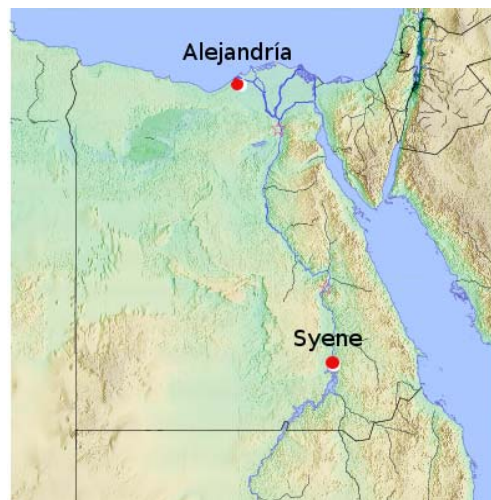


Figura I-26. Posición relativa entre Alejandría y Syene

Como mencionamos anteriormente, al observar el mismo día el sol no estaba completamente vertical sobre Alejandría, donde vivía, utilizó los servicios de un contador de pasos, que eran personas que se ganaban la vida midiendo distancias entre dos puntos dados que caminaban con una longitud de marcha muy regular y que iban contando el número de pasos.

Esa unidad de medida se convirtió en la denominada estadio, donde un *estadio* equivalía a 157.5m. Así, encontró que entre Alejandría y Syene la distancia era de 5,000 *estadios* (Torge, 1991).

Con la información anterior, es sencillo estimar el radio de la Tierra utilizando la ecuación:

$$R = \frac{\Delta G}{\gamma}$$

Donde ΔG es la longitud del arco entre Alejandría y Syene, mientras que γ es el ángulo geocéntrico entre estas ciudades, expresado en radianes.

Gracias a esto, Eratóstenes estimó que la circunferencia de la Tierra era de 39,375 km (es decir, un radio de 6,267 km). Dado que el radio medio de la Tierra aceptado hoy en día es de unos 6,371 km (40,030 km de circunferencia), el error cometido estaba alrededor del 2%, una hazaña formidable para la época y los medios con que se contaba.

Eratóstenes no fue el único en llevar a cabo estos cálculos. Muchos años después el matemático hindú Aryabhata (476-550 DC) logró estimar el tamaño de la Tierra con menos de 1 % de error, el mejor valor obtenido hasta la Revolución Científica¹⁵.

I.6.2.1. SITUACIÓN DURANTE LA EDAD MEDIA.

Sin embargo, durante la edad media se perdieron buena parte de los conocimientos obtenidos en la antigüedad. Claudio Ptolomeo (90-168 DC) se basó en las estimaciones de *Posidonius* de una circunferencia terrestre de poco menos de 29,000 km para elaborar sus mapas del mundo conocido. Los trabajos de Ptolomeo se convirtieron en dogma de la iglesia católica y por tanto durante mucho tiempo se tomaron como verdad estos incorrectos valores.

La errónea creencia en una Tierra más pequeña sirvió a Cristóbal Colón para sustentar su plan de llegar a las *Indias Orientales* (el actual sureste asiático) navegando hacia el oeste. Hoy en día sabemos que era algo prácticamente imposible para los barcos de la época. De no haber estado América situada relativamente cerca de Europa, la travesía por el Océano Pacífico hubiera resultado demasiado larga, y los marineros hubieran muerto de hambre y sed (Figura I-27).

¹⁵ Wikipedia, 2006a. Aryabhata. <http://en.wikipedia.org/wiki/aryabhata>.

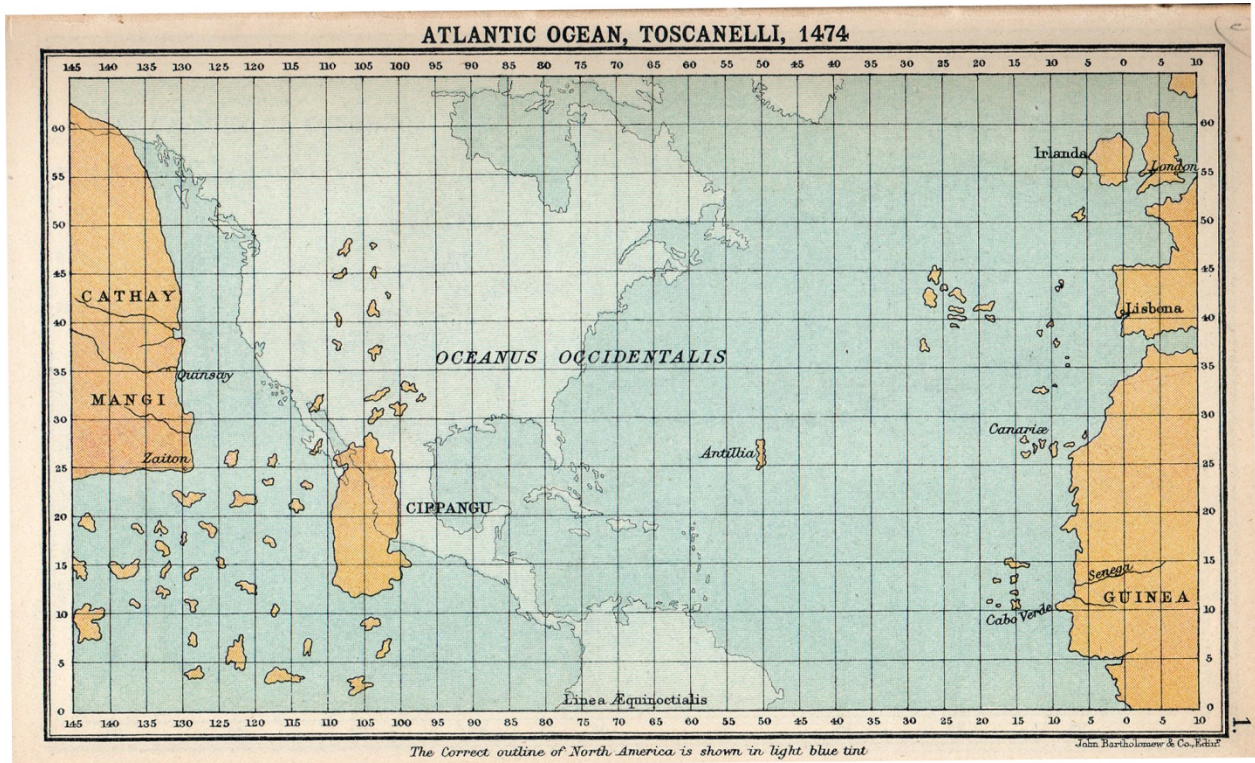
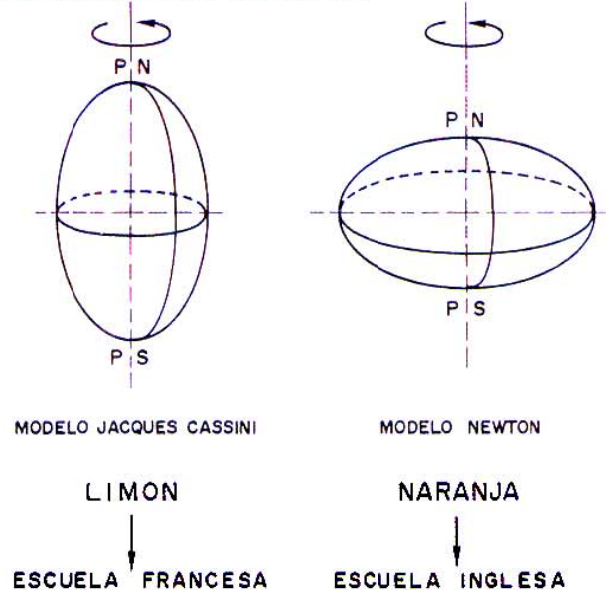


Figura I-27. Reproducción de un Mapa de Toscanelli (1474) usado por Cristóbal Colón para llegar a las Indias. Ahí se aprecia CATHAY, que es un anglicismo para nombrar en su forma alternativa lo que ahora se conoce como China y MANGI, como nombraban los mongoles a los habitantes de la China Meridional. Nótese la superposición del continente americano que desconocía la misión de Colón y la casualidad al encontrarlo. Fuente: <http://bigthink.com/ideas/2134>

I.6.2.2. REVOLUCIÓN CIENTÍFICA.

A partir de la revolución científica, la invención del telescopio, el teodolito y los logaritmos permitieron hacer mediciones y cálculos más precisos. El astrónomo francés Jacques Cassini (1677-1756) midió en 1713 el arco del meridiano que va desde Dunkerque hasta Perpignan. Luego, dividió este arco en dos trozos y determinó que las longitudes de arco correspondientes a un grado *no eran iguales en ambos trozos*. Concluyó, correctamente, que la forma de la Tierra no era realmente una esfera sino que se acercaba más a un elipsoide de revolución, como lo muestra la Figura I-28:

LA GUERRA DE LOS ELIPSOIDES - FIGURA DE APROXIMACION DE LA TIERRA



"VERDADERA PUGNA ENTRE CIENTIFICOS DE LA EPOCA"

Figura I-28. El Elipsoide y la Esfera. Fuente: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=570

Sin embargo, Cassini erróneamente calculó que un grado de arco al norte de París era *más corto* que un grado de arco al sur, lo que sugería que el eje más largo del elipsoide era paralelo al eje de los polos. Esto contradecía los cálculos hechos por Sir Isaac Newton y Christiaan Huygens, basados en la Teoría de la Gravitación, y que predecían un elipsoide achatado en los polos¹⁶.

Adicionalmente, el astrónomo J. Richer descubrió en 1672 que un péndulo que había ajustado en París para que oscilara con un período de un segundo, al trasladarlo a Cayena (Guyana Francesa, muy cerca del Ecuador) ya no estaba calibrado sino que oscilaba más lentamente. Esto sugería que el valor de la gravedad había disminuido, y por ende la distancia al centro de la Tierra había aumentado.

Esta situación impulsó a la Academia Francesa de Ciencias a despachar dos expediciones con el fin de realizar mediciones más precisas: Una a Laponia (1736-1737) y la otra a Perú (1735-1744). Los resultados de estas expediciones permitieron confirmar que los elipsoides teóricos de Newton y Huygens se acercaban más a la realidad¹⁷ (**ver Anexo E. The Shape Of The Earth**).

Un resultado de la expedición a Perú (así como otra realizada por George Everest a la India) fue el descubrimiento de que la *vertical astronómica* (Figura I-29) era modificada cuando se hacían mediciones cerca de grandes cordilleras montañosas (debido a la atracción gravitatoria de las grandes masas de roca). Esto condujo al concepto de *geoide* (forma del campo gravitatorio terrestre) y al estudio de las *ondulaciones del geoide*, de gran importancia para determinar el nivel medio del mar y la correcta trayectoria de los satélites artificiales, entre otros fenómenos.

¹⁶ Wikipedia, 2006g. History of Geodesy. http://en.wikipedia.org/wiki/history_of_geodesy

¹⁷ Fernie, 1991. The Shape Of Earth. American Scientist. Vol. 79

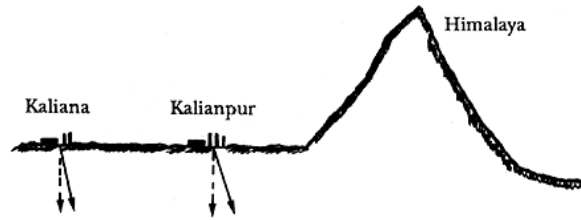


Figura I-29. La vertical astronómica o línea de la plomada. A medida que la plomada se encuentra cercana a un cuerpo montañoso considerablemente grande, es atraída por él.

Hoy en día, la ciencia que se encarga de *la medición y el mapeo de la superficie terrestre* es llamada *Geodesia* (Torge, 1991), ciencia fundamental para la navegación global moderna de mayor precisión.

I.6.3. LA FORMA GENERAL DE LA TIERRA.

Para hacer cálculos sencillos y aproximados, es conveniente pensar que la Tierra es una esfera. No obstante, como se vió en el apartado anterior, en la realidad la forma de nuestro planeta es más compleja: Ligeramente achatada en los polos y abultada en el Ecuador, con el hemisferio sur un poco más voluminoso que el norte, y con la rugosidad propia que le da el relieve del terreno.

Observaciones detalladas mediante técnicas modernas han mostrado que si exagerásemos estas características, la Tierra se asemejaría más bien a una *pera*, como muestra la siguiente Figura I-30 adaptada de (Seeber, 1993).

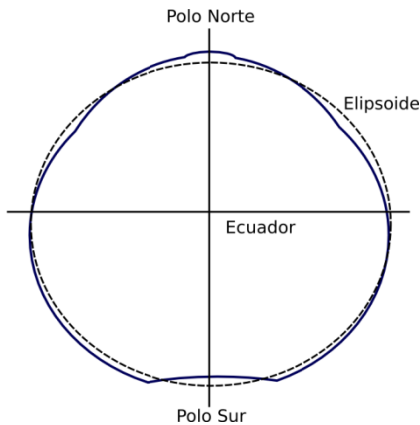


Figura I-30. Forma de "pera" de la Tierra

Nótese que a esta forma general hay que agregarle la correspondiente a la orografía de la superficie terrestre que es muy compleja, tal y como lo refleja la Figura I-31, que muestra el relieve del planeta, incluyendo el fondo de los océanos.

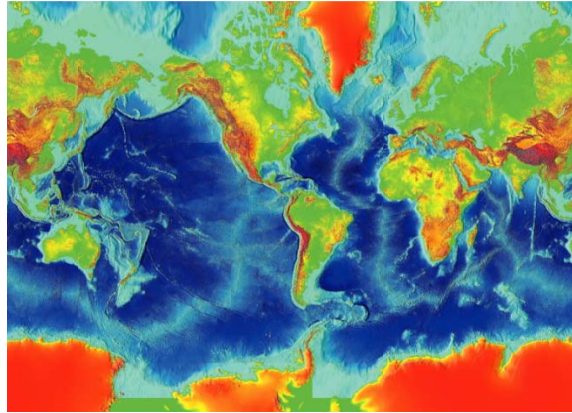


Figura I-31. Relieve de la Tierra. Fuente: NOAA

Por otra parte, hay que tener en cuenta que la altura de la montaña más alta del planeta, el Monte Everest, es de 8,844 m. Esto representa menos del 0.14% del radio medio de la Tierra. Por la razón anterior, es razonable utilizar aproximaciones en vez de la forma general del planeta para muchas aplicaciones, en particular la navegación global.

I.6.4. EL ELIPSOIDE.

En general, es más práctico trabajar la forma de la Tierra como si fuera un *elipsoide*, sin considerar las ondulaciones propias de la topografía. Esto se debe a que el elipsoide es una figura matemática fácil de usar que es lo suficientemente parecida a la forma de la Tierra cuando se están trabajando las coordenadas en el plano: Latitud y Longitud.

Existen diferentes modelos de elipsoides utilizados en geodesia, denominados *elipsoides de referencia*. Las diferencias entre éstos vienen dadas por los valores asignados a sus parámetros más importantes:

- *Semieje ecuatorial (a) o Semieje mayor*: Longitud del semieje correspondiente al ecuador, desde el centro de masas de la Tierra hasta la superficie terrestre.
- *Semieje polar (b) o Semieje menor*: Longitud del semieje desde el centro de masas de la Tierra hasta uno de los polos. Alrededor de este eje se realiza la rotación de la elipse base.

La relación entre el eje ecuatorial y el polar se presenta en la Figura I-32.

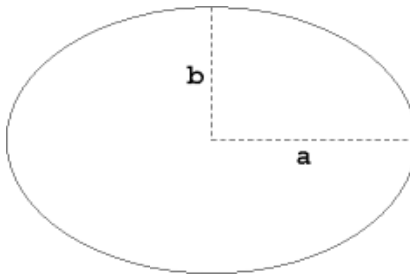


Figura I-32. Ejes de un elipsoide de revolución

Es habitual describir matemáticamente a una elipse mediante la siguiente ecuación:

— —

- **Factor de achatamiento (f):** Este factor representa qué tan diferentes son los semiejes entre sí. Su expresión es:

—

Note que mientras más cerca de cero se encuentre f , más parecido a una esfera es el elipsoide. Por lo general el factor f es muy pequeño, por lo que se acostumbra proporcionar $1/f$. Por la misma razón a veces, y para cálculos simples, se utiliza una esfera en vez de un elipsoide (Fig. I-33).

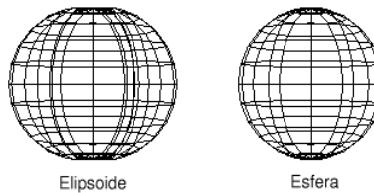


Figura I-33. El Elipsoide y la Esfera

Una manera equivalente de indicar f es mediante la *excentricidad* de la elipse transversal:

—

Que es equivalente a:

Es decir, podemos expresar el valor de excentricidad de esta forma o como el factor de achatamiento del elipsoide al obtener el recíproco de $1/e$. Los valores de estos parámetros para algunos elipsoides de referencia importantes se presentan en la Tabla 3 (adaptada de [μ-blox ag., 1999]):

Tabla 3. Parámetros de elipsoides de referencia¹⁸

Nombre	$a(m)$	$b(m)$	$1/f$
Australian National	6378160.000	6356774.719	298.250000
Bessel 1841	6377397.155	6356078.963	299.152813
Clarke 1866	6378206.400	6356583.800	294.978698
Clarke 1880	6378249.145	6356514.870	293.465000
Everest 1956	6377301.243	6356100.228	300.801700
Fischer 1968	6378150.000	6356768.337	298.300000
GRS 1980	6378137.000	6356752.314	298.257222
International 1924 (Hayford)	6378388.000	6356911.946	297.000000
SGS 85	6378136.000	6356751.302	298.257000
South American 1969	6378160.000	6356774.719	298.250000
WGS 72	6378135.000	6356750.520	298.260000
WGS 84	6378137.000	6356752.314	298.257224
ITRF92	6378137	6356752.31414	298.257222101

¹⁸ μ-blox ag., 1999. Datum Transformations of GPS Positions. <http://www.u-blox.ch>.

Uno de los elipsoides de referencia más utilizados actualmente es el descrito en el sistema denominado *World Geodetic System 84* (WGS-84), desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y que tiene como origen el centro de masas de la Tierra. Su popularidad se debe a que es el utilizado por el sistema de posicionamiento global (GPS).

El *elipsoide WGS-84* define los parámetros para la Tierra indicados en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros de la Tierra según WGS-84

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR
Semieje mayor de la elipse	a	6378.137000 km
Semieje menor de la elipse	b	6356.752314 km
Factor de achatamiento	$f = \frac{a-b}{a}$	1/298.257223563
Velocidad angular de la Tierra	w_e	$7292115 \cdot 10^{-11}$ rad/s

1.6.5. EL GEOIDE.

No obstante la ventaja de ser una figura matemática sencilla, el elipsoide no es adecuado cuando lo que deseamos medir son altitudes. Dado que la mayor parte de la Tierra está cubierta por mares y océanos (70.8 %, según [Wikipedia, 2006d]¹⁹), entonces la superficie de referencia por excelencia para medir altitudes es el nivel medio del mar. Además, este nivel medio es una mejor aproximación a la forma real de la Tierra vista desde el espacio.

El nivel medio del mar, a su vez, depende de las irregularidades en el campo gravitatorio de la Tierra, que alteran su posición. El agua de los océanos del globo busca estar en equilibrio, y por ello tiende a seguir una superficie gravitatoria equipotencial.

Es por esto que se introduce una nueva figura llamada *Geoide*, definida como: *La superficie equipotencial del campo gravitatorio de la Tierra que mejor se ajusta (en el sentido de mínimos cuadrados), al nivel medio global del mar* (ver [National Geodetic Survey, 2006]). Una de las consecuencias de esta definición es que el geoide es *siempre* perpendicular al vector de gravedad local en cada punto.

Es decir, el geoide es definido por leyes de la Física y se dice que es una superficie equipotencial porque cada punto de la misma, el potencial gravitacional o la cantidad de trabajo necesario para superar la aceleración de la gravedad es constante (Liddle, Donn A., 1990)

La Figura I-34 (adaptada de [Seeber, 1993]) muestra una comparación entre el geoide y el elipsoide:

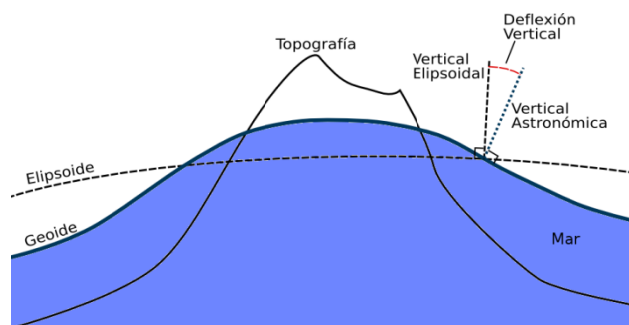


Figura I-34. Comparación entre el Geoide y el Elipsoide

¹⁹ Wikipedia, 2006d. Earth. <http://en.wikipedia.org/wiki/earth>.

Como ya se mencionó, es fácil asociar el geoide al nivel medio del mar en las zonas oceánicas. Esto se muestra en la Figura I-40, donde se grafica la diferencia vertical entre geoide y elipsoide y pueden apreciarse diferencias de hasta 150 m. Por otra parte, sobre los continentes lo que se hace es tomar medidas cuidadosas para extender el concepto a las zonas secas, lo que permite utilizar una referencia de alturas común y coherente (Figura I-35).

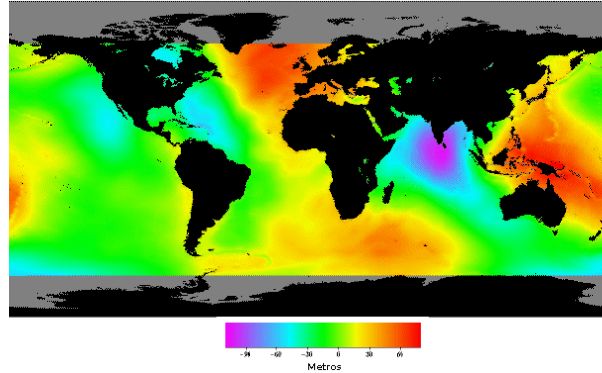


Figura I-35. Diferencia vertical geoide-elipsoide. Fuente: NASA.

Medir el geoide a nivel mundial es una tarea difícil, pues la corteza terrestre no es homogénea y por tanto su densidad no es uniforme, lo que altera la fuerza de gravedad en un punto dado. Asimismo, ya se comentó que grandes masas de rocas (como cordilleras, montañas y volcanes) pueden alterar también el vector de gravedad local. La Tabla 5 muestra densidades para diferentes materiales que componen la superficie terrestre (adaptadas de [Torge, 1991]), mientras que la Figura I-36 presenta una gráfica que muestra (de manera muy exagerada) la forma del geoide en el hemisferio que contiene Europa y África.

Tabla 5. Densidades relativas de materiales de la superficie terrestre

MATERIAL	DENSIDAD (Kg/m^3)
Agua	1030
Sedimentos	2000 a 2500
Granito	2500 a 2800
Flujos de lava	2700
Basalto	2700 a 3100

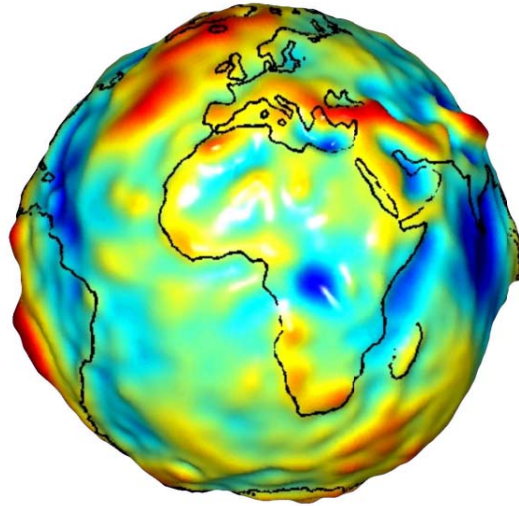


Figura I-36. Geoide en Europa y África. Fuente: Misión GRACE (NASA)

Si bien el geoide es una superficie compleja, es posible *aproximarse* a la expresión del potencial gravitatorio de la Tierra (de donde el geoide se deriva) mediante un *desarrollo en serie en esféricos armónicos* (para mayores detalles consulte [Wikipedia, 2006f] y [Wikipedia, 2006l]).

Por otro lado, es posible relacionar matemáticamente al geoide y el elipsoide mediante la expresión:

$$h = H + N$$

Donde h es la altura de un punto con respecto al elipsoide (*altura elipsoidal*), N es la altura del geoide respecto al elipsoide (*ondulación del geoide*) y H es la altura del punto con respecto al geoide (llamada *altura ortométrica*). La Figura I-37 muestra esta relación.

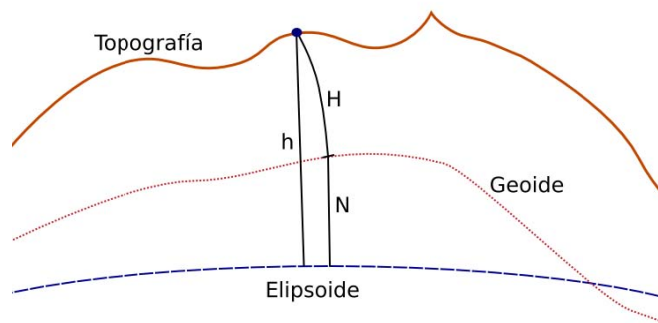


Figura I.37. Relación entre el Geoide y el Elipsoide

Note que tanto h como N son perpendiculares al elipsoide de referencia, mientras que H es la altura medida a lo largo de la *línea de plomada* (perpendicular al geoide y cuya curvatura ha sido exagerada en la figura).

Mediante esta relación, y con la ayuda de las series en esféricos armónicos mencionadas previamente, es posible escribir programas que aproximen los valores del geoide. Un ejemplo de ello es el

proporcionado por la *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA) (ver [NGA, 2006b²⁰] y [NGA, 2006a²¹]), donde se relaciona el geoide con el elipsoide WGS-84.

La Tabla 6 presenta los valores de N (ondulación del geoide) para algunas ciudades del mundo según el *NGA WGS 84 Geoid Calculator* ([NGA, 2006a]).

Tabla 6. Ondulación del geoide para algunas ciudades

CIUDAD	N (m)
Barcelona	48.61
Berlín	39.79
Buenos Aires	14.34
Ciudad de México	-4.77 ²²
Londres	47.37
Madrid	53.44
Quito	26.13
Seattle	-19.38
Singapur	7.03
Tel Aviv	17.30

I.7. SISTEMAS DE COORDENADAS.

Como se ha mencionado en el capítulo anterior y como resumen, podemos decir que la determinación de una posición con GPS consigue un objetivo fundamental de la **Geodesia**: la determinación absoluta de una posición con precisión uniforme en todos los puntos sobre la superficie de La Tierra. Utilizando la geodesia clásica y técnicas topográficas, la determinación de la posición es siempre relativa a los puntos de partida del levantamiento, la precisión obtenida es dependiente de la distancia a este punto. Por lo tanto, el GPS²³ ofrece ventajas sobre las técnicas convencionales.

La ciencia de la **Geodesia** es fundamental para el GPS y, a la inversa, el GPS se ha convertido en la herramienta principal de la Geodesia. Esto se hace evidente si recordamos los objetivos de la **Geodesia**:

1. Establecer y mantener las redes de control geodésico tridimensionales nacionales y globales en tierra, tomando en cuenta la naturaleza cambiante de estas redes debido al movimiento de las placas tectónicas.
2. Medición y representación de fenómenos geofísicos (movimiento de los polos, mareas terrestres y movimiento de la corteza).
3. Determinación del campo gravitacional de La Tierra, incluyendo las variaciones temporales.

Aunque la mayoría de usuarios nunca llevan a cabo las tareas mencionadas, es esencial que los usuarios de equipo GPS tengan un conocimiento general de la geodesia.

Por otra parte, aunque la Tierra parezca ser una esfera uniforme cuando se la observa desde el espacio, su superficie dista mucho de ser uniforme. Debido al hecho de que el GPS debe proporcionar

²⁰ NGA 2006b. WGS 84 Earth Gravitation Model. <http://earth-info.nga.mil/gandg/wgs84/gravitymod/index.html>

²¹ NGA, 2006a. NGA WGS 84 Geoid Calculator. http://earth-info.nga.mil/gandg/wgs84/gravitymod/wgs84_180/intptw.html.

²² Valor obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Sistema para la interpretación de Alturas Geoidales v.3.1 (Geoide Gravimétrico Mexicano GGM06).

²³ Nota: Se refiere a GPS como TODO el sistema, no sólo el equipo receptor y no es lo mismo decir “utilicé un GPS para obtener una coordenada” porque GPS no es un sustantivo.

coordenadas en cualquier lugar de la superficie terrestre, este utiliza un sistema de coordenadas geodésico basado en un elipsoide. Un elipsoide (también conocido como esferoide) es una esfera aplanada o achatada.

El elipsoide elegido será aquel que se ajuste más exactamente a la forma de la Tierra. Este elipsoide no tiene una superficie física, sino que es una superficie definida matemáticamente. Actualmente existen diversos elipsoides o lo que es lo mismo, diferentes definiciones matemáticas de la superficie de la Tierra, tal como lo discutiremos más adelante. El elipsoide utilizado por el GPS es conocido como WGS84 o Sistema Geodésico Mundial 1984 (por sus siglas en inglés *World Geodetic System 1984*).

Un punto sobre la superficie de La Tierra (nótese que esta no es la superficie del elipsoide), puede ser definido utilizando su Latitud, su Longitud y su Altura Elipsoidal (ver Figura I-38). Un método alternativo para definir la posición de un punto es utilizando el sistema de Coordenadas Cartesiano, empleando las distancias sobre los ejes X, Y y Z desde el origen o centro del esferoide. Este es el método básico que emplea el GPS para definir la posición de un punto en el espacio.

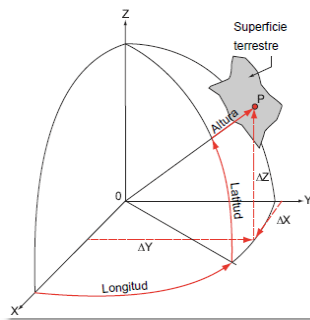


Fig. I-38. Definición del punto P mediante coordenadas Geodésicas y Cartesianas

De la misma manera que con las coordenadas GPS, las coordenadas locales o lo que es lo mismo las coordenadas utilizadas en la cartografía de un país en particular, están basadas en un elipsoide local, diseñado para coincidir con el geoide (ver sección 1.6.3) del área. Usualmente, estas coordenadas serán proyectadas sobre la superficie de un plano para proporcionar coordenadas cartesianas.

Los elipsoides utilizados en la mayoría de los sistemas de coordenadas locales alrededor del mundo fueron definidos por primera vez hace muchos años, antes de la aparición de las técnicas espaciales.

Estos elipsoides tienden a acomodarse lo mejor posible al área de interés, pero no podrían ser utilizados en otras zonas de la Tierra. De aquí que cada país definió un sistema cartográfico/ marco de referencia basado en un elipsoide local (Figura I-39).

Cuando se utiliza GPS, las coordenadas de las posiciones calculadas están basadas en el elipsoide WGS84. Generalmente, las coordenadas existentes están en el sistema de coordenadas locales, por lo que las coordenadas GPS deben ser transformadas a este sistema local.

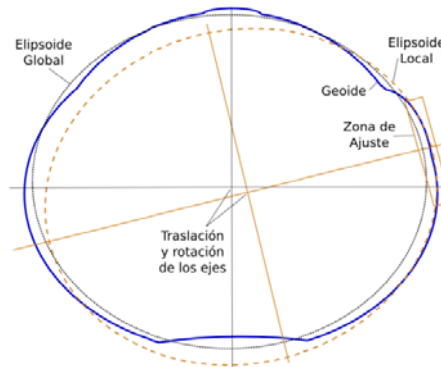


Fig. I-39. Relación entre los elipsoides y la superficie terrestre

I.7.1. EL TEMA DE LA ALTURA.

La naturaleza del sistema GPS también afecta la medición de la altura. Todas las alturas medidas con GPS están dadas en relación a la superficie del elipsoide WGS84. Estas son conocidas como Alturas Elipsoidales. Las alturas existentes son alturas ortométricas medidas en relación al nivel medio del mar.

El nivel medio del mar corresponde a una superficie conocida como geoida. El Geoida puede ser definido como una superficie equipotencial, lo que significa que la fuerza de la gravedad es constante en cualquier punto sobre el geoida. El geoida tiene una forma irregular y no corresponde a ningún elipsoide. La densidad de La Tierra tiene, sin embargo, un efecto sobre el geoida, provocando que éste se eleve en las regiones más densas y caiga en las regiones menos densas.

Recordemos la figura siguiente (ya vista en la sección *el geoida*, Figura I-34). La relación entre el geoida, el elipsoide y la superficie de la Tierra, se muestra en la siguiente ilustración (Figura I-40):

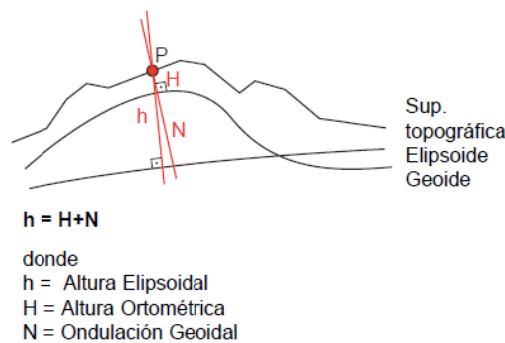


Fig. I-40. Relación entre los elipsoides y la superficie terrestre

Debido a que la mayoría de los mapas existentes muestran las alturas ortométricas (relativas al geoida), la mayoría de usuarios de GPS requieren que las alturas sean también ortométricas. Este problema es resuelto mediante el uso de modelos geoidales para convertir las alturas elipsoidales en alturas ortométricas. En áreas relativamente planas, el geoida puede ser considerado como constante. En tales áreas, el empleo de ciertas técnicas de transformación puede crear un modelo de alturas y las alturas geoidales pueden ser interpoladas a partir de los datos existentes.

I.7.2. TRANSFORMACIONES.

El propósito de estas es el de transformar coordenadas de un sistema a otro. Se han propuesto diferentes métodos para llevar a cabo las transformaciones. La elección de alguno de ellos dependerá de

los resultados requeridos. El procedimiento básico de campo para la determinación de los parámetros de transformación es el mismo, independientemente del método a emplear.

Primero, se debe contar con coordenadas en ambos sistemas de coordenadas (por ejemplo en WGS84 y en el sistema local) para tener por lo menos tres (de preferencia cuatro) puntos comunes. A mayor cantidad de puntos comunes incluidos en la transformación, se tendrá mayor oportunidad de tener redundancia y se podrán verificar los errores. Se consiguen puntos comunes midiendo los puntos con GPS, donde las coordenadas y las alturas ortométricas sean conocidas en el sistema local. (Por ejemplo, en los puntos de control existentes).

De esta forma se pueden calcular los parámetros de transformación, utilizando alguno de los métodos de transformación. Es importante notar que la transformación sólo se deberá aplicar a los puntos que se encuentren en el área delimitada por los puntos comunes en ambos sistemas. Los puntos fuera de esta área no deberán ser transformados utilizando los parámetros calculados, sino que deberán formar parte de una nueva área de transformación.

1.7.2.1. TRANSFORMACIONES DE HELMERT.

La transformación de 7 parámetros de Helmert ofrece una transformación matemáticamente correcta. Esta transformación conserva la precisión de las mediciones GPS y las coordenadas locales. La experiencia ha demostrado que comúnmente, los levantamientos con GPS son medidos con un nivel de precisión mucho más alto que los antiguos levantamientos efectuados con instrumentos ópticos tradicionales.

En la gran mayoría de casos, los puntos medidos previamente no serán tan precisos como los puntos medidos con GPS., lo cual puede provocar una falta de homogeneidad en la red. Al transformar un punto entre diferentes sistemas de coordenadas, lo mejor es tener en cuenta que lo que cambia es el origen desde el cual se derivan las coordenadas y no la superficie sobre la cual se apoyan.

Son necesarios al menos dos pares de puntos.

Las fórmulas empleadas son las siguientes:

$$\begin{aligned}x' &= a \cdot x + b \cdot y + c \\y' &= -b \cdot x + a \cdot y + d\end{aligned}$$

donde:

x', y' = Coordenadas X, Y transformadas

x, y = Coordenadas X, Y originales

a, b, c, d = Parámetros de la transformación

Es decir:

$$X_T = C + \mu R X$$

Donde,

X_T es el vector de transformación

X es el vector inicial

Los parámetros son:

- C : Vector de traslación. Contiene las tres traslaciones a lo largo de los ejes coordenados.
- μ : factor de escala, sin unidades y es expresado en partes por millón (ppm) y debe ser dividido entre 1×10^6 .
- R : Matriz de rotación. Consiste de tres ejes r_x , r_y , r_z (rotaciones pequeñas alrededor de los ejes coordenados). La matriz de rotación es del tipo ortogonal. El valor de rotación está dado en radianes.

Como hemos mencionado, la Transformación de Helmert es utilizada -entre otras aplicaciones- en Geodesia para transformar las coordenadas de un punto a otro sistema de coordenadas. Con esto, es posible convertir levantamientos topográficos locales en el sistema coordenado WGS84 para adecuarlo a sesiones de levantamientos con receptores GPS. Durante el proceso, las coordenadas tipo Gauss-Krüger (x , y), más el valor de altura h se convierten a valores en las tres dimensiones en los siguientes pasos:

1. Cálculo del ancho, largo y altura elipsoidales (W , L , H).
2. Cálculo de X , Y , Z , relativas al elipsoide de referencia del levantamiento.
3. La transformación de los 7 parámetros (donde X , Y y Z cambian casi siempre de forma eventual unos cientos de metros a lo máximo y los valores de distancia cambian pocos milímetros por kilómetro).
4. Debido a esto, las posiciones medidas sobre el terreno se pueden comparar con datos de levantamientos con equipos GPS; a su vez, estos puntos GPS pueden convertirse en puntos agregados al levantamiento en campo al efectuar el cálculo en el orden inverso.

El tercer paso consiste en la aplicación de la Matriz de Rotación, multiplicada por el factor de escala $\mu=1+s$ (con un valor cercano a 1) y la suma de las tres traslaciones c_x , c_y , c_z .

Las coordenadas de un sistema de referencia B resultan de un sistema de referencia A por la siguiente fórmula:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^B = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{bmatrix} + (1 + s \times 10^{-6}) \cdot \begin{bmatrix} 1 & -r_z & r_y \\ r_z & 1 & -r_x \\ -r_y & r_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^A$$

O por cada componente de sus coordenadas:

$$\begin{aligned} X_B &= c_x + (1 + s \times 10^{-6}) \cdot (X_A - r_z \cdot Y_A + r_y \cdot Z_A) \\ Y_B &= c_y + (1 + s \times 10^{-6}) \cdot (r_z \cdot X_A + Y_A - r_x \cdot Z_A) \\ Z_B &= c_z + (1 + s \times 10^{-6}) \cdot (-r_y \cdot X_A + r_x \cdot Y_A + Z_A) \end{aligned}$$

Para obtener la transformación inversa, cada elemento se debe multiplicar por -1.

Los siete parámetros se determinan por cada región con tres o más "puntos idénticos" en ambos sistemas. Para hacerlos coincidir, las pequeñas diferencias (usualmente en valores de unos pocos centímetros) son ajustadas mediante mínimos cuadrados, esto es, son "eliminados" estadísticamente de una manera "plausible".

Nótese que los ángulos de rotación dados en la siguiente tabla están en segundos y se deben convertir a radianes antes de usarse en el cálculo. Para el caso de México, se puede utilizar la Región USA donde se utiliza el Datum WGS84 y el Datum objetivo Clarke 1866.

Tabla 7. Parámetros de transformación para algunos Datums Estándar.

Región	Datum Estándar	Datum Objetivo	C_x (m)	C_y (m)	C_z (m)	s (ppm)	r_x (arcseg)	r_y (arcseg)	r_z (arcseg)
Inglaterra, Escocia y Gales	WGS84	OSGB36 ²⁴	-446.448	125.157	-542.06	20.4894	-0.1502	-0.247	-0.8421
Irlanda	WGS84	Ireland 1965	-482.53	130.596	-564.557	-8.15	1.042	0.214	0.631
Alemania	WGS84	Bessel 1841	-582	-105	-414	-8.3	-1.04	-0.35	3.08
Alemania	WGS84	Krassovski 1940	-24	123	94	-1.1	-0.02	0.26	0.13
Austria(BEV)	WGS84	MGI	-577.326	-90.129	-463.920	-2.423	5.137	1.474	5.297
USA	WGS84	Clarke 1866	8	-160	-176	0	0	0	0

Para transformar las coordenadas de un sistema a otro, los orígenes y ejes del elipsoide deben ser conocidos uno con relación al otro. Con esta información, el desplazamiento en el espacio de X, Y y Z desde un origen hasta el otro, puede ser determinado, seguido de una rotación alrededor de los ejes X, Y y Z y cualquier cambio en la escala entre los dos elipsoides.

La Tierra, como hemos mencionado, no tienen una forma perfecta elipsoidal, pero se le puede describir como un Geoide. Sin embargo, este Geoide se le puede representar a través de innumerables elipsoides. Dependiendo de la ubicación geográfica, se ha utilizado el elipsoide que mejor coincida localmente con el Geoide para fines de topografía y cartografía. La serie de parámetros descrita arriba en la tabla anterior tiene una precisión de 7m para una transformación del elipsoide OSGB36 (Inglaterra) a WGS84. Esta precisión ya sabemos que no es suficiente para topografía, sin embargo, se puede utilizar una tabla adicional en donde se introducen otros valores para fines de traslación, con la finalidad de lograr el centímetro de precisión.

1.7.2.2. OTROS MÉTODOS DE TRANSFORMACIÓN.

Mientras que el método de transformación de Helmert es matemáticamente correcto, no toma en cuenta las irregularidades en el sistema de coordenadas locales, y para obtener valores precisos de altura, debe conocerse el valor de la ondulación geoidal. Debido a esto, existen en el mercado diferentes proveedores que ya incluyen las soluciones correspondientes y ponen a disposición de sus usuarios en sus equipos los algoritmos/programas toda una serie de métodos de transformación.

El llamado **Método de Interpolación** no se basa en el conocimiento del elipsoide local ni de la proyección. Las inconsistencias en las coordenadas locales se tratan estirando o encogiendo las coordenadas GPS para poder encajar de manera homogénea en el sistema local. Además, si se tiene disponible suficiente información altimétrica, se puede construir un modelo de alturas.

²⁴ Ordnance Survey Great Britain, 1936. Elipsoide en Inglaterra. Fuente: Wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Helmert_transformation

De esta manera se compensa la falta de información de ondulación geoidal, siempre y cuando se cuente con suficientes puntos de control. Un método alternativo al de Interpolación es el llamado de **Un paso**, el cual trabaja también con las transformaciones de altura y posición en forma separada. Para transformar la posición, las coordenadas WGS84 se llevan a una proyección Transversa de Mercator temporal. De esta forma, se calculan los giros, desplazamientos y el factor de escala de la proyección temporal a la proyección verdadera.

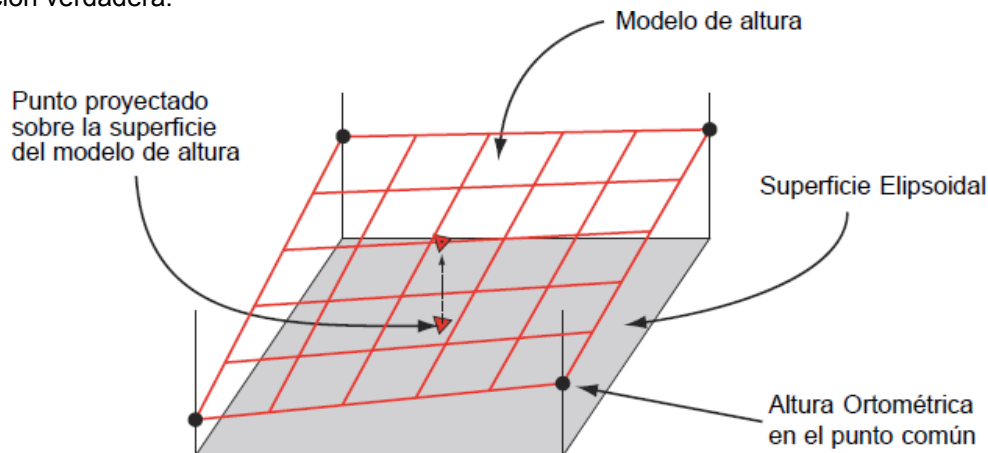


Fig. I-41. Modelo de altura generado por 4 puntos conocidos

La transformación de la altura es un cálculo en una sola dimensión. Este tipo de transformación se puede emplear en áreas donde no se conoce el elipsoide local ni la proyección y donde además, el geoid se mantiene razonablemente constante. Tanto el método de Interpolación como el de *Un Paso* deben estar limitados a un área de más o menos 15km x 15km (Figura I-41).

Una combinación de los métodos de transformación de Helmert e Interpolación se puede encontrar en el método "**Stepwise**". Este método emplea una transformación de Helmert 2D para obtener la posición y una interpolación para obtener las alturas. Este método requiere del conocimiento del elipsoide local y de la proyección.

I.7.3. PROYECCIONES DE MAPAS Y COORDENADAS PLANAS.

La mayoría de topógrafos mide y registra coordenadas en un sistema de cuadrícula ortogonal. Esto significa que los puntos están definidos por su coordenada Este, su coordenada Norte y su altura ortométrica (altura sobre el nivel del mar).

Las proyecciones de mapas les permiten a los topógrafos representar una superficie curva tridimensional sobre una hoja de papel plana. Estas proyecciones se muestran como planos, pero realmente definen pasos matemáticos para especificar las posiciones sobre un elipsoide en términos de un plano (Figura I-42).

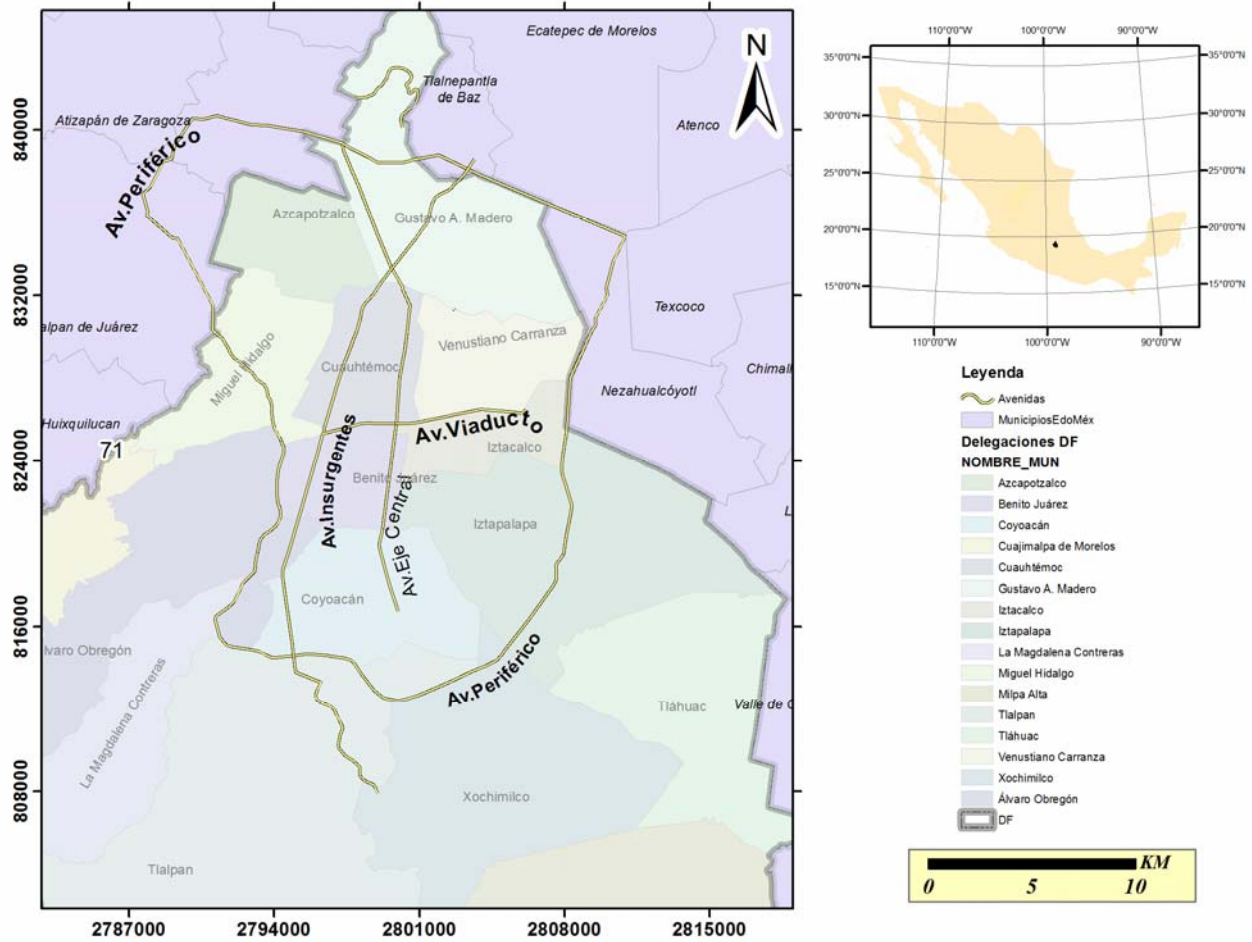


Figura I-42. Mapa de la Ciudad de México y Zona Conurbada basado en coordenadas planas

La forma en que trabaja una proyección se muestra en la siguiente Figura I-43. Los puntos sobre la superficie del esferoide son proyectados sobre la superficie plana desde el origen del esferoide. El diagrama pone de manifiesto el problema de la imposibilidad de representar dimensiones verdaderas o formas sobre tales planos. Las dimensiones verdaderas se pueden representar sólo donde el plano corta al esferoide (puntos c y g).

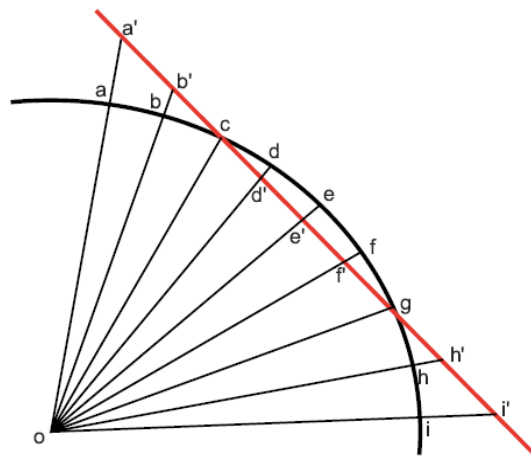


Figura I-43. Idea básica de las proyecciones

1.7.3.1. PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR.

La Proyección Transversa de Mercator es una proyección conforme. Esto significa que las mediciones angulares realizadas sobre la superficie de la proyección son verdaderas. La proyección está basada en un cilindro que es ligeramente más pequeño que el esferoide y después se desarrolla en forma horizontal. Este método es utilizado por muchos países y se adapta especialmente a países grandes cerca del ecuador.

La Proyección Transversa de Mercator se define por:

- Falso Este y Falso Norte.
- Latitud de Origen
- Meridiano Central
- Factor de Escala sobre el Meridiano
- Ancho de Zona

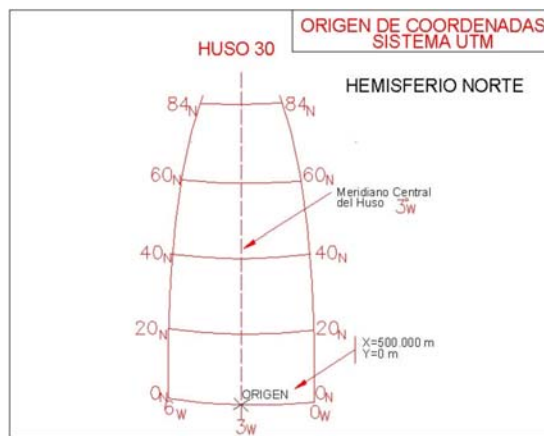


Figura I-44. Origen de las coordenadas UTM (Hemisferio Norte)

El **Falso Este y el Falso Norte** se definen de tal manera que el origen de la cuadrícula de la proyección se pueda ubicar en la esquina inferior izquierda, tal como lo establece la convención general. Con esto se elimina la posibilidad de coordenadas negativas.

La **Latitud de Origen** define la Latitud del eje del cilindro. Generalmente corresponde al ecuador (en el hemisferio norte).

El **Meridiano Central** define la dirección del norte de la cuadrícula y la Longitud del centro de la proyección. La escala varía en la dirección este-oeste. Como el cilindro es, por lo general, más pequeño que el esferoide, la **Escala en el Meridiano Central** es demasiado pequeña, siendo correcta en las elipses de intersección y muy grande en los bordes de la proyección.

La escala en la dirección norte-sur no cambia. Por esta razón, la Proyección Transversa de Mercator es la más adecuada para cartografiar áreas que se extienden en dirección norte-sur.

El **Ancho de Zona** define la porción del esferoide en la dirección este-oeste sobre la cual se aplica la proyección (Figura I-45).

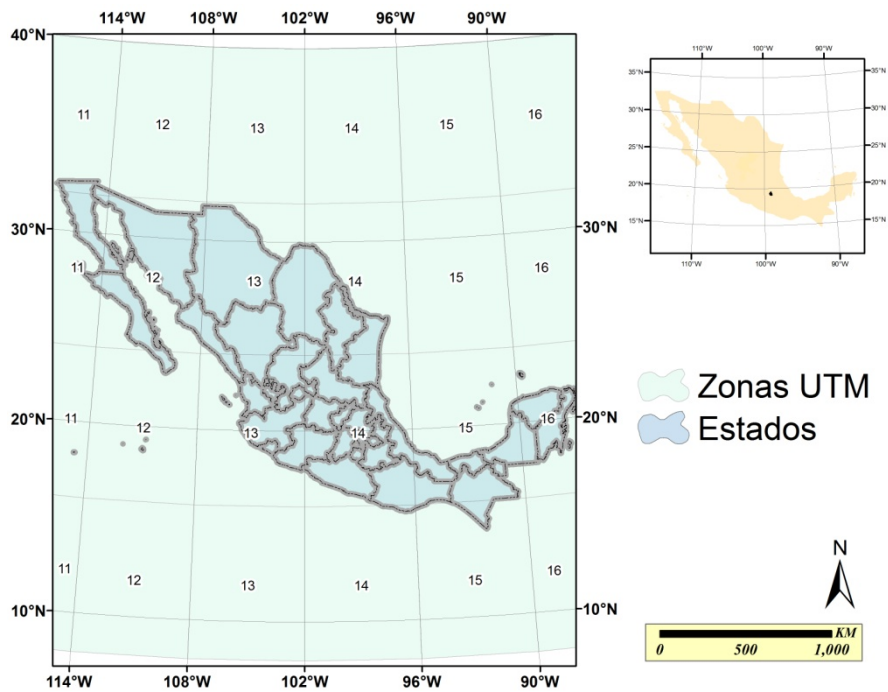


Figura I-45. Zonas UTM en que se encuentra dividida la República Mexicana

La proyección UTM cubre al mundo entre los 80° de latitud norte y los 80° de latitud sur. Es un tipo de proyección transversa de Mercator, donde muchos de los parámetros de definición se mantienen fijos. La Proyección UTM se divide en zonas de 6° de longitud con zonas adyacentes que se superponen 30'.

El parámetro que las define es el Meridiano Central o el Número de la Zona. (Cuando se define uno, el otro queda implícito).

1.7.3.2. PROYECCIÓN DE LAMBERT CON DOS PARALELOS TIPO.

La Proyección Lambert también es una proyección conforme basada en un cono que interseca al esferoide. Resulta ideal para países relativamente pequeños, circulares y regiones cercanas a los polos.

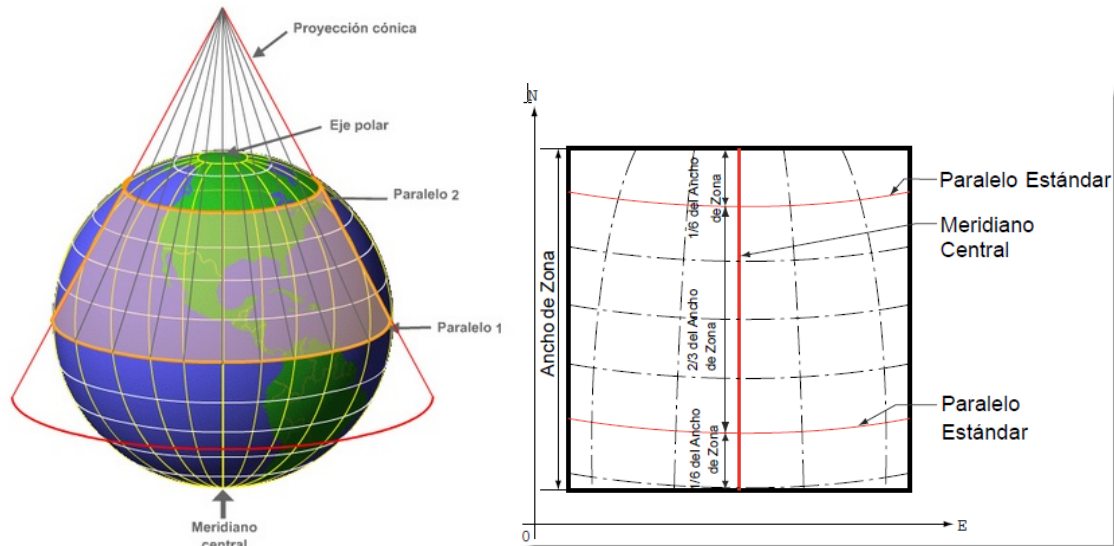


Figura I-46. Proyección cónica con dos paralelos tipo

Los paralelos tipo base o estándar para la República Mexicana son los comprendidos entre los $17^{\circ}30'$ (17.5°) y $29^{\circ}30'$ (29.5°) de latitud norte (Figura I-46).

La proyección de Lambert está definida por:

- Falso Este y Falso Norte
- Latitud de origen
- Meridiano Central
- Latitud del 1^{er} Paralelo Estándar
- Latitud del 2^o Paralelo Estándar

El **Falso Este y el Falso Norte** están definidos de tal manera que el origen de la cuadrícula de proyección se ubique en la esquina inferior izquierda, de acuerdo a la convención general. Con esto se elimina la posibilidad de coordenadas negativas.

La **Latitud de Origen** define la latitud del origen de la proyección.

El **Meridiano Central** define la dirección del norte de la cuadrícula y la Longitud del centro de la proyección.

La **Latitud 1^{er}. Paralelo Estándar** define la latitud en la cual el cono corta por primera vez al esferoide. También define el lugar donde la influencia de la escala en la dirección norte-sur es cero.

La **Latitud del 2^o. Paralelo Estándar** define la segunda latitud en la cual el cono corta en segunda ocasión al esferoide. La influencia de la escala en este punto también es de cero. La escala es muy pequeña entre los dos paralelos estándar y muy grande fuera de ellos, quedando definida por las latitudes de los paralelos estándar sobre los cuales tiene un valor de cero. La escala en la dirección este-oeste no varía.

Para el caso de México y la cartografía oficial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), los parámetros a utilizar en la Proyección Cónica Conforme de Lambert en sitios que incluyen una o más zonas UTM (sentido E-W) son los siguientes (Figura I-47):

Meridiano Central	-102°
Latitud de Referencia	12°
Primer Paralelo Estándar	17.5°
Segundo Paralelo Estándar	29.5°
Falso Este	2,500,000
Falso Norte	0

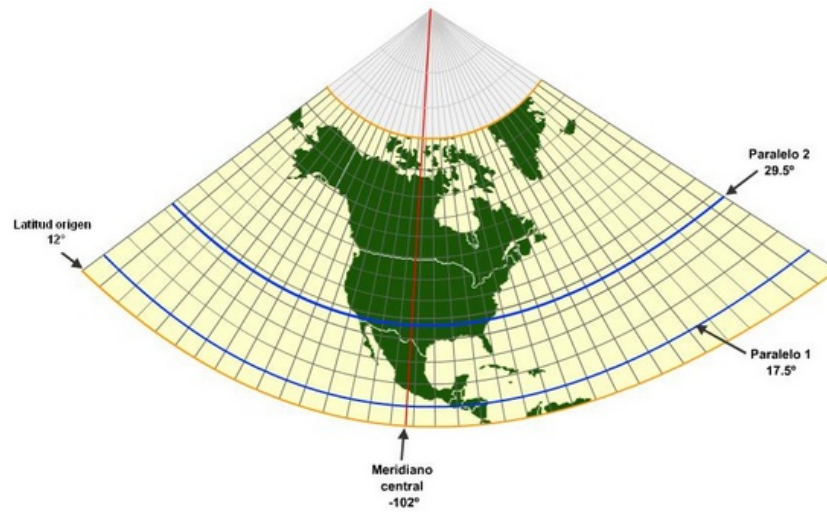


Figura I-47. Paralelos Tipo o estándar para los Estados Unidos Mexicanos.

I.8. PERSPECTIVAS A FUTURO DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.

El futuro de la constelación de satélites GPS está plenamente asegurado. El primer satélite GPS moderno (del bloque II) se lanzó el 14 de febrero de 1989 y el 24^o, que completaba la constelación, el 9 de marzo de 1994. La vida estimada de los satélites es de unos siete años y ya se han repuesto los satélites más antiguos.

El ex presidente de Estados Unidos de América (EUA), Bill Clinton, firmó el 29 de marzo de 1996 una directiva por la que el gobierno de ese país se propuso eliminar la Disponibilidad Selectiva antes del 2006, es decir, dejó de degradar la señal para su uso civil y comercial con el decreto final del 1^o de mayo del 2000 (ver **Anexo D y D1**).

El entonces vicepresidente Al Gore, anunció dos nuevas señales para su empleo en receptores GPS civiles. La primera es segura y ya se está preparando, se llamará L5 y se conoce la frecuencia con la que operará. La creación de la segunda es más dudosa.

En general, en todos los países europeos, así como en los USA, existe una tendencia a incentivar, mejorar y facilitar el uso civil del GPS. La próxima década (2011 al 2020) presenciara una expansión en su uso aún más espectacular que la actual, ya que se prevé que mejorarán las señales, los receptores y se aumentará el número de satélites.

En el sector forestal ocurrirá algo parecido. Con la mejora de los sistemas, de los receptores y su abaratamiento progresivo, se convertirá en una herramienta habitual en bosques y montañas. Los trabajos, la cartografía, los inventarios serán más detallados y de mayor calidad.

En la obra civil, el GPS está comenzando a sustituir a la topografía clásica en el levantamiento de datos del terreno y en el posterior procesamiento para la producción de planos o su visualización en 2D y 3D. Esto no es del todo tajante porque en México aún se recurre a la topografía clásica cuando se trata de terrenos no tan extensos en superficie. Por otra parte el GPS en tiempo real está avanzando enormemente, alcanzando precisiones milimétricas. Por ejemplo, el puente de 16km que unió a Dinamarca y Suecia (Puente Oresund, fecha de inauguración 2 de julio de 2000) se realizó con ayuda de tecnología GPS en tiempo real (RTK GPS).

El GPS está llegando a tales precisiones que ya permite que un equipo de cómputo pueda controlar todo un mecanismo autónomo (máquina no tripulada) de forma totalmente automática. En esta línea de investigación y todavía de manera experimental, la Universidad de Lancaster ha creado una retroexcavadora que, con ayuda del GPS y de un sistema de navegación, un equipo de cómputo controla todas las operaciones y pueden trabajar con un mínimo de control humano.

Algunas de las posibles aplicaciones futuras del GPS podrían ser:

- Seguimiento y limpieza de derrames petroleros.
- Seguimiento de ferrocarriles y aviones para evitar colisiones.
- Localización de vehículos averiados.
- Identificación puntual de *hábitats* para especies protegidas.
- Prospecciones marinas.
- Vigilancia fronteriza.

Por otra parte, la actualización de cartografía digital urbana y rural en México ya se efectúa con receptores GPS incorporados a equipos *PDA* (*Personal Digital Assistant*, Asistente Personal Digital); en donde los usuarios de consultoras dedicadas a la actualización cartográfica a diferentes escalas (1:20,000, 1:10,000 o incluso 1:5,000) llevan precargadas las capas de información vectoriales en sus equipos móviles y verifican en campo la existencia o cambios de rasgos geográficos encontrados (áreas naturales, infraestructura hidráulica, infraestructura urbana, aprovechamientos minerales, entre otros). Pero no sólo se trata del trabajo en campo en sí: los procedimientos no concluyen en sitio, sino que con ayuda de radiomódems o conexiones de banda ancha se publican directamente estas actualizaciones a

un servidor para que esté disponible la información geográfica en tiempo real vía Internet en una Geobase de Datos con atributos y coordenadas. Ver Figura I-48.

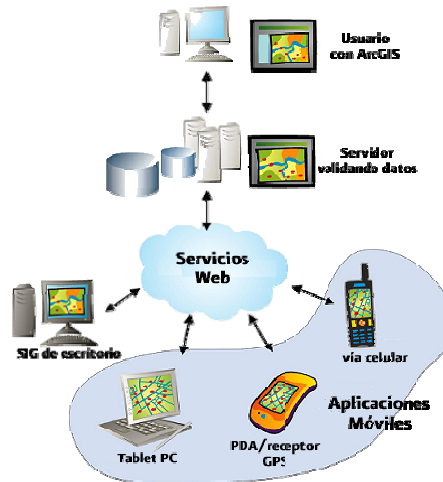


Figura I-48. Conectividad mediante un SIG Móvil instalado en una PDA y acceso a Geobase de Datos. Modificado de esri.com.

Esto aunque ya se encuentra en *voga*, muy pronto será un estándar muy común en agencias dedicadas a los recursos naturales, como es el caso de la propia Comisión Nacional del Agua.

Cabe mencionar que un gran número de estas aplicaciones ya se realizan y el sentido del comentario es que se harán aún más comunes, incluso se podrá hablar como tareas de rutina o servicios ofrecidos como “normales” al usuario en general.

CAPÍTULO II. PRINCIPALES APLICACIONES EN LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA.

II.1. LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. ANTECEDENTES.

Como preámbulo a las actividades que se engloban en la Georreferenciación de infraestructura hidráulica, que administra la Comisión Nacional del Agua, es conveniente partir de las directrices que dan razón de ser a un órgano como la Comisión y sus antecedentes históricos.

La Comisión Nacional del Agua es heredera de una gran tradición hidráulica y a lo largo de su historia ha estado integrada por destacados profesionales y especialistas de diversas disciplinas, reconocidos internacionalmente por su dedicación y capacidad técnica, como han sido y lo son los ingenieros topógrafos.

Dentro de las instituciones que le antecedieron destacan la Dirección de Aguas, Tierras y Colonización creada en 1917; la Comisión Nacional de Irrigación, en 1926; la Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1946 y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en 1976 (Figura II-1).

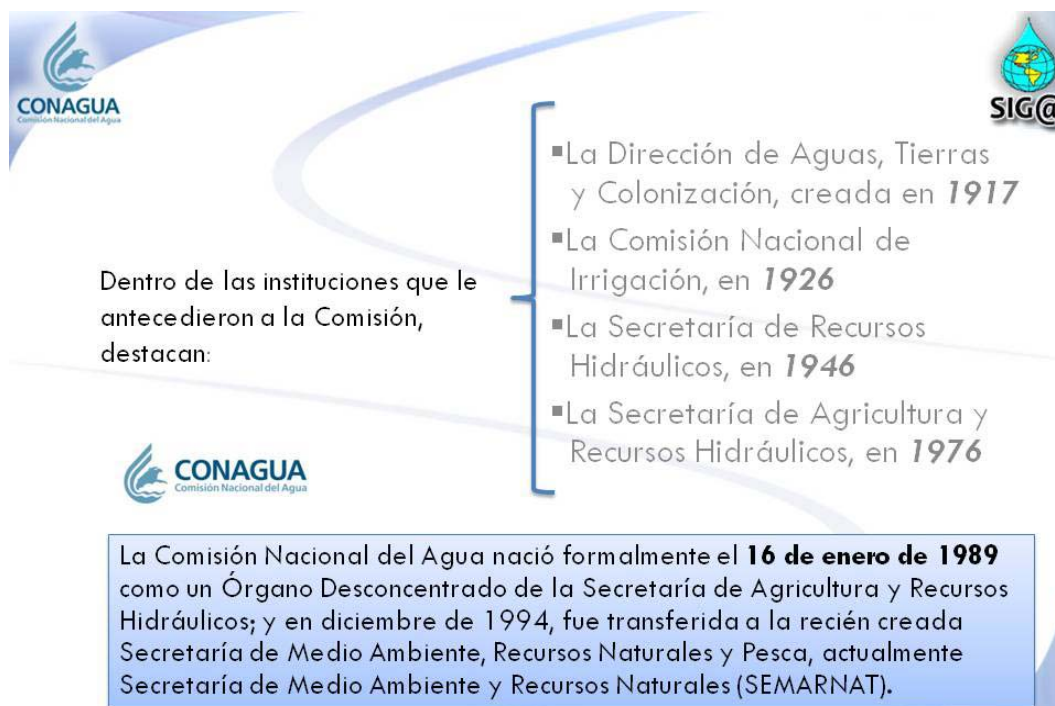


Fig. II-1. Resumen histórico de la Comisión Nacional del Agua

Actualmente, la misión de la Comisión Nacional del Agua consiste en administrar y preservar las aguas nacionales y sus bienes inherentes, para lograr su uso sustentable, con la corresponsabilidad de los tres órdenes de gobierno y la sociedad en general.

La Comisión considera que la participación de la sociedad es indispensable para alcanzar las metas que se han trazado en cada cuenca del país, ya que entre otros aspectos, los habitantes pueden dar la continuidad que se requiere a las acciones planteadas.

Por otra parte, considera que el uso sustentable del agua se logra cuando se cumplen los aspectos siguientes:

1. El agua genera bienestar social: básicamente se refiere al suministro de los servicios de agua potable y alcantarillado a la población, así como al tratamiento de las aguas residuales.
2. El agua propicia el desarrollo económico: considera al agua como un insumo en la actividad económica; por ejemplo, en la agricultura, la producción de energía eléctrica o la industria.
3. El agua se preserva: es el elemento que cierra el concepto de sustentabilidad. Si bien se reconoce que el agua debe proporcionar bienestar social y apoyar el desarrollo económico, la Comisión Nacional del Agua está convencida de que se debe preservar en cantidad y calidad adecuadas para las generaciones actuales y futuras y la flora y fauna de cada región.

Para cumplir con su propósito esencial, la Comisión se divide operativamente en tres grandes áreas:

- Oficinas Centrales.
- Organismos de Cuenca.
- Direcciones Locales.

La sede de Oficinas Centrales está en la ciudad de México y dentro de sus acciones principales se encuentran: apoyar a los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales en la realización de las acciones necesarias para lograr el uso sustentable del agua en cada región del país, establecer la política y estrategias hidráulicas nacionales, integrar el presupuesto de la institución y vigilar su aplicación, concertar con los organismos financieros nacionales e internacionales los créditos que requiere el Sector Hidráulico, establecer los programas para apoyar a los municipios en el suministro de los servicios de agua potable y saneamiento en las ciudades y comunidades rurales y para promover el uso eficiente del agua en el riego y la industria.

Oficinas Centrales también establece la política de recaudación y fiscalización en materia de derechos de agua y permisos de descargas, coordina las modificaciones que se requieran a la Ley de Aguas Nacionales y apoya su aplicación en el país, elabora las normas en materia hidráulica, opera el servicio meteorológico nacional, mantiene una sólida y fructífera relación con el H. Congreso de la Unión, atiende a los medios de comunicación nacionales y se vincula con las dependencias federales para trabajar en forma conjunta en acciones que beneficien al Sector Hidráulico.

Los Organismos de Cuenca son los responsables de administrar y preservar las aguas nacionales en cada una de las trece regiones hidrológico-administrativas en que se ha dividido el país. Las regiones y sus sedes son:

- | | | |
|-------|------------------------------|--------------------------------|
| I. | Península de Baja California | (Mexicali, Baja California). |
| II. | Noroeste | (Hermosillo, Sonora). |
| III. | Pacífico Norte | (Culiacán, Sinaloa). |
| IV. | Balsas | (Cuernavaca, Morelos). |
| V. | Pacífico Sur | (Oaxaca, Oaxaca). |
| VI. | Río Bravo | (Monterrey, Nuevo León). |
| VII. | Cuencas Centrales del Norte | (Torreón, Coahuila). |
| VIII. | Lerma Santiago Pacífico | (Guadalajara, Jalisco). |
| IX. | Golfo Norte | (Ciudad Victoria, Tamaulipas). |
| X. | Golfo Centro | (Xalapa, Veracruz). |
| XI. | Frontera Sur | (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas). |
| XII. | Península de Yucatán | (Mérida, Yucatán). |
| XIII. | Aguas del Valle de México | (México, Distrito Federal). |

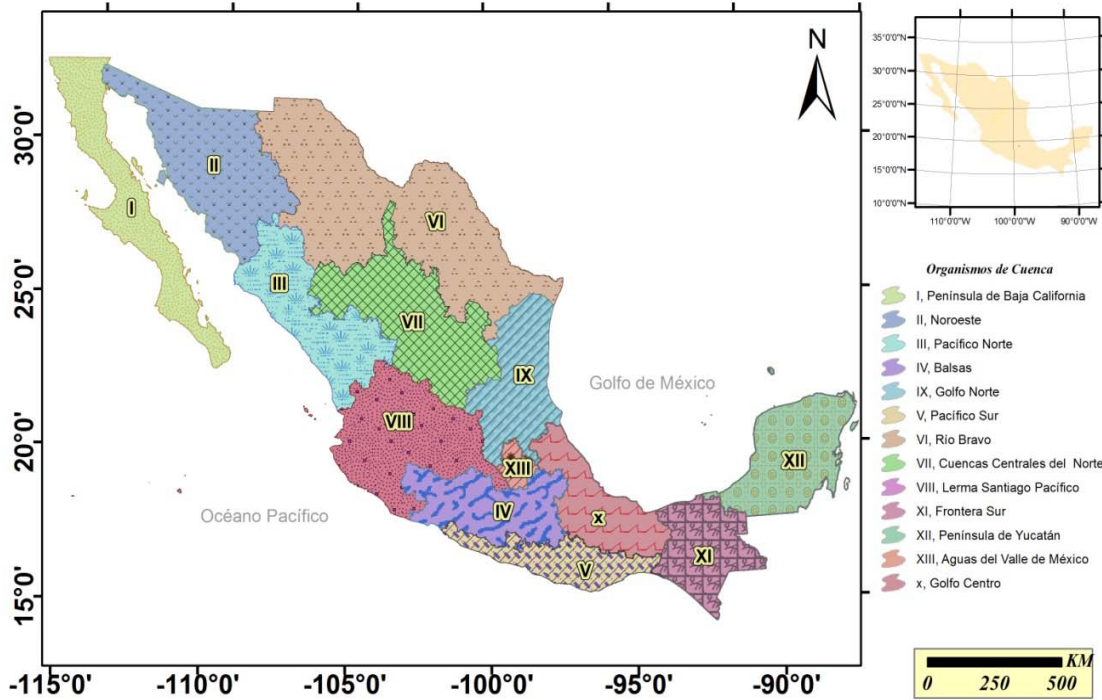


Fig. II-2. Organismos de Cuenca en la Comisión Nacional del Agua

El desempeño de los Organismos de Cuenca es también muy importante, ya que tienen a su cargo aplicar la razón misma de ser de la Comisión en cada región del país. Para ello, realizan las siguientes tareas básicas:

- Determinar la disponibilidad del agua.
- Orientar los nuevos polos de desarrollo.
- Lograr el uso sustentable del agua.
- Asegurar la preservación de los acuíferos.
- Garantizar la calidad del agua superficial.
- Llevar a cabo la recaudación en materia de aguas nacionales y sus bienes inherentes.
- Solucionar conflictos relacionados con el agua.
- Otorgar concesiones, asignaciones y permisos.
- Promover la cultura del buen uso y preservación del agua.
- Prevenir los riesgos y atender los daños por inundaciones.
- Prevenir los riesgos y atender los efectos por condiciones severas de escasez de agua.
- Operar la infraestructura hidráulica estratégica.

Además, los Organismos de Cuenca son el vínculo con los Gobernadores de las entidades donde se ubican.

Por lo que se refiere a las Direcciones Locales, éstas tienen la importante labor de aplicar las políticas, estrategias, programas y acciones de la Comisión en las entidades federativas que les corresponden.

II.2. MISIÓN Y VISIÓN DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA.

Misión: "Administrar y preservar las aguas nacionales y sus bienes inherentes, para lograr su uso sustentable, con la corresponsabilidad de los tres órdenes de gobierno y la sociedad en general".

Visión: "Ser autoridad con calidad técnica y promotor de la participación de la sociedad y de los órdenes de gobierno en la gestión integrada del recurso hídrico y sus bienes públicos inherentes".

Visión del Sector Hidráulico: "Una nación que cuente con agua en cantidad y calidad suficiente, reconozca su valor estratégico, la utilice de manera eficiente, y proteja los cuerpos de agua, para garantizar un desarrollo sustentable y preservar el medio ambiente".

II.2.1. EXPLICACIÓN DE LA MISIÓN.

Lo que implica el término Misión dentro de esta Institución es: Administrar y preservar las aguas nacionales implica que el agua de los acuíferos, ríos, lagos y lagunas se encuentre libre de contaminación, no se sobreexplota (extracción mayor que la recarga) y que los usuarios de aguas nacionales cuenten y cumplan con lo que se establece en su título de concesión de agua o en su permiso de descarga de aguas residuales y que paguen los derechos que les corresponden.

La Misión también considera que la participación de la sociedad es indispensable para alcanzar las metas que se han trazado, ya que los habitantes pueden dar la continuidad que se requiere a las acciones planteadas de común acuerdo en las diferentes regiones del país.

Es importante señalar que el uso sustentable del agua se logra cuando:

1. El agua genera bienestar social: básicamente se refiere al suministro de los servicios de agua potable y alcantarillado a la población, así como al tratamiento de las aguas residuales.
2. El agua propicia el desarrollo económico: considera al agua como un insumo en la actividad económica; por ejemplo, en la agricultura, la generación de energía eléctrica o la industria.
3. El agua se preserva: es el elemento que cierra el concepto de sustentabilidad. Si bien se reconoce que el agua debe proporcionar bienestar social y apoyar el desarrollo económico, se debe preservar en cantidad y calidad adecuadas para las generaciones actuales y futuras, así como favorecer el desarrollo de la flora y fauna de cada región.

Esto queda resumido en el siguiente esquema:



Fig. II-3 El término sustentabilidad del agua

II.3. SITUACIÓN DEL AGUA EN MÉXICO.

México tiene casi 1'964,375 de km² de superficie continental e insular (Agenda Estadística de los Estados Unidos Mexicanos, INEGI, 2003) y una precipitación media anual de 772 mm. Sin embargo, su distribución espacial y temporal es irregular ya que en 42% del territorio, principalmente en el norte, la precipitación media anual es menor a 500mm, y en algunos casos como en las zonas próximas al Río Colorado, son menores a 50 mm.

En contraste, en 7% del territorio, existen zonas con precipitaciones medias anuales superiores a los 2,000 mm, con zonas donde la precipitación es mayor a 5000 mm (Figura II-4). Del 67%-80% de la precipitación ocurre en el verano (Arreguín, et al., 2004; Cantú y Garduño, 2004).

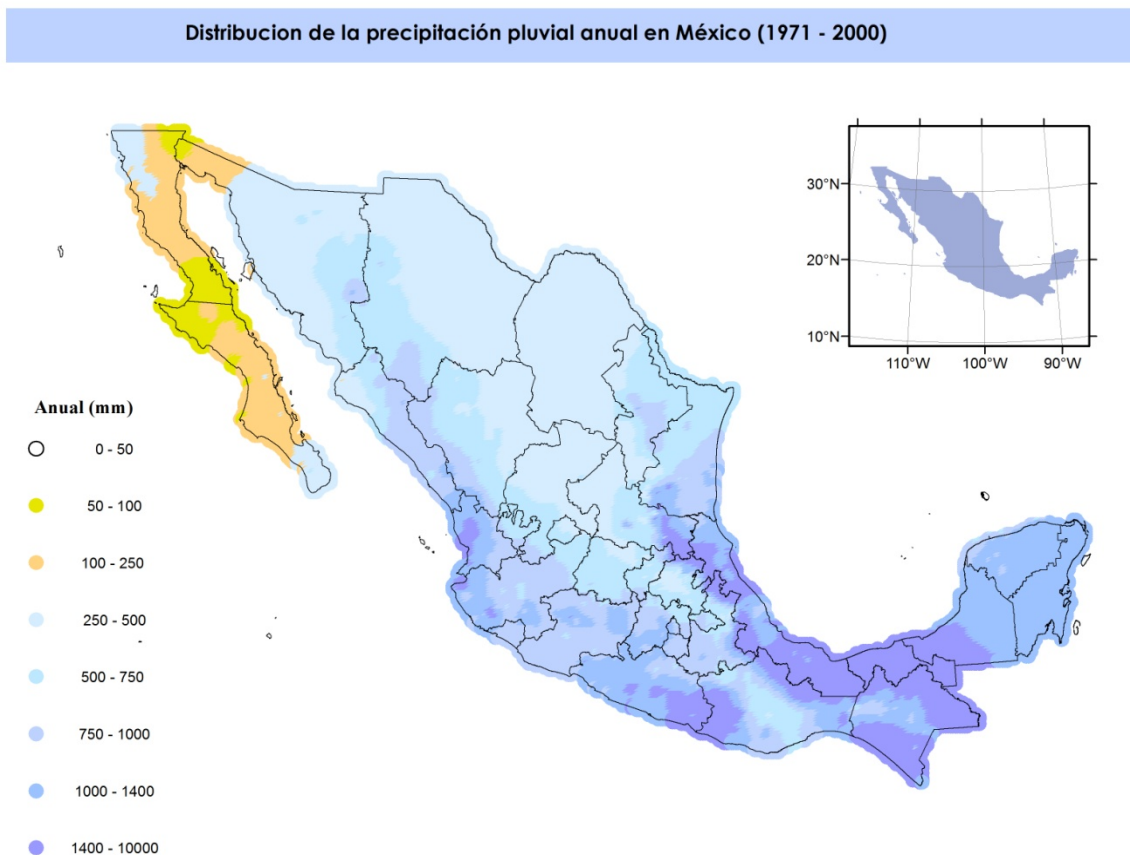


Figura II-4. Precipitación media anual en México. Modificado de Estadísticas del Agua en México 2008.

México cuenta con un escurrimiento superficial virgen medio de 394 km³. De la precipitación anual, el 23% se vuelve escurrimiento superficial; este se suma a 40 km³ provenientes de Guatemala, 1.8 km³ del río Colorado y restándole 0.44 km³ que en promedio se entregan a los Estados Unidos en el río Bravo (Arreguín, et al., 2004). El clima en la parte norte de México es árida a semiárida, y es en esta zona donde se encuentran las ciudades más grandes del país, así como las principales concentraciones de actividad industrial y agrícola. Sin embargo, esta región apenas cuenta con menos de la tercera parte de los recursos hidráulicos del país (Fig. II-5).

Población de más de 500 mil habitantes, proyección 2007

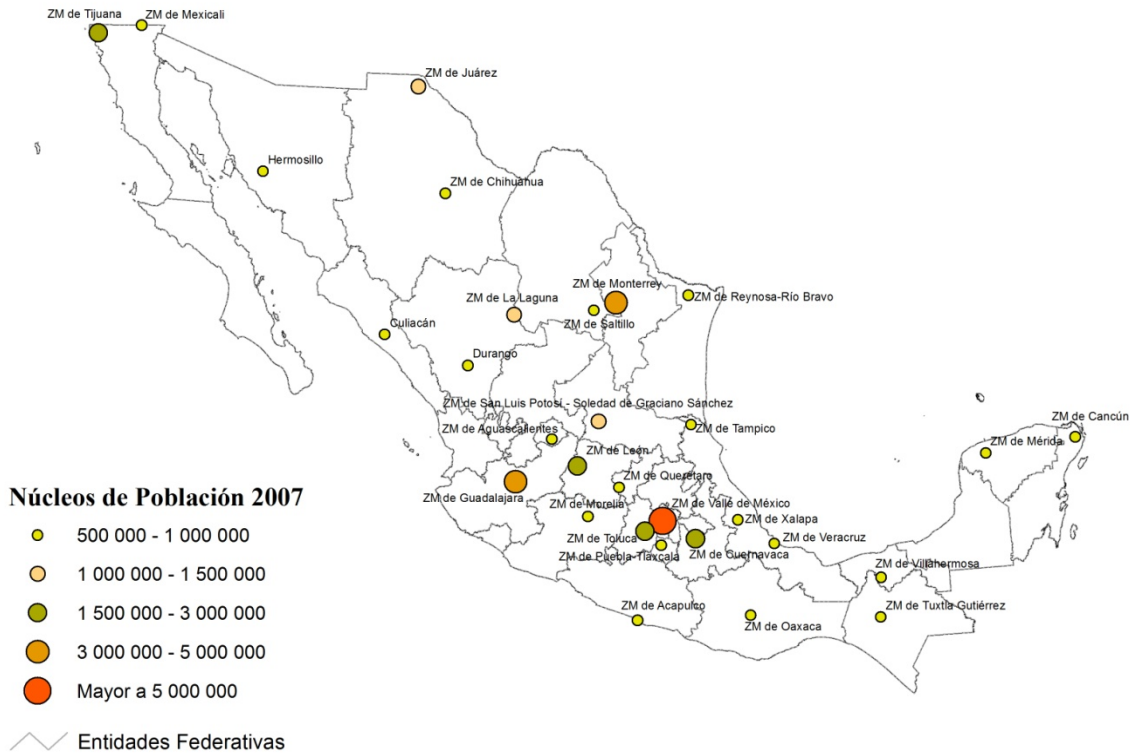


Figura II-5. Principales concentraciones de habitantes en México. Modificado de *Estadísticas del Agua en México 2008*.

La Comisión Nacional del Agua (CNA) ha identificado 653 acuíferos en el Territorio Nacional. Aproximadamente 200 de estos acuíferos han sido sujeto de uno o más estudios, y los volúmenes disponibles para 188 acuíferos han sido publicados en el Diario Oficial de la Federación. Esto quiere decir que dos terceras partes de los acuíferos de México no han sido cartografiados, y en los cuales no se conoce su geometría, volumen de agua disponible, y otra información básica. El agua subterránea proporciona el 70% del agua potable a los México la tercera parte de la superficie bajo riego y el 50% de la industria (Marín, 2002).

El balance nacional de agua subterránea resulta positivo en su conjunto, ya que la extracción estimada en 27.2 km³/año representa sólo el 41% de la recarga total estimada en 66.1 km³/año. Estos números sin embargo, esconden algunas realidades de México. La distribución espacio-temporal del agua es grande, y desafortunadamente para el país, la zona con la mayor abundancia, el sureste de México, no corresponde al área donde el agua es requerida (el norte de México). Esto ha resultado en problemas graves en cuanto al manejo del agua subterránea (CNA, 2001, 2002).



Figura II-6. Contraste Regional entre el desarrollo y la disponibilidad de agua. Modificado de *Estadísticas del Agua en México, 2008*.

En México, existen una serie de problemas en torno al agua subterránea. En este trabajo se tratarán tres únicamente, a saber:

- la sobreexplotación de los acuíferos,
- su grado de contaminación, y
- la intrusión salina

El mayor uso del agua subterránea ocurre en las zonas áridas y semiáridas del centro, norte y noroeste del país, donde el balance extracción-recarga es negativo y refleja las condiciones de sobre explotación en numerosos acuíferos. Este hecho amenaza la sustentabilidad de las actividades económicas apoyadas en estas fuentes de abastecimiento, ya que no sólo se agota el recurso sino que en algunas se ha afectado la calidad del agua y se encarece su aprovechamiento.

De los 653 acuíferos identificados por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua, según diversos autores (Marín, 2002; Arreguín, et. al., 2004; Cantú y Garduño, 2004) de 98-102 acuíferos están siendo sobreexplotados. En estos acuíferos la recarga es de unos 9.0 km³/año y la extracción de 13.9 km³/año, representando la recarga el 65% de la extracción total. En estos acuíferos sobreexplotados se extrae el 51% del total a nivel nacional. El usuario que extrae el mayor volumen de agua subterránea es el sector agrícola, que utiliza un 70% de las extracciones, seguido a buena distancia por los usos público-urbano e industrial, que representan alrededor del 22% del bombeo total y poco más del 6%, respectivamente. En cuanto a los 100 acuíferos sobre explotados, las cifras expuestas reproducen prácticamente el mismo patrón que a nivel nacional, pues un 71% de las extracciones

corresponden al sector agrícola, alrededor del 22% se utiliza por el uso público-urbano y casi 6% por el sector industrial. La sobreexplotación conjunta resulta de 4.9 km³ anuales.

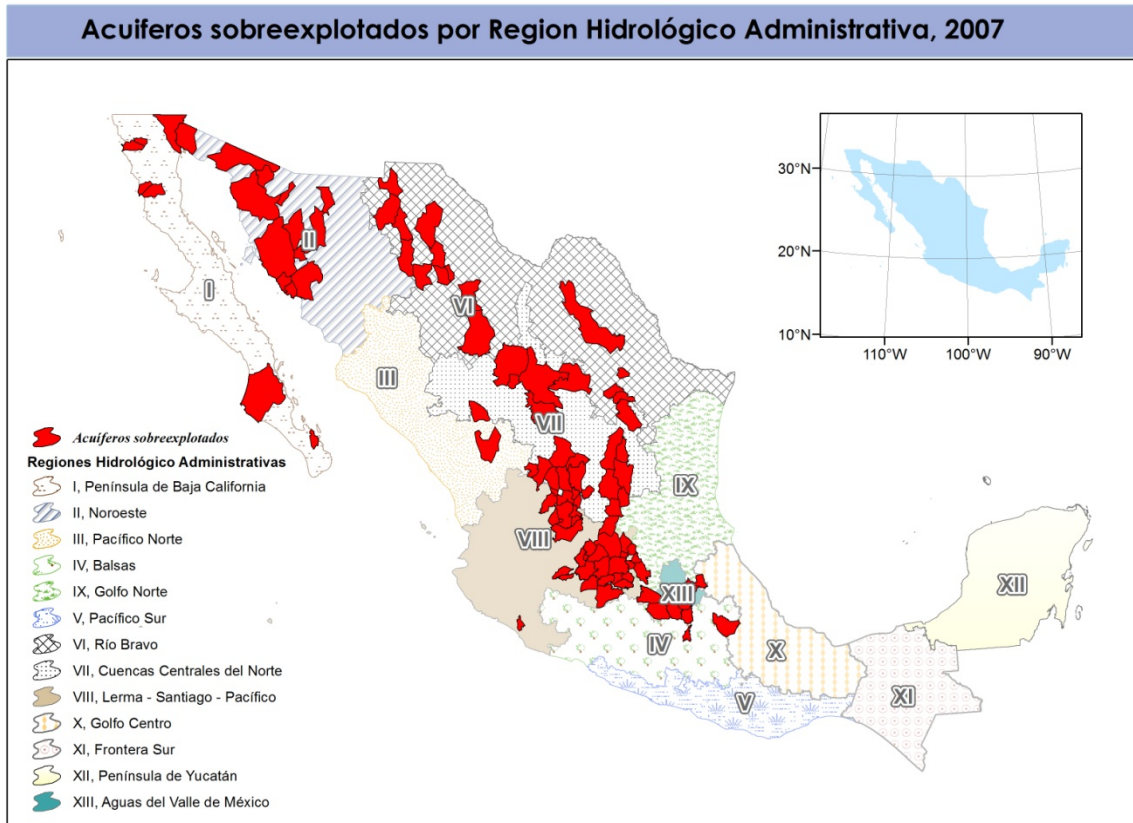


Figura II-7. Acuíferos Sobreexplotados. Modificado de *Estadísticas del Agua en México, 2008*

En 1975 (SRH, 1975) se identificaron 32 sitios donde los acuíferos estaban sobreexplotados; desde esa fecha ese número ha aumentado sustancialmente, a 36 en 1981, 80 en 1985 y 100 actualmente. Las consecuencias de esta situación son un acelerado descenso de los niveles estáticos, un incremento de los costos de energía en el bombeo, fincas con pozos operando con niveles dinámicos entre 70 y 140 m; intrusión de agua salada del mar en acuíferos costeros, aparejada con la salinización de los suelos; hundimientos y grietas del suelo en áreas urbanas, con todos los daños a la infraestructura urbana y riesgos a la salud y seguridad de la población como el caso de la ciudad de Celaya, Gto.; migración y contaminación de acuíferos continentales con agua de mala calidad, causada por rocas evaporitas o descargas de aguas contaminadas en zonas cercanas (ver Tabla 2.1).

Tabla No. 2.1. Abatimientos de varios acuíferos en los últimos 20 años
(CNA, 2001 y 2002)

Lugar	Abatimiento	Abatimiento/año
Agascalientes	>35m	>1.8m
Guaymas	23m	1.2m
Santo Domingo	10m	0.5m

La recarga anual de los acuíferos es de 75 km³ y las extracciones para todos los usos del agua suman sólo 28km³, lo que aparentemente deja un amplio excedente de posibilidades de explotación. Sin embargo, hay regiones en las que los acuíferos están siendo sobreexplotados con el riesgo de sufrir intrusiones salinas y volverlos irrecuperables, como ya es el caso conocido del acuífero Costa de Hermosillo. La Tabla 2.2 presenta los datos regionales de los 188 acuíferos más importantes del país, cuyas recargas representan 80% del total nacional y las extracciones 61%. En esa tabla se muestran las regiones con el porcentaje de superávit o déficit.

En la información por regiones se compensan el superávit y el déficit de los acuíferos, por lo que se encubre la situación real de los que están siendo muy sobre explotados. Hay alrededor de 43 acuíferos en los que los volúmenes de extracción concesionados representan 150% o más de los volúmenes de recarga. En el norte (regiones I, II, III, VI y VII) se encuentran 25 de esta clase de acuíferos y 13 en el centro (regiones VIII y XIII).

En la Tabla 2.3 se muestran 15 de los acuíferos con mayor recarga anual y cuyo déficit es superior a 25% de la recarga.

La sobreexplotación de acuíferos se observa en las regiones donde hay más presión sobre los recursos hídricos. El minado (extracciones mayores a la recarga) de los acuíferos no causa daños cuando se hace por pocos años y en los subsiguientes se permite su recuperación poniendo límites a las extracciones. Pero cuando el minado se vuelve una práctica permanente entonces los daños causados pueden tener un carácter irreversible o volver los acuíferos inútiles por muchos años.

Otro problema igual de grave es que en la medida que el nivel freático se abate por la sobreexplotación, los costos de bombear el agua se incrementan hasta el punto en que podría resultar incosteable su extracción, sobre todo para la agricultura que es su principal usuario.

II.3.1. CONSUMO DE AGUA.

Los principales sectores demandantes de agua dulce son, por la importancia de los volúmenes que emplean, el agrícola; el de servicios –municipales y domésticos- y el industrial. Un cuarto sector que también demanda agua para sobrevivir, aunque generalmente no es considerado en las estadísticas del agua, es al que da lugar los sistemas ecológicos formados por la flora y la fauna silvestres. En la medida que aumentan la población y las actividades productivas, la competencia por el agua se agudiza, especialmente en las regiones cuya disponibilidad no es abundante.

Por otra parte, por el solo hecho de usar el agua se reduce su calidad, pues todas las actividades en que se le emplea la contaminan por la adición de elementos tóxicos, de modo que si no es tratada adecuadamente después de ser usada, la calidad disminuye hasta el punto que el empleo posterior sea indeseable para el consumo humano y otros posibles usos. Una excepción relativa son las centrales hidroeléctricas porque turbinar el agua no transforma sus características bioquímicas, aunque por el hecho de almacenarla en los embalses reduce su calidad por desoxigenación y precipitación en el vaso de nutrientes y minerales deseables para la agricultura y los hábitats silvestres que dependen de ellos aguas abajo.

El porcentaje del agua disponible extraída para los usos mencionados manifiesta el grado de presión que se impone sobre los recursos hídricos. Se considera que la presión es escasa si es menor a 10% y que es fuerte si es mayor a 40%. En México, este porcentaje fue de 15% en 2000, lo que significa una presión moderada; sin embargo, en el norte del país es mayor a 40% (ver Figura II-8).

Tabla 2.2. Muestra Regional de Acuíferos. Recarga y Explotación (Fundación Gonzalo Río Arronte-Fundación Javier Barros Sierra, 2004)

<i>Región</i>	<i>Número de acuíferos</i>	<i>Número de acuíferos sobreexplotados</i>	<i>Mm³</i>				<i>Superávit o déficit (-) según los volúmenes comprometidos y concesionados</i>	<i>Superávit o déficit (-) según los estudios</i>
			<i>Recarga anual</i>	<i>Volumen de extracción comprometido y concesionado*</i>	<i>Volumen de extracción consignado en estudios técnicos**</i>			
I Península de Baja California	17	14	482	569	633	-88	-151	
II Noroeste	14	11	997	1270	1128	-273	-131	
III Pacífico Norte	13	7	2377	2139	888	238	1489	
IV Balsas	14	3	2298	1879	1318	419	980	
V Pacífico Sur	3	1	302	172	96	131	207	
VI Río Bravo	26	18	1895	2689	1606	-793	289	
VII Cuencas Centrales del Norte	15	13	1177	1803	1845	-626	-667	
VIII Lerma-Santiago	39	24	4402	5057	5128	-655	-726	
IX Golfo Norte	10	6	848	887	734	-39	115	
X Golfo Centro	9	0	2704	1652	244	1052	2460	
XI Frontera Sur	14	0	16167	7594	516	8574	1565	
XII Península de Yucatán	4	0	25316	18813	1448	6503	23868	
XIII Aguas del Valle de México	10	5	1773	2693	1881	-920	-108	
Total	188	102	60738	47214	17464	13524	43274	

* Las descargas naturales de los acuíferos se refieren a volúmenes cuyo uso está previsto como agua superficial. El concesionado es el volumen cuyo derecho de extracción fue otorgado a los usuarios.

** El volumen consignado en estudios se refiere a estimaciones basadas en mediciones y muestreos.

Tabla 2.3. Acuíferos Grandes Sobreexplotados
(Mm³ anuales)

<i>Acuífero</i>	<i>Región</i>	<i>Recarga</i>	<i>Extracciones concesionadas y laterales</i>	<i>Extracciones/recarga</i>
Costa de Hermosillo	II	250	431	1.72
Valle del Mayo	III	155	213	1.38
Valle de Guadiana	III	117	152	1.30
Ascensión	VI	132	393	2.97
Cauhtémoc	VI	115	293	2.54
Citrícola Norte	VI	192	282	1.47
Principal-Región Lagunera	VII	519	702	1.35
Valle de León	VIII	156	285	1.83
Valle de Aguascalientes	VIII	235	359	1.53
Río Turbio	VIII	110	163	1.48
Irapuato-Valle	VIII	522	752	1.44
Pénjamo Abasolo	VIII	225	317	1.41
Cuenca Alta del Río Laja	VIII	140	185	1.32
Valle de Celaya	VIII	287	361	1.26
ZMCM	XIII	279	1 249	4.48

Grado de presión sobre el recurso hídrico por Región Hidrológico-Administrativa, 2007

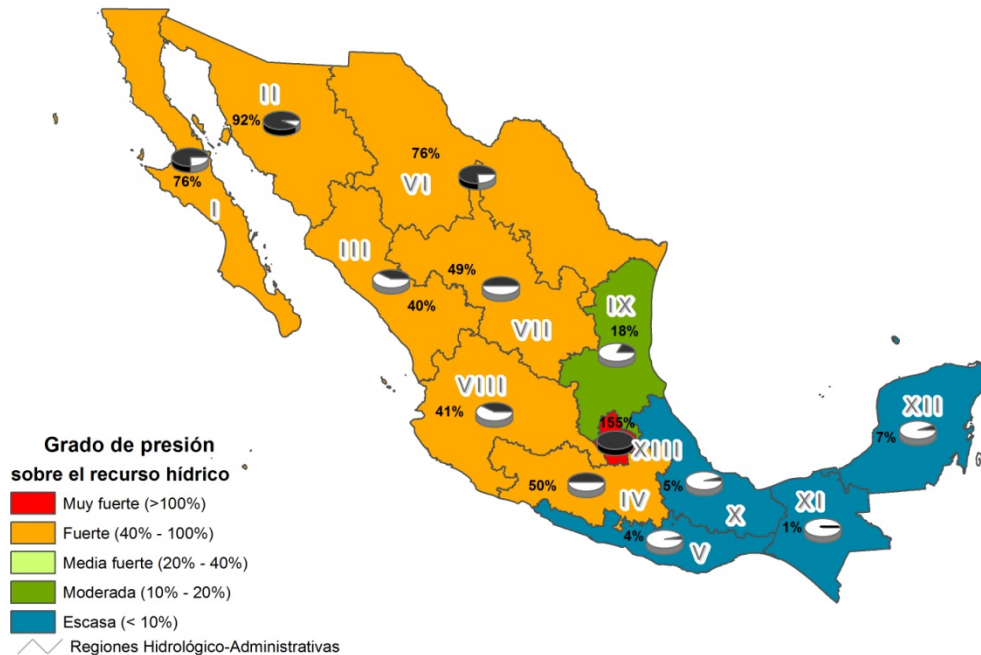


Figura II-8. Grado de Presión sobre los Recursos Hídricos (Modificado de Prospectiva de la Demanda de Agua en México 2000-2030)

Lo anterior da un panorama general de la situación del recurso en nuestro país y no podemos soslayar la importancia de conocer a manera de radiografía estos datos que son básicos para la administración del agua.

De igual forma, se tiene que dar una semblanza de la prospectiva de manejo del agua (visión a futuro) para plantear estrategias que sirvan para la toma de decisiones relacionadas con este tema en el ámbito nacional.

II.3.2. ANÁLISIS RETROSPECTIVO.

Los estudios sobre el futuro requieren analizar el pasado de las variables que interesa prospectar. La distancia que separa el presente de la fecha de los escenarios futuros, 30 años en este caso, es al menos la misma distancia histórica que conviene revisar en el análisis mencionado. La retrospectiva es necesaria porque en el pasado se encuentran las raíces de la mayor parte de los eventos que tendrían lugar en el futuro. Además, Permite observar la velocidad de los cambios en las variables de interés.

La única limitante en la retrospectiva es la cantidad de la información confiable (calidad) con que puede contarse. Afortunadamente, para el objeto de este estudio se cuenta con suficiente información demográfica, del valor agregado de los sectores productivos y de las superficies cosechadas de riego y temporal, pero de las extracciones y usos de agua solamente se tiene información de 1980 a la fecha.

Observemos los cambios registrados entre 1980 y 2000, reiterando el comentario de que el propósito del presente trabajo sólo es mostrar la generalidad de las cosas, sin soslayar datos puntuales que llevan a comprender lo trascendente de las acciones llevadas a cabo para el manejo del recurso.

En la siguiente tabla se concentran los datos de población, producto interno, superficie cosechada, producción pecuaria y extracciones de todo el país.

Tabla 2.4. Población, superficie cosechada, PIB y extracciones, 1980 y 2000²⁵

<i>Concepto</i>	<i>1980</i>	<i>2000</i>	<i>Factor de crecimiento</i>
Población (<i>millones</i>)	66.8	97.5	1.46
Población urbana (<i>millones</i>)	44.3	72.8	4.64
Población rural (<i>millones</i>)	22.5	24.7	1.10
Población de 15 a 49 años que terminó al menos la secundaria (%)	26.8	54.1	2.02
Población con agua entubada (<i>millones</i>)	63.1	82.1	1.30
Población con drenaje (<i>millones</i>)	49.5	72.3	1.46
Superficie cosechada de riego (<i>millones de has</i>)	4.9	4.7	0.96
Superficie cosechada de riego de alfalfa (<i>millones de has</i>)	230.0	324.2	1.41
Producción de carne en canal (<i>millones de toneladas</i>)	2.8	4.6	1.67
PIB (miles de millones de pesos de 2000)	2946.7	4980.1	1.69
PIB/habitante (miles de pesos de 2000)	44.1	51.1	1.16
PIB sector secundario (miles de millones de pesos de 2000)	1080.8	1375.5	1.27
Extracciones para uso público urbano (Mm ³)	4184	8291	1.98
Extracciones para uso agropecuario (Mm ³)	45953	57763	1.26
Extracciones para uso industrial (Mm ³)	5802	6129	1.06
Suma de extracciones (Mm³)	55,939	72,183	1.29

²⁵ Fuente: Estimaciones de la Fundación Javier Barros Sierra, A.C., basadas en: INEGI, Censos generales de población y vivienda, 1980-2000. Banco de información económica del INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales. Producto interno bruto por entidad federativa 1993. Censos económicos de 1999. SAGARPA, SIACON 2002. CNA, Compendio básico del Agua 2001 y 2002.

Con un crecimiento promedio anual cercano a 2%, la población se multiplicó por un factor de 1.46, y la distribución por edades se modificó aumentando la participación de las cohortes en edad de trabajar, por lo que el índice demográfico de dependencia se redujo de 88% a 64%²⁶. Aunque en estos veinte años el acceso al sistema educativo ha aumentado, y cada vez más la población entre 15 y 49 años tiene mejores niveles educativos, todavía una gran parte de la población económicamente activa, 46% no terminó la secundaria, tiene un nivel educativo menor al que requieren los puestos de trabajo en las actividades de media a alta tecnología.

Entre 1980 y 2000 el valor del PIB aumentó más rápido que la población, por lo que el ingreso por habitante creció 16%. Sin embargo, es notable el desaceleramiento de la economía en relación con los veinte años anteriores a 1980, cuando el ingreso per cápita aumentó 89%. Además, en los últimos 20 años la distribución del ingreso se deterioró, pues la relación entre el quintil de la población que obtiene más ingresos entre el quintil de la población que menos ingresa pasó de 13.6 en 1984 a 14.2 en 1996²⁷.

Por otra parte, el sector secundario disminuyó su participación en el PIB de 36.7% en 1980 a 27.6% en 2000, mientras que el terciario la aumentó de 56% a 68% en ese mismo lapso; aumento que en las circunstancias de México significa en buena parte más empleo informal en las ciudades.

- **Uso público urbano**

Entre 1980 y 2000 la población se volvió más urbana, con mayor cobertura de agua entubada y con mayores ingresos por habitante. Consecuentemente, las necesidades de agua potable casi se duplicaron. Los factores que más influyeron fueron la urbanización de la población y la población total. La tendencia a usar más agua cuanto más ingreso familiar se tiene también influyó, y es de esperar que este factor tenga más importancia en la medida que el PIB crezca a tasas superiores a la del promedio anual de 2.65% registrado en estos últimos 20 años y la población disminuya su ritmo de crecimiento.

- **Uso agropecuario**

Aunque la superficie cosechada con riego disminuyó entre 1980 y 2000, la extracción de agua aumentó 26%. Una primera explicación a este aparente hecho contradictorio es que los volúmenes de agua en 1980 son estimados y aún en 2000 las extracciones de aguas subterráneas no son medidas del todo de manera puntual. En segundo lugar, en los distritos de riego, **donde el uso del agua es más eficiente**, se perdieron 428 mil hectáreas, mientras que la superficie no controlada aumentó 220 mil. Por otra parte, la producción de carne en canal se multiplicó por un factor de 1.67, con la consiguiente necesidad de producir más forrajes, algunos de los cuales, como la alfalfa, requieren las más altas láminas de riego. Finalmente, otra posible explicación del incremento de las extracciones de agua para la agricultura, reside en el hecho que desde mediados de los años 80 la inversión en infraestructura Hidroagrícola disminuyó drásticamente, hasta volverse casi nula a finales de los años 90, lo que lógicamente afectó el mantenimiento de los sistemas de conducción.

- **Uso industrial**

A pesar de que el producto interno del sector secundario aumentó 27% entre 1980 y 2000, las extracciones de aguas sólo crecieron 6%. Esto significa que las empresas industriales

²⁶ El índice de dependencia es el cociente de (número de habitantes de edades de 0 a 14 años + número de habitantes de 65 y más años) / (número de habitantes entre las edades de 15 a 64 años)

²⁷ Banco Mundial, World Development Indicators, 1995 y 2001

mejoraron la eficiencia a una tasa aproximada de 1% anual cada año, hecho coincidente con las tendencias mundiales aún más en la medida que se de el cambio tecnológico de los procesos de producción y se sostenga la diferencia en el cobro de los derechos de agua según la disponibilidad regional del recurso.

II.4. ADMINISTRACIÓN DEL AGUA (DEMANDA). USO EN RIEGO. USO INDUSTRIAL. SERVICIOS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO.

Aunado a lo anterior, cabe mencionar que existen muchos retos por enfrentar y salir avante con respecto a la administración del agua. Como son el hecho de que 12 millones de habitantes carezcan de agua potable y 23 millones de alcantarillado, implica un mayor reto.

De igual forma, en el medio rural el 32% no tiene agua potable y el 63% no cuenta con alcantarillado.

Por su parte, del total de las aguas residuales que se colectan sólo se tratan el 31%. A esto se suman las bajas eficiencias técnicas y operativas; fugas en redes de servicio público urbano entre el 30 y 50%. Y el consiguiente rezago que presentan las tarifas y la escasa capacidad de inversión en los Municipios.

COBERTURA DE ALCANTARILLADO POR MUNICIPIO, 2005

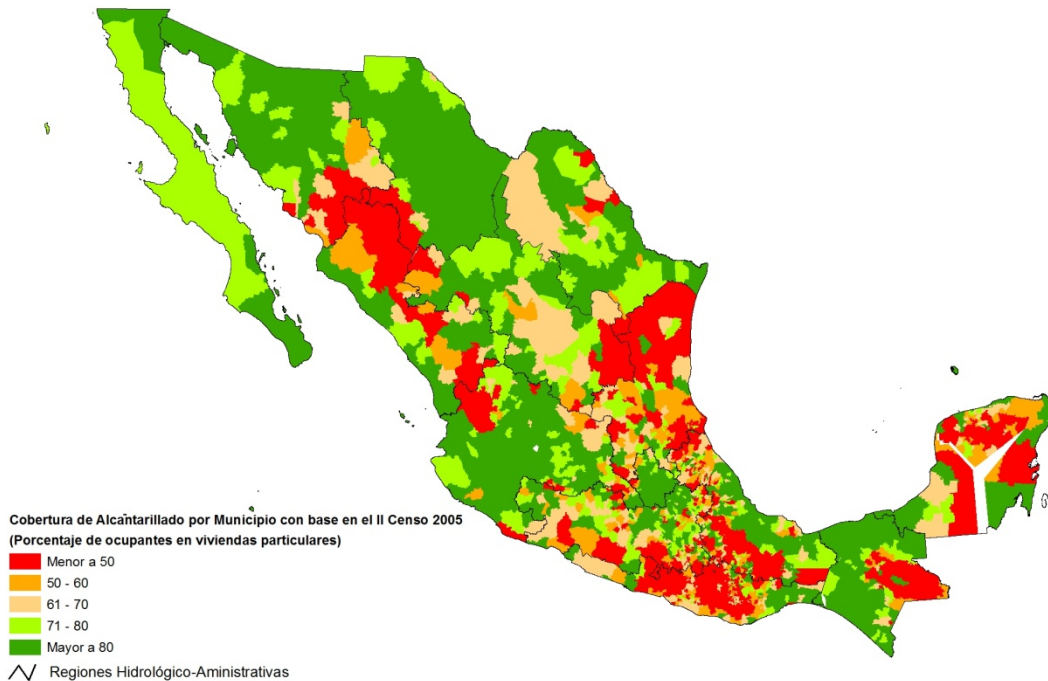


Figura II-9. Cobertura de Alcantarillado (Elaborado con datos de la Geobase de Datos Institucional del Agua)

COBERTURA DE AGUA POTABLE POR MUNICIPIO, 2005

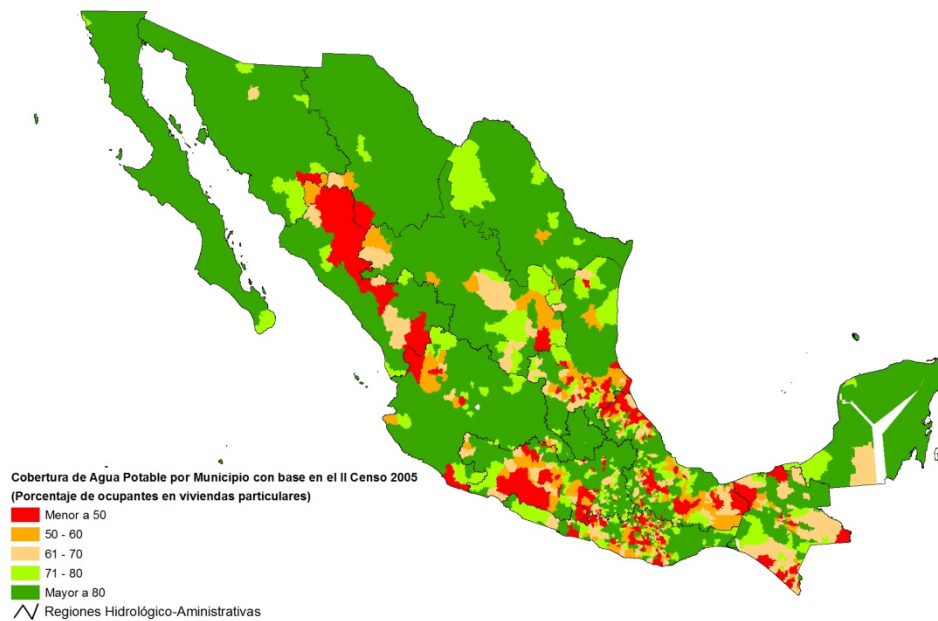


Figura II-10. Cobertura de Agua Potable (Elaborado con datos de la Geobase de Datos Institucional del Agua)

En cuanto al **riego** en el país:

- Existen 6.3 millones de hectáreas con infraestructura de riego, somos sexto lugar mundial
- El grado de autosuficiencia financiera de los distritos de riego pasó del 43% en 1989 al 72% en 2002
- Bajas eficiencias hidráulicas que generan pérdidas entre el 45% y el 60% del volumen total extraído
- Inversiones insuficientes para el mantenimiento, operación y modernización de la infraestructura



Figura II-11. Distritos de riego modernizados, 2004

En el caso del **uso industrial**:

- El uso del agua en la industria autoabastecida es del orden de 6.6 km^3 al año ($209 \text{ m}^3/\text{s}$)
- La mayor parte de las extracciones la realizan 7 ramas: azucarera, química, petróleo y petroquímica, celulosa y papel, hierro y acero, textil y alimentos y bebidas
- Genera 6 millones de toneladas de carga orgánica (DBO5) al año, alrededor de 3 veces lo generado por todos los centros de población

Existe un marcado contraste entre el desarrollo y la disponibilidad que es determinado por la sobreexplotación de los acuíferos, la contaminación de los cuerpos de agua y las bajas eficiencias en el uso de la misma.

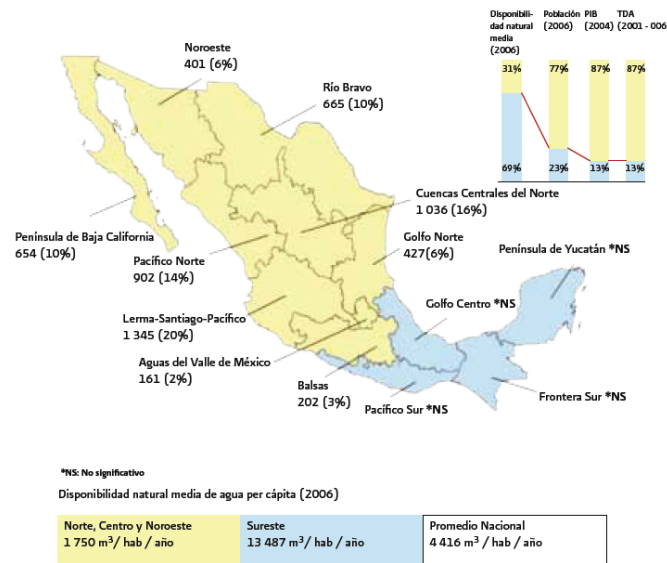


Figura II-12. Comparación entre desarrollo regional, disponibilidad de agua y transmisiones de derechos autorizadas por organismos de cuenca (Compendio Estadístico de Administración del Agua, 2009)

Regiones hidrológico-administrativas elegibles para la creación de Bancos del Agua

Actualmente se está generalizando el uso de un término para la administración del recurso: Bancos del Agua. Estos bancos son creados en la Ley de Aguas Nacionales, basados en el Artículo 37 bis a partir del 2004, como instancias que gestionarán operaciones reguladas de transmisión de derechos entre particulares.

Esto quiere decir que las actuales concesiones de agua que se tienen en el país (alrededor de 400 mil), la gran mayoría tienen que ver con el recurso (existen concesiones por extracción de materiales pétreos en los cauces) y son sujetas a transmisión de derechos entre particulares; si un concesionario ocupa un porcentaje menor de agua de lo asignado, su excedente lo puede transferir o no extraerlo del acuífero.

También se pueden revocar las concesiones cuando se dé un mal uso a la concesión, ejemplo: si la concesión es de uso agrícola, y el concesionario la está dando a pipas de agua para su venta, en ese momento se le revoca la concesión.

Actualmente (septiembre, 2010) la Comisión Nacional del Agua ha creado **8** Bancos del Agua a lo largo y ancho del territorio y se espera que a finales del 2012 se encuentren operando los 13 programados en los Organismos de Cuenca.

Tabla 2.5. Bancos del Agua inaugurados en Organismos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua

<i>Organismo de Cuenca</i>	<i>Ciudad Sede</i>	<i>Fecha de creación</i>
VII. Cuencas Centrales del Norte	Torreón, Coah.	11/12/2008
VIII. Lerma Santiago Pacífico	Guadalajara, Jal.	24/06/2009
VI. Río Bravo	Monterrey, NL	23/09/2009
III. Pacífico Norte	Culiacán, Sin.	26/11/2009
IV. Balsas	Cuernavaca, Mor.	15/12/2009
I. Península de Baja California	Mexicali, BC	21/12/2009
X. Golfo Centro	Xalapa, Ver.	19/08/2010
V. Pacífico Sur	Oaxaca, Oax.	26/08/2006

Existen factores estrechamente relacionados con las transmisiones de derechos, como la disponibilidad del agua, la sobreexplotación de acuíferos, el incremento poblacional, así como la creciente demanda de los usos doméstico e industrial, entre otros. Se considera que dichos factores seguirán impactando la demanda de las transmisiones en el futuro, por lo cual, este apartado propone realizar una ponderación de los mismos, a fin de obtener un valor numérico que represente la “Demanda Futura de Transmisión de Derechos”, para con ello identificar donde existirá un mayor número de transmisiones en los próximos años.

Si observamos la siguiente gráfica, podremos notar rápidamente que es necesario el análisis de posibles escenarios que se esperan a mediano y largo plazo:

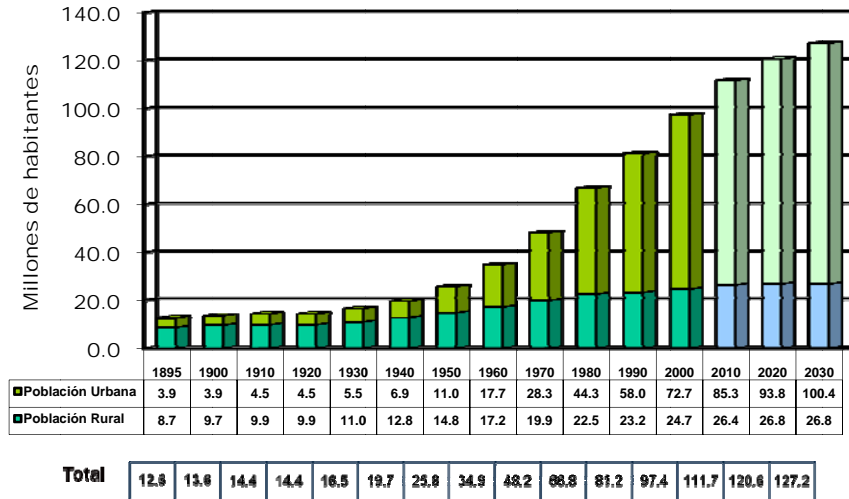
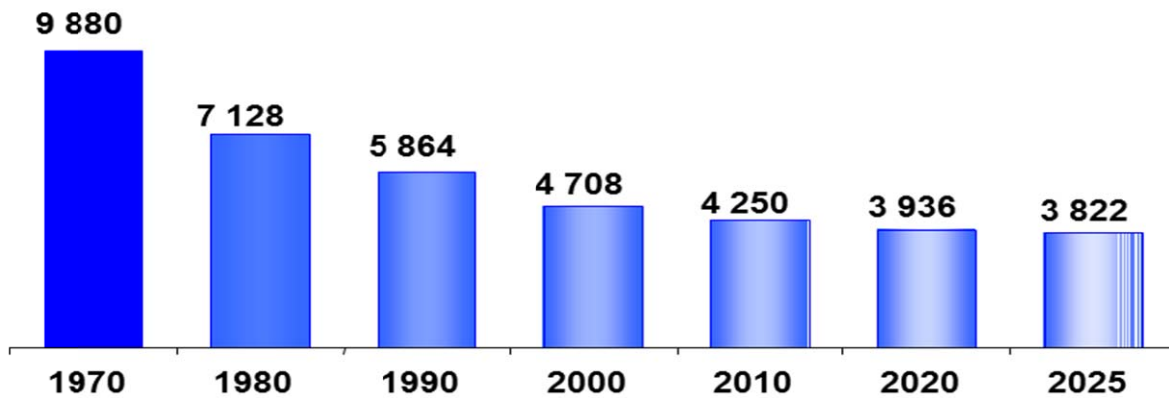


Figura II-13. Proyección de la población a 2030. INEGI/CONAPO

El incremento de la población hará que la disponibilidad natural media de agua por habitante a nivel nacional disminuya de 4547 m³/hab/año en el 2003, a 3822m³/hab/año en el 2025.



El crecimiento de población en algunas regiones producirá que la disponibilidad per cápita disminuya en términos generales, como se observa en las dos siguientes figuras:

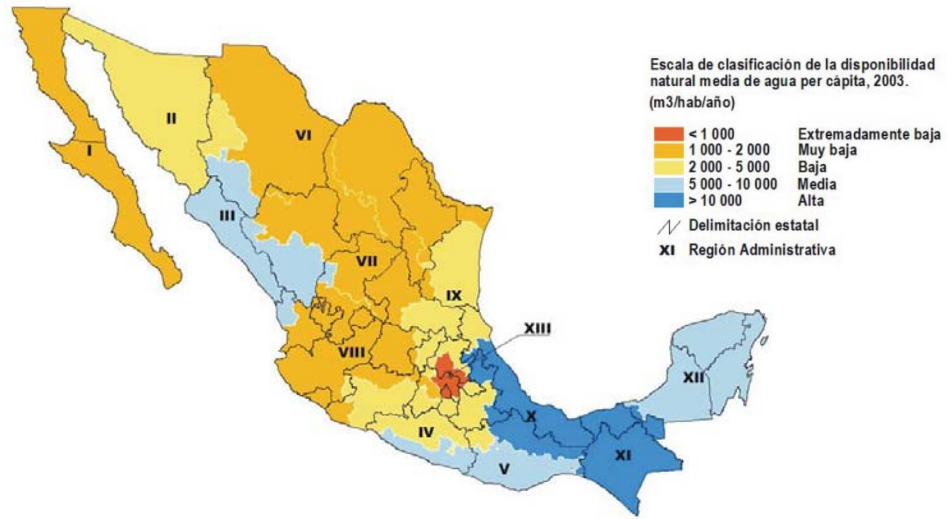


Figura II-14. Disponibilidad natural media de agua per cápita 2004. Geobase de Datos Institucional del Agua, SIGA.

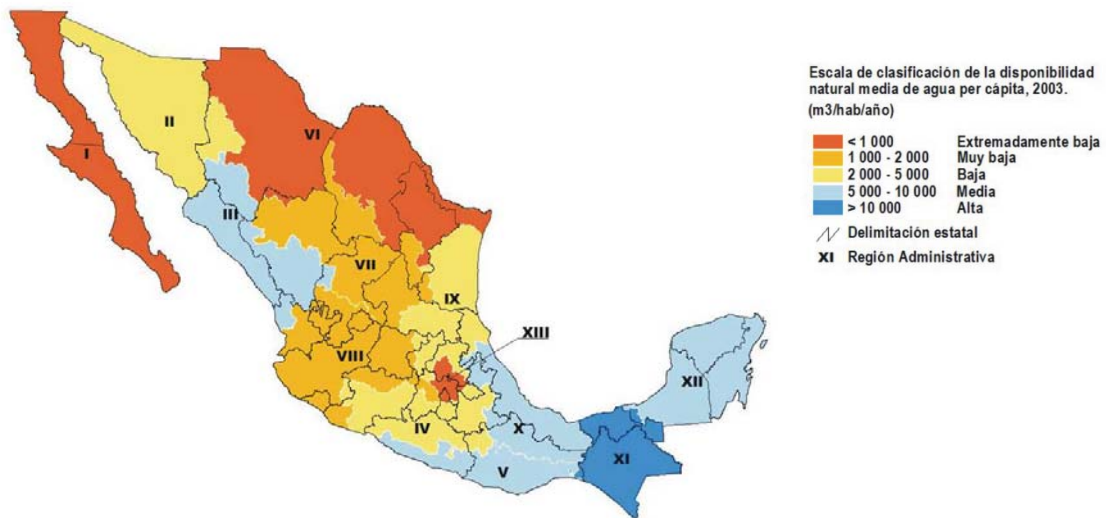


Figura II-15. Disponibilidad natural media de agua per cápita 2025. Geobase de Datos Institucional del Agua, SIGA.

De acuerdo a la población relacionada con el tamaño de cada ciudad, se estima que para el 2030, casi el 50% de la población se concentrará en ciudades de más de 500mil habitantes.

Estas ciudades absorberán el 63% del crecimiento de la población.

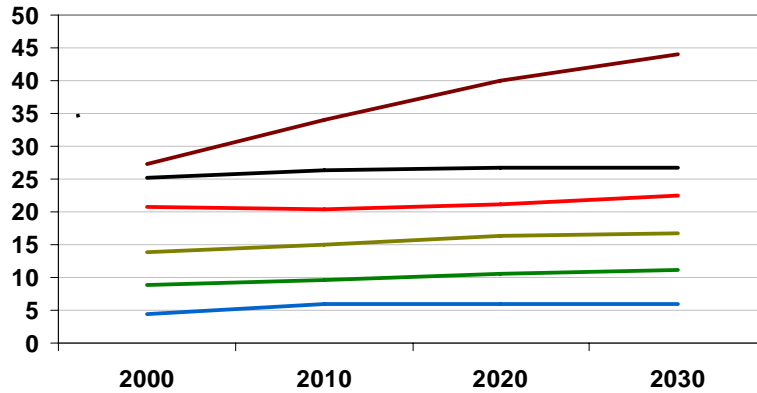


Figura II-16. Población por tamaño de ciudad. Datos de Estadísticas del Agua, 2007.

De igual forma, la concentración urbana en el 2030, casi el 50% de la población habitará en estas 31 ciudades con más de 500mil habitantes. La mayoría de ellas en zonas de escasez (ver Figura II-17 y Tabla)



Figura II-17. Concentración urbana y disponibilidad por Regiones Administrativas, Geobase de Datos Institucional del Agua, SIGA.

Tabla 2.6 Concentración urbana proyectada al 2030 en 31 ciudades.

<i>Zona Norte, Centro y Noroeste</i>		<i>Zona Sureste</i>	
<i>Ciudad</i>	<i>Millones de habitantes</i>	<i>Ciudad</i>	<i>Millones de habitantes</i>
México	22.6	Mérida	1.2
Monterrey	4.9	Cancún	1.0
Guadalajara	4.8	Villahermosa	0.9
Tijuana	2.6	Tuxtla Gutiérrez	0.8
Puebla	2.5	Acapulco	0.7
Juárez	2.4	Oaxaca	0.6
Toluca	1.9	Veracruz	0.5
León	1.4	Xalapa	0.5
Querétaro	1.4	Total	6.2
Torreón	1.3	<i>% de la población nacional= 4.9</i>	
Cuernavaca	1.1	<i>% de la población nacional= 45.0</i>	
Aguascalientes	1.1		
San Luis Potosí	1.1		
Mexicali	1.0		
Saltillo	0.9		
Tampico	0.9		
Chihuahua	0.9		
Reynosa	0.9		
Hermosillo	0.8		
Morelia	0.7		
Matamoros	0.7		
Culiacán Rosales	0.7		
Nuevo Laredo	0.6		
Total	57.2		

De este mismo modo, podemos mencionar que la concentración agrícola en cuanto a la producción agropecuaria también se encuentra en zonas con baja disponibilidad. En el escenario denominado como sustentable, se espera un crecimiento en el área bajo riego de un millón de hectáreas (Ver Figura II-18).



Fig II-18. Concentración agrícola y zonas de disponibilidad, Geobase de Datos Institucional del Agua, SIGA.

Teniendo en cuenta la información señalada, es necesario contemplar una estrategia que nos lleve a un mejor manejo del agua en forma integral. Esto último debe considerar lo señalado en la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente, efectuada en 1992, en Dublín, Irlanda:

- El desperdicio en el uso del recurso, la sobreexplotación y la contaminación de los cuerpos de agua representan amenazas para el medio ambiente y el desarrollo sustentable de los países.
- Revertir la sobreexplotación, contaminación y los efectos de sequías e inundaciones implica reconocer que el agua, recurso finito y vulnerable, es esencial para el sostenimiento de la vida, el desarrollo y del medio ambiente.
- El agua tiene un valor económico en todos sus usos competitivos, por tanto debe ser considerado como un bien económico a fin de inducir un uso eficiente y equitativo.

Si a esto le agregamos los efectos de los fenómenos climatológicos extremos, debemos tomar medidas de mitigación sobre los mismos. Se ha mencionado últimamente las consecuencias del famoso cambio climático, donde se prevé una mayor intensidad en los fenómenos hidrometeorológicos. Algunas de las principales ciudades del país tienen un alto riesgo de inundación (caso más reciente Villahermosa Tabasco.)

Tabla 2.7. Los 10 siniestros más costosos en México, 1985-2007. José Manuel Martínez (8 de noviembre de 2007, «Los 10 desastres más costosos en México» CNN.

<i>Siniestro</i>	<i>Afectaciones en millones de USD\$</i>
Huracán <i>Wilma</i> (2005)	1,782
Inundaciones de Tabasco y Chiapas de 2007	700
Huracán <i>Gilberto</i> (1988)	567
Terremoto de México de 1985	473
Huracán <i>Isidoro</i> (2002)	308
Huracán <i>Emily</i> (2005)	302
Huracán <i>Stan</i> (2006)	228
Huracán <i>Kenna</i> (2002)	176
Huracán <i>Julliette</i> (2001)	90
Huracán <i>Paulina</i> (1997)	62
Total=	4,688

Dentro de las estrategias para garantizar la continuidad del desarrollo de este país, es imprescindible lo siguiente:

- Incrementar la recaudación del sector.
- Provocar un efecto multiplicador del presupuesto federal.
- Lograr la autosuficiencia financiera de los prestadores de servicios.
- Negociar créditos internacionales.
- Promover la participación privada.

En cuanto a la infraestructura hidráulica, la inversión en el sector mostró una tendencia decreciente hasta el 2000. A partir de 2001 esta tendencia se revierte y para lograr el escenario sustentable se requiere duplicar la inversión (ver Figura II-19).

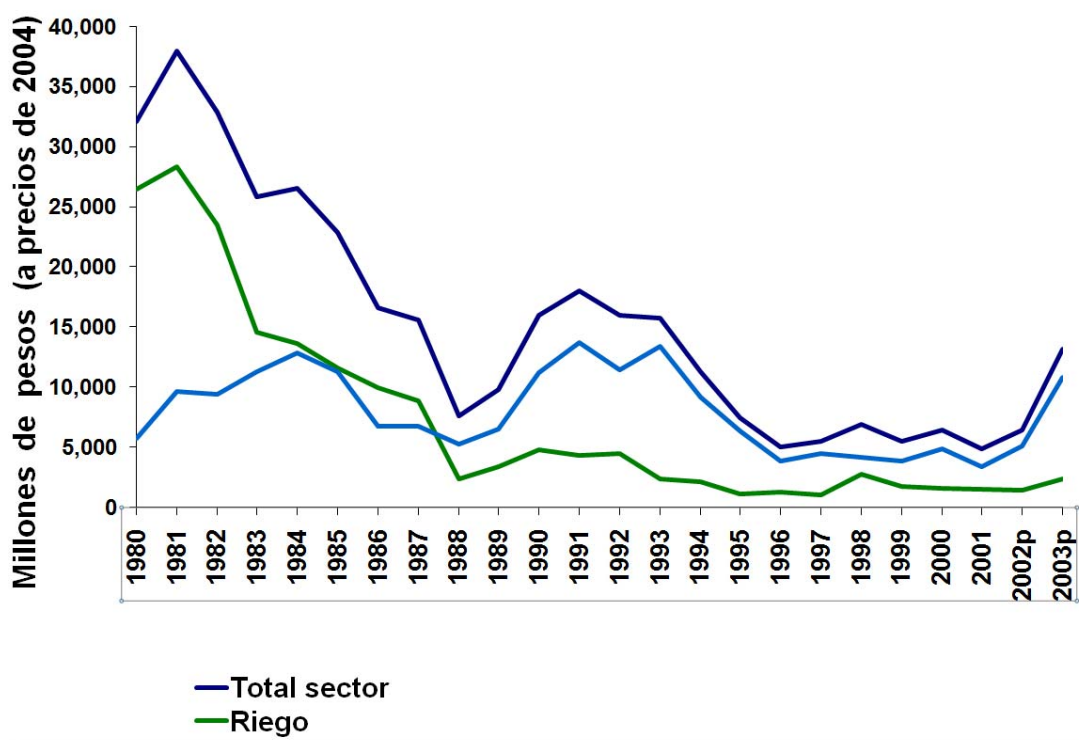


Figura II-19. Inversión en infraestructura hidráulica. Fuente: Tercer informe de Gobierno 2003, para PIB, inversión total (pública y privada) de 1988-2003 y para inversión en el sector hidráulico en riego y en agua potable, alcantarillado y saneamiento de 1991-2003.

Dentro de los programas que ha diseñado la cabeza de sector a través de la Comisión Nacional del Agua, existen algunos que han producido un efecto multiplicador basado en la participación del sector productivo, ya que el presupuesto federal no es suficiente para satisfacer las necesidades de inversión. Para ello, se requiere la corresponsabilidad de los beneficiarios de los programas:

- Programa de Devolución de Derechos (PRODDER).
- Programa de Modernización de Organismos Operadores (PROMAGUA).
- Programas de Alianza para el Campo (Programas en Distritos y Unidades de Riego).

El espíritu general de los programas mencionados es fomentar y alentar la participación de la iniciativa privada para invertir en obras hidráulicas que reditúen en beneficio al recurso y como recompensa recibirán una parte económica de acuerdo a la cantidad invertida. No es el propósito desglosar cada uno de estos programas y sólo se mencionan como referencia a las estrategias a implementar o ya puestas en marcha.

Hasta el 2004, estos fueron los resultados alcanzados en los programas mencionados:

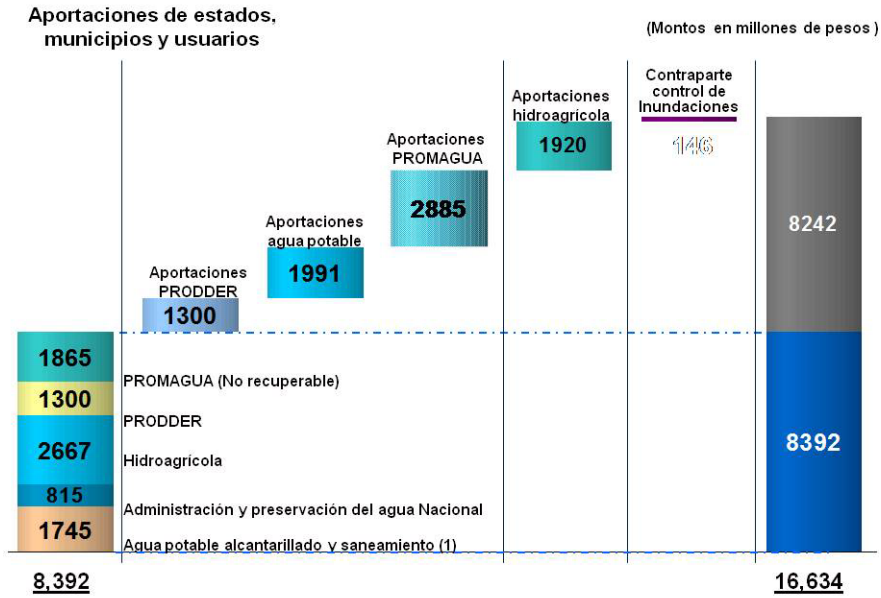


Figura II-20. Efecto Multiplicador del presupuesto 2004. Fuente: Tercer informe de Gobierno 2003, para PIB, inversión total (pública y privada) de 1988-2003 y para inversión en el sector hidráulico en riego y en agua potable, alcantarillado y saneamiento de 1991-2003.

Por último y sin que sea un motivo para dar por concluido el tema, que dicho sea de paso es un tema tan extenso como iniciativas pudieran existir al respecto, obsérvese la siguiente tabla, que muestra en síntesis el escenario o escenarios de tendencia de la demanda al 2030 en nuestro país. Reitero: son escenarios, no pronósticos.

Tabla 2.7. Un resumen de escenarios de la demanda en 2030. *Prospectiva de la Demanda de Agua en México, 2000-2030.*

Región	Disponibilidad ad 2000	Grado de presión en 2000, %	2030									
			Demanda municipal-urbana		Demanda industrial		Demanda agropecuaria		Demanda total y grado de presión			
			Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Escenario Agr1 o Agr2	Escenario Agr3 o Agr4	Demanda total mínima	Grado de presión mínima, %	Demanda total máxima	Grado de presión máxima, %
I	4425	87	459	575	95	369	2940	2940	3494	79	3884	88
II	7950	76	257	419	26	103	4961	4961	5244	66	5483	69
III	24474	38	312	468	79	307	7556	7556	7947	32	8331	34
IV	28191	27	876	1196	361	1407	5554	5554	6791	24	8157	29
V	33133	5	317	469	217	845	939	4443	1473	4	5757	17
VI	14261	56	1262	1649	585	2280	5555	5555	7402	52	9484	67
VII	6802	61	336	530	115	450	3236	3236	3687	54	4216	62
VIII	39479	37	1782	2465	1101	4290	10053	10053	12936	33	16808	43
IX	24339	21	397	673	500	1947	3727	3727	4624	19	6347	26
X	102633	4	716	1072	1023	3987	1587	12443	3326	3	17502	17
XI	155906	1	511	957	177	689	921	17412	1609	1	19058	12
XII	26496	5	459	689	102	398	726	3528	1287	5	4615	17
XIII	3802	126	2107	3460	514	2003	1984	1984	4605	121	7447	196

De lo anterior, podemos decir como conclusiones que:

- Casi el 40% del incremento de la población entre 1970 y 2000 fue absorbido por las regiones del Valle de México, Lerma-Santiago, Río Bravo y Balsas; tres de las cuales tienen grados altos de presión sobre sus recursos hídricos.
- La mayor parte de la superficie de irrigación se encuentra en las regiones que menos precipitación pluvial reciben, lo cual es lógico. Sin embargo, no es aceptable que la superficie haya aumentado más allá de la capacidad de renovación natural de agua, llegando a una sobreexplotación de los ríos hasta el punto que algunos llegan a su desembocadura con un gasto muy reducido, afectando negativamente a la vida silvestre y lagunas costeras.
- La sobreexplotación de acuíferos es alarmante, en todas las regiones del norte, la de Lerma-Santiago y la del Valle de México, los volúmenes extraídos oscilan entre 120 y 448% de la recarga natural, por lo que algunos han sufrido daños irreversibles o su nivel freático ha descendido al punto que la extracción ha dejado de ser costeable.
- Desde fines de los 80's la inversión pública en infraestructura Hidroagrícola se redujo drásticamente, con el consecuente deterioro y disminución de la eficiencia de los sistemas de abastecimiento. La agricultura ha perdido la capacidad de satisfacer la demanda interna en cereales, oleaginosas y forrajes. Las importaciones de cereales representaron en 2000 más de 50% de la producción nacional.
- Se da tratamiento a sólo el 15% de las aguas residuales, por lo que cada año se descargan en los cuerpos de agua cerca de 12,000 Mm³ de agua contaminada con las consecuencias negativas que se derivan en la salud humana y en la ecología. En las regiones Valle de México, Río Bravo y Península de Baja California, las descargas contaminantes significan respectivamente 115%, 11.1% y 8.3% de la disponibilidad de aguas superficial.

- Si no mejoran las eficiencias de las redes de abastecimiento, en los próximos 30 años las demandas municipales pasarán de 8,291 a entre 12,300 y 14,600 Mm³, dependiendo del crecimiento del PIB. En cambio, si se invierte en rehabilitación y mantenimiento de los sistemas, las extracciones podrían reducirse alrededor de 25%.
- La demanda de agua industrial podría aumentar, durante 2000 y 2030, de 6,129 a 19,000 Mm³ en el escenario de mayor crecimiento industrial y con la misma eficiencia que la actual. Esto, sin embargo, es poco probable, pues es de esperar que las tarifas aplicadas a este uso sean un fuerte incentivo para implantar programas de ahorro del consumo de agua. Es más probable que, con crecimientos anuales promedio del PIB de entre 3.3 y 4.8%, la demanda de agua industrial llegue en 2030 a entre 7,000 y 14,000 Mm³.
- La demanda de agua del sector agropecuario está íntimamente relacionada con las políticas agrícolas y económicas relativas a la autodeterminación alimentaria. Si estas políticas juzgan aceptable la importación de hasta 134% de la producción de cereales, entonces no sería necesario ampliar la superficie de riego y la demanda del sector llegaría a ser en 2030 igual o inferior a la presentada en el 2000.
- Como las descargas municipales podrían multiplicarse por un factor de entre 1.4 y 2, el problema de la contaminación de cauces empeorará la situación, ya grave que se tiene ahora, con efectos en la salud humana y en la ecología si no se eleva significativamente el tratamiento de aguas residuales.
- Es de esperar que los “conflictos del agua” se repliquen o se intensifiquen entre territorios o entre sectores, sobre todo en las regiones en las que las disponibilidades están más presionadas. Al respecto, es imprescindible incrementar la gobernabilidad para controlar las extracciones y evitar el abuso mediante firmes controles de la autoridad y programas preventivos.
- Es necesario actualizar las normas legales para regular mejor el comportamiento de los usuarios y eliminar aquellas políticas contradictorias con el uso sustentable del recurso. Una de ellas es el subsidio en las tarifas de la electricidad para la extracción de agua de acuíferos sobreexplotados. Otra es el costo cero del agua para los agricultores bajo cualquier condición, pues no es lo mismo extraer agua superficial para riego en las regiones de alta disponibilidad, que hacerlo en las riberas del Lerma que es una cuenca de intereses enfrentados, o bombear agua de las presas por debajo del nivel mínimo necesario para la generación de electricidad.
- El manejo integral de las cuencas es primordial. Se ha probado que la fragmentación de la toma de decisiones entre diversas autoridades no ha tenido buenos resultados. Los bosques, los ríos, las lagunas costeras, la agricultura, las actividades pecuarias y la fauna y flora silvestres forman una sola unidad y deben estudiarse y tratarse con criterios consolidados. En este sentido, se sabe poco de las relaciones entre la cubierta vegetal de las partes altas de la cuenca, la pérdida de suelo, el hidrograma de las avenidas, la recarga de acuíferos, el azolvamiento de cuerpos de agua, la ecología y la vulnerabilidad de los valles y planicies ante inundaciones, por lo que es importante hacer estudios del comportamiento de esos elementos en cuencas individuales.

II.5 CONFLICTOS SOCIALES POR EL AGUA EN MÉXICO.

En México el crecimiento económico no ha tomado en cuenta plenamente las señales de escasez del agua. La concentración de la población y la actividad económica han creado zonas de alta escasez, no sólo en las regiones de baja precipitación pluvial sino también en zonas donde eso no se percibía como un problema al comenzar el crecimiento urbano o el establecimiento de agricultura de riego. Tan sólo para ilustrar la situación extrema en la que se encuentra el agua subterránea, podemos mencionar que, según cálculos de la Comisión Nacional del Agua, 101 acuíferos de un total de 600 están sobre explotados.

El crecimiento poblacional y económico han ejercido mayor presión sobre las reservas de agua en México, al punto que el volumen demandado es mayor que el suministrado en algunas regiones del país, lo que obliga al gobierno a decidir a quién dejar sin este recurso, lo que ocasiona problemas distributivos. La competencia por este recurso es ya causa de conflictos de diferente intensidad y escala, y se presenta no sólo entre usuarios de la misma comunidad sino entre distintas comunidades, municipios, estados e incluso en el ámbito transfronterizo.

En este contexto, hay por lo menos tres razones por las que el conocimiento y análisis de los conflictos relacionados con agua pueden ser un factor de decisión crítico para la política ambiental en México:

i) Los problemas de escasez de agua en México se han agravado en las últimas décadas, lo que genera mayor tensión en la competencia por el recurso, no sólo al interior, sino con otros países. En un intento por regular el uso del agua y de evitar los conflictos, el marco institucional ha ido cambiando, sin conseguir del todo una reforma acorde con el nivel del problema. El diseño de mecanismos de prevención y, en su caso, de mediación y resolución de conflictos, requieren de conocer a fondo la manera en la que surgen y se desarrollan.

ii) Algunos conflictos emergen como movimientos de rechazo contra una decisión pública. Cualquier propuesta de política que posea elementos típicamente impopulares (reducción de subsidios, creación de tarifas) tendrá mayor posibilidad de éxito si posee un análisis de factibilidad política que permita prever el grado de resistencia que podría encontrar la medida. El objetivo no es renunciar a instrumentar las políticas, sino anticipar la respuesta y diseñar los mecanismos de negociación pertinentes.

iii) El conflicto está asociado a un conjunto de causas que varían por región geográfica o por sector. En alguna zona el determinante de un movimiento puede ser un mal manejo administrativo en combinación con la movilización de grupos sociales organizados, mientras que en otro la sequía recurrente es el punto de interés. Así, es de utilidad sistematizar los conflictos mediante una tipología del conflicto que clasifique las variables relevantes para cada sector (urbano o rural) y región (dividida por estados o por cuencas). La sistematización de los conflictos existentes y de las variables asociadas a cada caso, constituye una agenda de política pública preliminar y un primer diagnóstico del conflicto.

Cada uno de los puntos mencionados requiere de cierto tipo de información y de un método de interpretación pertinente. El segundo punto, por ejemplo, necesita un análisis detallado de los actores que intervienen en cada caso, sus formas de interacción, sus recursos y formas de organización, entre otras variables, mientras que el punto referente a la creación de una agenda de política exige datos sobre el tipo de escasez de agua (falta de agua potable, agua de riego o de infraestructura, por ejemplo) de cada situación conflictiva.

Con la intención de hacer una primera aproximación a la problemática aquí mencionada, se presentan los primeros resultados de una investigación²⁸, realizada por personal del Instituto Nacional de Ecologías (INE), sobre conflictos relacionados con el agua realizada con base en una sistematización de las notas existentes en prensa de circulación nacional desde 1990 al 2002 (Sainz, et al, 2003).

Por el tipo de fuente empleada, resulta variable la capacidad de la investigación para responder a cada requerimiento sobre la dinámica de los conflictos. Se puntualizan principalmente las aportaciones de la investigación en los tres rubros que se consideraron que más pueden beneficiarse de este tipo de análisis:

- a) La construcción de un modelo de conflictividad por agua en México;
- b) Un mapa de actores con su análisis correspondiente y,
- c) Una tipología del conflicto en México a partir de la cual se pueda elaborar una agenda de política pública que identifique no sólo los problemas públicos más urgentes y las zonas que muestran focos rojos, sino también el grupo de variables (sociales y biofísicas) asociadas a cada tipo de conflicto.

La metodología utilizada para construir la base de datos empleada para la investigación fue la siguiente.

- Se seleccionaron las notas referentes a temas de agua que aparecieron entre 1990 y 2002 en los siguientes periódicos de circulación nacional: Excélsior, Universal, La Jornada, Reforma, El Sol de México, El Financiero, Milenio, Uno más Uno y El Heraldó. Se encontraron aproximadamente 5,000 notas.
- Se elaboró una ficha para recuperar las variables de interés entre las que destacan las siguientes: variables de lugar, variables políticas, variables de escasez, variables de conflicto entre otras.
- Esta ficha sirvió para revisar y depurar cada una de las notas de la prensa obteniendo aproximadamente 3,800 fichas. La información capturada en este proceso constituye la base de datos de conflictos sobre el agua.

II.5.1. UN MODELO DE LA CONFLICTIVIDAD POR AGUA EN MÉXICO.

El análisis de conflicto ha sido abordado desde varias disciplinas, y por ello se pueden encontrar numerosos métodos, definiciones y enfoques. Dada la complejidad, un conocimiento integral requiere de un análisis multidisciplinario en donde intervengan la psicología, filosofía, sociología, ciencia política, antropología y derecho (Deutsch, 2000). Un modelo, no obstante, simplifica la realidad de forma que se pueda explicar un comportamiento o fenómeno específico a partir de un conjunto reducido de variables. Por ello, aunque se recojan datos sobre variables económicas, políticas, institucionales y biofísicas, y estudios de distintas disciplinas sean empleados para elegir cuáles de esas variables deben ser evaluadas, el tratamiento de los datos se hace bajo procedimientos estadísticos que determinarán si las variables demuestran o no nuestras hipótesis. Por qué las variables resultan significativas requiere una explicación que rebasa los límites del modelo, y para la que es necesaria de nuevo la intervención de un análisis multidisciplinario.

Otro proceso que afecta el conflicto y que es vital para determinar la naturaleza del mismo es la presencia de violencia (Oberg 1996). Aquí es importante preguntarse qué factores son los que conducen

²⁸ Publicación electrónica del Instituto Nacional de Ecología,
http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetas/389/conf_agua.html

a ella, y qué tipo de intervenciones podrían reducir su probabilidad. Los factores que determinan su presencia pueden ser de diferente índole:

- a) Se puede presentar después de que se agotaron todos los recursos posibles por la vía institucional y sólo resta acudir a la violencia para lograr satisfacer ciertas necesidades vitales para una comunidad.
- b) Cuando se presentan situaciones frustrantes que causan descontento entre los pobladores.
- c) Cuando se rompen acuerdos o tratados que generan disgusto a las partes involucradas, lo que a la larga puede generar actos violentos.
- d) Cuando existen abusos de poder que afectan a la comunidad.
- e) Cuando existen abusos de algún recurso natural como lo es el agua: cuando habitantes de la parte alta de la cuenca utilizan en mayor medida el recurso ignorando a los de la cuenca baja que también depende del mismo recurso.

En ocasiones las disputas no pasan por los canales institucionales y el conflicto se manifiesta como una confrontación abierta entre las partes. Estas disputas locales por agua se pueden deber a diversos factores:

- falta de políticas hidráulicas adecuadas,
- falta de gobernabilidad,
- efectos del mercado que incentivan a no cuidar el recurso; así como,
- la ausencia de derechos de propiedad.

Algunos autores subrayan la importancia del conflicto como una oportunidad para instrumentar mecanismos institucionales que permitan a usuarios y autoridades la instrumentación de acuerdos. Aunque la literatura se refiere sobre todo a conflictos internacionales, parte del análisis se puede extrapolar a conflictos internos. De acuerdo con Petzold *et al.* (2001) por ejemplo, los asuntos transfronterizos (degradación, escasez o mala distribución de recursos compartidos por dos o más países) pueden crear conflicto e inestabilidad regional, pero también pueden ser una oportunidad para la prevención y mitigación de conflictos a través de mecanismos de cooperación y negociación.

Especialistas como Spector señalan que es importante comenzar a explorar mecanismos preventivos, como la delimitación del conflicto desde una etapa inicial previniendo así crisis graves entre fronteras. Lo anterior se puede lograr a través de tratar con anticipación los problemas ambientales, atender los riesgos de seguridad involucrados y promover la participación de las comunidades locales en el proceso de formulación de consensos así como de evaluación de políticas.

Estudios comparativos han demostrado que el estrés ambiental (ya sea degradación del entorno o escasez de recursos) puede, bajo ciertas condiciones políticas, económicas y sociales, contribuir o acelerar la presencia de conflictos serios en países en desarrollo (Petzold, 2001). Esto es, el estudio del conflicto es importante para la prevención del conflicto mismo. Por lo anterior, los análisis que permitan identificar posibles escenarios de conflicto y que puedan dar señales anticipadas son muy importantes en la búsqueda de prevención de los mismos.

II.5.2. LOS CONFLICTOS POR AGUA EN MÉXICO

Para los fines de este análisis se optó por una definición operativa de conflicto. Esto es, más que un desarrollo conceptual del término, se identificaron las acciones que denotan tensiones de interés entre dos o más actores (individuales o colectivos): quejas de usuarios, demandas o peticiones ante las autoridades competentes, manifestaciones públicas no violentas y manifestaciones violentas (bloqueos, toma de instalaciones, destrucción de infraestructura o ataques físicos entre comunidades o entre autoridades y usuarios).

Cada una de estas acciones es identificada como señal de conflicto, si bien las primeras son institucionales y las siguientes emplean otros recursos de negociación y representan un mayor grado de conflictividad. Este gradiente permitirá situar los conflictos en México según su nivel de intensidad.

A partir de la base de datos de temas de agua, desarrollada en el INE, se seleccionaron las relativas a algún tipo de conflicto. Para fines prácticos los estados del país se agruparon por regiones. La Figura II-21 muestra que el mayor número de las notas de conflicto se presentaron en el Distrito Federal y en el Estado de México, siguiéndole la región del norte del país y el sur.

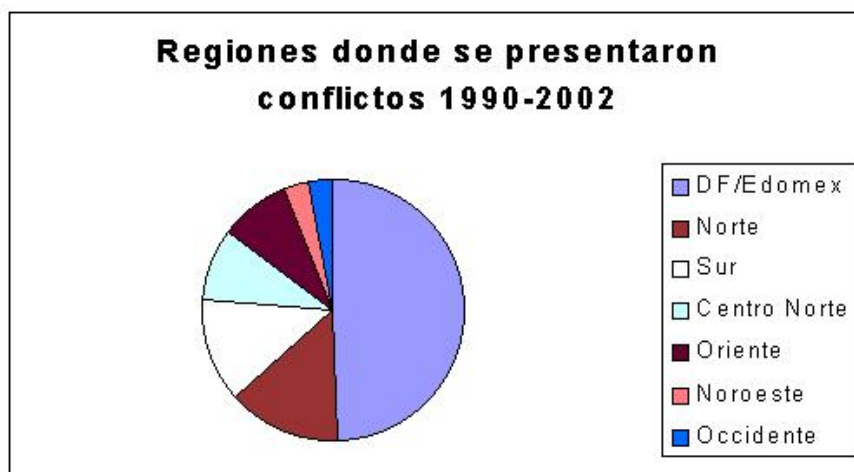


Figura II-21. Conflictos por regiones 1990-2002. Fuente: INE.

La Figura II-22 muestra cómo se distribuyen las acciones conflictivas no institucionales. Se muestra cómo la mayoría de las acciones se manifiesta vía marchas, siguiéndole bloqueos de carreteras y toma de instalaciones.

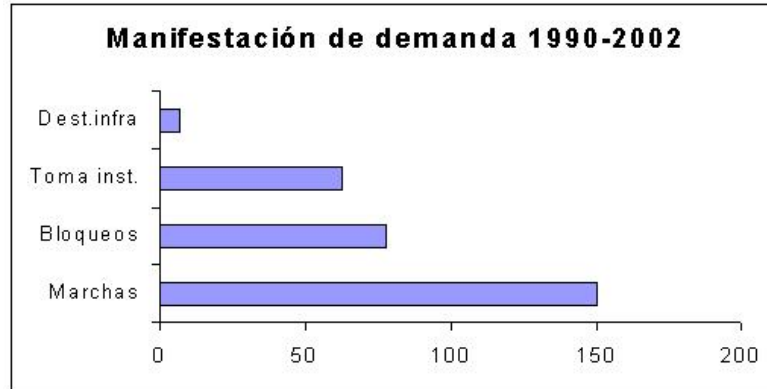


Figura II-22. ¿Cómo se manifiestan las demandas? Acciones no institucionales. Fuente: INE.

Esta información agregada, no obstante su carácter preliminar, muestra ya que las respuestas no institucionales son abundantes, lo que constituye un foco de atención para la agenda de política pública. Por el momento son las manifestaciones de bajo nivel conflictivo (marchas) las que predominan, pero la ausencia de nuevos mecanismos para concretar acuerdos podría crear situaciones más graves de confrontación.

En la Figura II-23 puede apreciarse que en varias regiones del país se ha identificado que los aumentos en el precio del agua es una de las medidas que más se demanda y que ha generado conflictos en la última década. Cambios en el precio se refieren tanto a reducción de subsidios como a incremento de tarifas, o la aparición de un nuevo cobro por el recurso que no existía con anterioridad.



Figura II-23. Tipo de asuntos que se demandan. Fuente: INE.

¿Qué variables intervienen en la generación y desarrollo de un conflicto? Una revisión de la literatura sobre conflicto en general y conflicto ambiental específicamente, nos indica una cantidad grande de factores de interés: la escasez de agua (la cual es, según Gleick (1993), función de la demanda y oferta del recurso, la cual está determinada por variables climáticas, de infraestructura, la situación de las aguas subterráneas y superficiales, entre otras); variables políticas (las motivaciones de las partes involucradas, sus necesidades, su capacidad de organización, recursos económicos y políticos).

Parte de este documento, recoge algunas de las variables señaladas, tanto de la base ya mencionada de notas de prensa como de datos provenientes de otras fuentes (en su mayoría de la Comisión Nacional del Agua). Como un paso previo a la elaboración de un modelo que indique los factores que determinan la existencia de determinado grado de conflictividad, se han examinado algunas relaciones relevantes,

por ejemplo, aquella entre conflictos y explotación de agua subterránea. En el mapa siguiente se aprecia que el 60 % de los conflictos se encuentran en zonas donde hay acuíferos sobreexplotados según la clasificación de la Comisión (101 de 600 acuíferos estarían sobreexplotados).

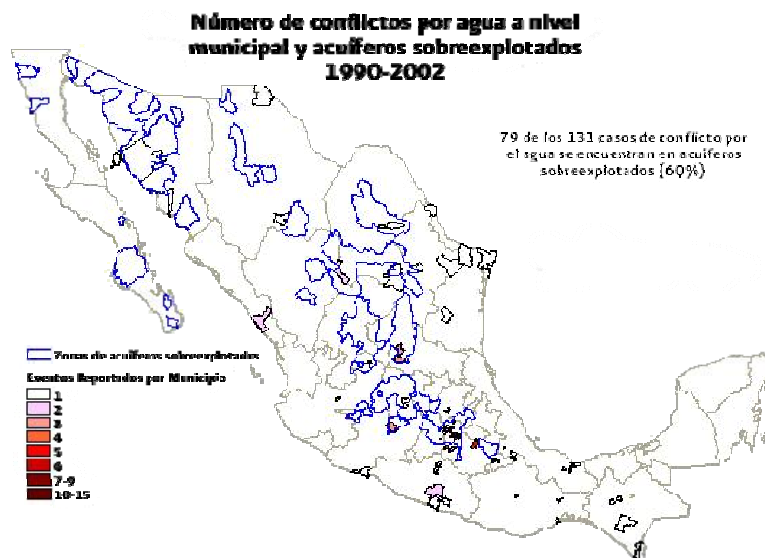


Figura II-24. Eventos reportados por municipio. Fuente: INE, con información de la Comisión Nacional del Agua (Acuíferos sobreexplotados).

Cabe aclarar que, al usar como fuente la prensa para identificar la existencia de conflictos, se puede decir que se tiene una mediana resolución, pues los conflictos poco notorios no son registrados por los periodistas. No obstante, al captar los casos más sobresalientes, se tiene una base para proyectar qué zonas podrían seguir una trayectoria semejante y, por lo tanto, qué regiones son proclives a ser zona de conflicto.

II.5.3. LA CONFLICTIVIDAD Y LA FACTIBILIDAD POLÍTICA DE LAS POLÍTICAS.

En México, los mecanismos de mercado, precios y tarifas, han sido utilizados de manera limitada por las agencias gubernamentales para regular la demanda en los últimos años. Se han preferido, en cambio, estrategias que realizan grandes inversiones para ampliar la oferta (aún con costos ambientales altos) y, cuando aún persiste la escasez crónica o aguda, se utiliza algún mecanismo de racionamiento.

Una de las razones de que el sistema de precios no haya sido hasta ahora el instrumento principal para regular la demanda o redistribuir el acceso al recurso, es su potencial para desatar conflictos. Existe una fuerte presión política por continuar con los subsidios e impedir nuevas tarifas. Es de esperarse que cualquier movimiento en esa dirección genere resistencia de los grupos beneficiados. Por otra parte, cuando los derechos de propiedad sobre el recurso o su uso no están bien definidos, el conflicto es uno de los mecanismos que los grupos de interés utilizan para definirlos a su favor. Conforme crezca el problema de escasez, será más importante afrontar las resistencias (tanto en el sector agrícola como en el urbano) a que el precio del agua refleje la existencia de usos competitivos.

Existen mecanismos institucionales para paliar los problemas, entre ellos, los Consejos de Cuenca. Esta figura comenzó a utilizarse en México a finales de la década de los noventa como un espacio para que usuarios y diferentes niveles de gobierno pudieran discutir sobre el uso y distribución de agua en su

cuenca. Su función actualmente es ser una avenida de participación de los diversos actores y generar recomendaciones.

Las propuestas de política tienen como condición el ser eficaces, de lo contrario pierden su función de resolver un problema social. Para cumplir con este objetivo, el análisis del conflicto, cuando se avoca a identificar las reacciones ante determinadas acciones públicas, puede constituir parte de un análisis de factibilidad.

El conocimiento de los actores que intervienen en los conflictos puede convertirse en un apoyo para las propuestas de política pública. La aplicación eficaz depende a menudo de que se haya previsto quiénes se opondrán y con qué medios a la acción pública.

Conocer las relaciones de poder es importante para entender la dinámica del conflicto, conociendo estas relaciones de poder se puede entender por qué cierto actor posee ventaja sobre otro. En ocasiones las posiciones de desventaja se deben a que no se cuenta con los recursos suficientes para lograr un acuerdo satisfactorio. Estos recursos pueden ser tanto políticos como económicos. En este aspecto es importante conocer cuáles son los intereses, recursos, motivaciones, de los actores para conocer cómo se dan las relaciones de poder y anticipar las posibles estrategias a seguir en la búsqueda de un status quo satisfactorio. Con la base de datos de prensa se tiene capacidad para elaborar un mapa preliminar de actores. Especificar sus motivaciones y hacer un inventario de sus recursos materiales y políticos requiere de mayor información, pero la forma en que los grupos se han movilizadoproveen datos iniciales al respecto.

Las propuestas de política relacionadas con reducción de subsidios o generación de precios son muy impopulares, pero la conflictividad que generan no es la misma en cada región, pues el grado de tensión depende del proceso de negociación, el grado de organización y recursos que puedan tener quienes se oponen, entre otras variables.

II.5.4. CONCLUSIÓN.

El estudio del conflicto por el agua en México puede generar insumos valiosos para investigadores y tomadores de decisiones de política ambiental: prevención del conflicto, elaboración de estudios de factibilidad política y de tipologías que identifiquen las variables relevantes para cada tipo de conflicto. Con ese objetivo, se presentaron algunos resultados preliminares de la investigación presentada, todos ellos descriptivos, de la investigación que se efectuó con base en las notas de prensa sobre conflictos por agua.

La sustentabilidad del manejo del agua en México implica que el consumo actual debe hacerse a una tasa que permita un volumen y calidad suficiente del recurso para las generaciones futuras. Tal patrón de consumo es posible sólo mediante un cambio sustancial en la forma en que se regula la demanda, pero las medidas necesarias para reformar la actual política de manejo enfrentan barreras institucionales y políticas. Los obstáculos podrán ser superados, entre otros medios, con análisis detallados de la situación del agua en México en sus dimensiones más relevantes, entre las que se incluyen las esferas económica, institucional y política.

CAPÍTULO III.- TIPOS DE RECEPTORES QUE SE EMPLEAN EN LA INSTITUCIÓN.

III.1. INTRODUCCIÓN.

La Comisión Nacional del Agua, desde su origen en 1989 ha permanecido en constante evolución incorporando la tecnología más actual que ha tenido a su alcance para modernizar sus procesos y procedimientos.

Una forma de demostrar lo anterior fue la creación y desarrollo, en el 2000, de su Red Nacional de Datos a través de equipos de telecomunicaciones, proporcionando servicios de voz y datos. Esta Red es la que mantiene interconectados a los sistemas y equipos de cómputo instalados a lo largo y ancho de los 13 Organismos de Cuenca y 31 Direcciones Locales y que continúa creciendo y cambiando en beneficio de sus usuarios.

Esa misma tendencia de cambio y evolución también se ha reflejado en las actividades de Georreferenciación; ya que sus aplicaciones así lo han requerido y de forma casi natural ha hecho que entre sus usuarios se generen necesidades de precisión cada vez más demandantes.

Podemos afirmar que hasta hace 10 años, dentro de las áreas técnico-operativas surgió la necesidad de obtener por lo menos una coordenada de un rasgo geográfico de manera automática. En ese entonces ya se empleaba el término 'GPS' cuando se referían a coordenadas obtenidas con este tipo de instrumentos. Cabe señalar que así empleado el término –como un sustantivo- está mal dicho o escrito, ya que como hemos comentado con anterioridad, el 'GPS' no es sino una parte de todo un Sistema y que como tal, los receptores GPS o equipos GPS forman parte del Segmento Usuario.

Este empuje natural de las necesidades de precisión en las áreas técnicas llevó a ciertas áreas –aún pocas- a adquirir equipos más sofisticados para aplicaciones topográficas, complementando los trabajos tradicionales con Estaciones Totales en campo.

La Subgerencia de Información Geográfica del Agua (SIGA) se ha encargado de reunir la mayoría de las necesidades de precisión de sus usuarios, encauzando dichos requerimientos para que puedan adquirir equipos que cubran dichas necesidades; a su vez, proporcionando herramientas para su correcto uso y manejo, logrando la reproducibilidad de sus datos colectados en campo.

El proceso de aprendizaje ha llevado tiempo, dada la diversidad (en cuanto a formación académica se refiere) del personal que atiende las labores de campo o de recopilación de la información, así como la constante rotación del personal que se ha apegado a jubilaciones, retiros voluntarios o cambios de adscripción.

III.2. EQUIPOS NAVEGADORES.

Este tipo de receptores GPS es de los más comunes que podemos encontrar en proyecto como Administración del Agua, Distritos de Riego, Medición de la Oferta y Demanda del Agua, Agua Potable y Saneamiento y en terrenos en conflicto por cuestiones inherentes al agua.

En un principio, la adquisición de estos navegadores obedece a la necesidad de contar con un instrumento que proporcione la ubicación puntual de un rasgo, dejando de lado la característica de la calidad de la información. En su ámbito, los usuarios consideran que es suficiente conocer de manera instantánea la posición de la infraestructura levantada con metros de precisión.

La mayoría de las veces, ni siquiera se percatan del grado de precisión que les proporciona un receptor de tipo navegador porque utilizan tal cual el dato de la coordenada en cartografía de pequeñas escalas

como la cartografía del INEGI escala 1:250,000 ó 1:50,000; en donde 10 ó 20m no son notorios al representarlos en el mapa (menos de un milímetro).

En este caso, haremos una descripción de los receptores navegadores que se utilizan en nuestra institución, con una clasificación de los mismos.

Los navegadores son los tipos de receptores GPS más extendidos, dados su bajo costo y multiplicidad de aplicaciones. Consisten en receptores capaces de leer el código C/A, que pueden tener incluso capacidad para leer señales diferenciales vía radio o conexión vía software y también capacidad para representar cartografía sencilla en una pantalla de cristal líquido.

Permiten conocer las coordenadas en varios formatos y conversión de baja precisión a datums locales desde WGS84 (*World Geodetic System 1984*), sistema geodésico de referencia en GPS. También permiten la navegación asistida con indicación de rumbos, direcciones y señales audibles de llegada en rutas definidas por el usuario a través de puntos de referencia (*waypoints*).

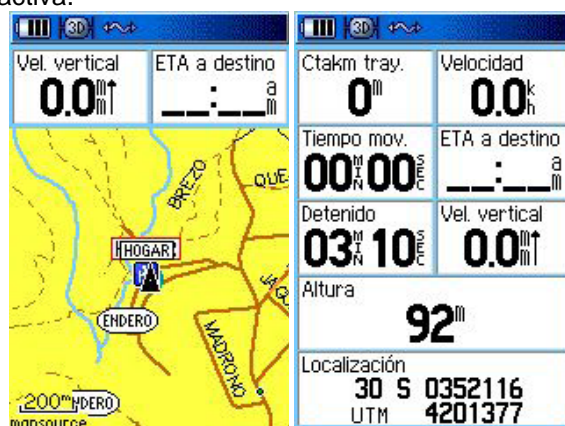
Los precios de este tipo de navegadores pueden ir de los 1,300 a los 9,600 pesos aproximadamente, y sus precisiones pueden ir de los 25 m a los 7 m en planimetría (sin Disponibilidad Selectiva), y un error de al menos 16 m en altimetría, dependiendo de la visibilidad de satélites y de la geometría que presenten los mismos. Con DGPS se pueden tener precisiones por debajo de 5m.

III.2.1 TIPOS DE NAVEGADORES.

Los navegadores GPS se pueden clasificar en dos grupos: dispositivos basados en GPS dedicado; y equipos GPS que necesitan utilizarse conjuntamente con PDA, equipo de cómputo ó móvil (teléfono celular).

a) Navegadores basados en un GPS dedicado.

Estos dispositivos proporcionan una interfaz gráfica al usuario, proporcionan datos de navegación (latitud, longitud, altitud, velocidad, satélites en vista, hora o brújula electrónica). Una de las características más importantes de estos receptores es la de poder grabar o marcar una determinada posición a través de la función *waypoint* (punto de ruta), la cual generalmente podremos asociar un nombre (o incluso un icono). A partir de la anterior función se pueden crear rutas (agrupación en secuencia de *waypoints*): una ruta contiene una posición de partida y una final, así como toda una serie de localizaciones intermedias a lo largo del trayecto. También podemos hacer que sea el propio equipo el que grabe automáticamente nuestra ruta o "huella" a través de la función *track* (nuestro receptor grabará un punto cada vez que cambiemos de dirección), para que podamos volver, sin ningún problema, a nuestro punto de partida. Muchos de estos equipos incorporan ó dan la posibilidad de importar cartografía, haciendo que su utilización sea más atractiva.



III.2.2. EL USO EN EL TRANSPORTE PÚBLICO Y PRIVADO.

Como hemos mencionado, el uso de los receptores navegadores ha tenido un auge vertiginoso los últimos 5 años. Tal es el caso de los sistemas de navegación que son una de las principales aplicaciones conjuntas de las tecnologías SIG y GPS. El conductor dispone de una pantalla en la que se presenta un mapa digital de la zona en que se está moviendo, indicando la localización de las distintas calles, las direcciones y las vueltas prohibidas. El mapa digital contiene información sobre distintas localizaciones que pueden ser de interés para el automovilista. El sistema presenta en pantalla el lugar de destino elegido y el lugar exacto en el que se encuentra el vehículo en cada momento, esto último gracias a la tecnología GPS.

Por ejemplo, las flotas de autobuses empiezan a estar gestionadas “vía satélite”. Desde un puesto de control, y con la ayuda de receptores GPS (receptores/emisores), se puede conocer en todo momento la posición exacta de cada vehículo sobre el plano de la ciudad, con un error inferior a un metro, se puede conocer su velocidad, el número de pasajeros que está a bordo en todo momento y hasta el de los que suben y bajan en cada parada. Esto se consigue gracias a unos sensores instalados en las máquinas canceladoras de boletos y en las plataformas de acceso y salida (principalmente en Europa y Estados Unidos).

En la mayoría del sistema de transporte urbano europeo, junto al receptor GPS, cada autobús lleva instalado un equipo de cómputo que envía (por radiofrecuencia) toda esta información integrada a un centro de control donde está instalado el Sistema de Información Geográfica y donde se procesa informáticamente, se supervisa y desde él se toman decisiones ante cualquier anomalía o simples retrasos. El sistema también es una herramienta de análisis del funcionamiento del servicio relativo a índices de puntualidad, volumen de viajeros o velocidades medias (ver Figura III-3).

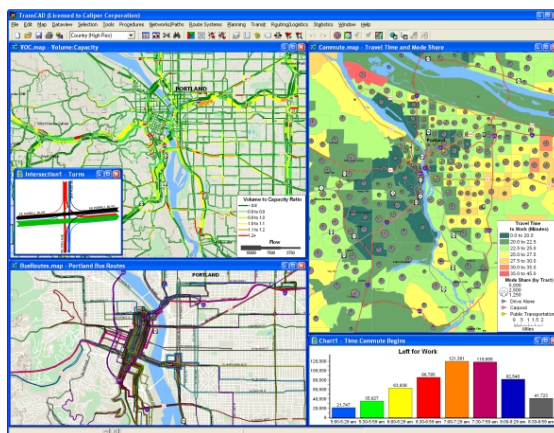


Fig. III-3. Sistema de Seguimiento de vehículos

La aplicación de receptores GPS para el control y gestión de flotas de vehículos está teniendo un fuerte crecimiento. También lo emplean cuerpos de bomberos en la lucha contra incendios forestales.

En México este servicio comienza a mostrar un ligero crecimiento, sin embargo, sólo es rentable en compañías privadas en donde sus activos fijos son los vehículos para el rendimiento de la empresa; en donde el seguimiento puntual lo muestra una tabla con fecha y hora de cualquier evento reportado por el propio receptor instalado en el vehículo. Dichos eventos pueden ser personalizados; por ejemplo, que el acelerómetro del equipo haya detectado un giro fuera de ruta y envíe un mensaje de alarma al centro de

control indicando que el vehículo sufrió una volcadura o ha permanecido más de 15 minutos estacionado (Ver Figura III-4).

En circunstancias como la localización en tiempo real de vehículos en el territorio o la optimización de redes de transporte, los sistemas GPS/SIG ya han mostrado y continuarán mostrando su gran utilidad.

VEHICULO:	Nissan3	RENDIMIENTO:	9.0 Km/L	COMBUSTIBLE:	Magna	Precio:	\$7.10		
FECHA	A LAS	SALIO DE	LLEGO A	A LAS	DETENIDO	TRASLADO	KMS	GASTO	VEL.MAX
30/11/09	07:11:07	Casa	Oxxo	07:25:18	00:03:05	00:14:11	8.15	\$6.43	83
30/11/09	07:28:24	Oxxo	Pianola	07:31:59	02:18:48	00:03:34	2.21	\$1.74	80
30/11/09	09:50:47	Pianola	Oficina	10:05:59	01:27:03	00:15:11	7.75	\$6.11	72
30/11/09	11:33:02	Oficina	HSBC	12:03:35	00:32:45	00:30:32	18.6	\$14.67	105

Fig. III-4. Reporte detallado del seguimiento de un vehículo

Así podremos mencionar cualquier cantidad de equipos con estas características y como resumen, podemos decir que son los más comerciales, accesibles y fáciles de utilizar. Pero no hay que perder de vista la razón para la que fueron creados: reconocimiento, recreación y seguimiento.

Con lo anteriormente expuesto, no se pueden considerar equipos para trabajos de Ingeniería o Sistemas de Información Geográfica, estrictamente hablando.

III.3. Aplicaciones GPS en Sistemas de Información Geográfica (GPS/SIG).

Dos de los desarrollos tecnológicos procedentes del mundo de la topografía y cartografía más interesante y efectivos surgidos en la última década, de aplicación general son:

- El fenómeno de los SIG (Sistemas de Información Geográfica), y
- La introducción del GPS (Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés *Global Positioning System*).

III.3.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen un campo sumamente amplio y vasto. Forman parte del ámbito más extenso de los Sistemas de Información. Surgen en el contexto general de la "sociedad de la información", en la que resulta esencial la disponibilidad rápida de la misma, para resolver problemas y contestar a las preguntas de modo inmediato.

Los Sistemas de Información computarizados son programas diseñados para representar, almacenar y tratar grandes volúmenes de datos sobre ciertos aspectos del mundo real. Estos sistemas se orientan frecuentemente a facilitar información para la toma de decisiones: se trata de un conjunto de procesos informáticos que permiten producir, a partir de datos no tratados, información útil en la toma de decisiones.

Pues bien, un SIG es un "Sistema de Información diseñado para trabajar con datos georreferenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas", es decir, con información del mundo real.

Los SIG se manifiestan como una de las mayores aplicaciones informáticas jamás desarrolladas y que abarcan desde la cartografía de alta calidad hasta la ordenación territorial, pasando por la gestión de los

recursos naturales, cartografía temática, investigación ecológica o demográfica, obtención del camino más corto para rutas de emergencia, entre otros.

En general se tiende a identificar a los SIG con el software diseñado para trabajar con los datos georreferenciados. Pero un SIG no es sólo un conjunto de programas informáticos instalados en los equipos adecuados, para que funcionen como un sistema de geoprocamiento, además del software y hardware, es necesario contar con el personal especializado, las aplicaciones y los datos. Aquí, en relación con los datos, es donde se hace necesaria la presencia de los receptores GPS (Figura III-5).

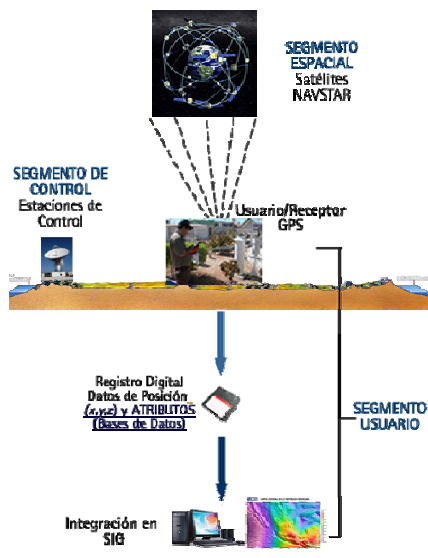


Fig. III-5 Componentes e integración GPS-GIS

Para recapitular un poco y como hemos mencionado, los receptores GPS son también un campo muy amplio en cuestión de aplicaciones y beneficios, pero su uso en comparación con los Sistemas de Información Geográfica, es sencillo. Podemos analizar el término “GPS” palabra a palabra, por lo que recordemos que:

- **Sistema:** es una colección de segmentos con conexiones entre ellos. El sistema GPS se encuentra dividido en tres sectores: el espacial, el de control y el del usuario. El sector espacial se encuentra formado por la constelación de satélites, distribuidos en tres bloques según el momento en que han sido (bloque 1), son (bloque 2) o serán (bloque 3) lanzados al espacio y todos los parámetros que hacen referencia a su funcionamiento, como las órbitas, el número de satélites en cada órbita, el número de planos orbitales o las especificaciones técnicas de cada satélite. El sector de control incluye las estaciones terrestres de seguimiento de dichos satélites. El sector del usuario se refiere a los instrumentos de que éste dispone para localizar las coordenadas de un punto sobre la superficie terrestre a partir de las señales enviadas por el satélite. Dichos instrumentos están formados básicamente por una antena y por un receptor. La antena recibe la señal del satélite, que a continuación es amplificada y recogida por el equipo receptor.

- **Posicionamiento:** responde a preguntas tan antiguas como ¿dónde estamos? Además de las coordenadas de la posición actual, nos permiten conocer la dirección y velocidad del movimiento si es

que hemos optado por el posicionamiento dinámico conocido como modo de navegación, la distancia a un hipotético punto de destino seleccionado, el tiempo estimado de llegada, entre otros.

- **Global:** en cualquier lugar de la Tierra. Bueno, en casi todos, no son válidos dentro de edificios, bajo tierra, bajo fuertes precipitaciones, o en cualquier sitio desde el que no se tenga una vista directa de una porción considerable del cielo. Las ondas radios transmitidas por los satélites GPS poseen longitudes muy cortas, de unos 0.20 m. Esta longitud de onda presenta una ventaja: facilitan la medición porque siguen un camino muy recto. Pero no son capaces de atravesar muy bien materia sólida. Por eso entre el transmisor y el receptor no debe haber grandes cantidades de materia sólida, sino las ondas se verán bloqueadas.

III.3.2. GPS: PRINCIPAL FUENTE DE DATOS.

Los equipos GPS no sólo son capaces de decirte dónde estás, sino dónde estuviste; pueden grabar datos de posición para transmitirlos a la memoria de un equipo de cómputo. Queda claro, por tanto, que los receptores sirven como medio para introducir datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG), siendo además una de las principales fuentes.

Hasta ahora los SIG conseguían sus datos de mapas y fotos aéreas. Estos eran o bien escaneados por algunos medios automáticos o bien, más frecuentemente, digitizados. La digitalización consiste en una tabla digitizadora, que no es más que un tablero de dibujo electrónico, donde un operador traza líneas o puntos por medio del digitizador sobre las características de un mapa. Se podría considerar que un sistema GPS basado en una porción de terreno y una digitización son análogos: la superficie de la Tierra sería la tabla digitizadora, y la antena y el receptor del GPS que recorren una carretera, por ejemplo, serían el digitizador que recorre una línea sobre el mapa.

Pero la generación de datos con GPS tiene lugar grabando la posición sobre la entidad más fundamental disponible: la misma Tierra, mucho mejor que un mapa o una fotografía de una parte de la Tierra que se crean a partir de procesos que quizás incluyen una serie de transformaciones. Por tanto se pueden definir a los receptores de la señal GPS como una digitización directa sobre la superficie terrestre.

Los equipos GPS aseguran, por tanto, una precisión alta al trabajar con fuentes de datos directas. A ello se suma la precisión que poseen en sí mismos: pueden alcanzar en medidas horizontales errores incluso menores a un centímetro. En este aspecto los equipos GPS superan a todos los demás métodos.

Pero existen otros motivos para preferir el uso de GPS. La disponibilidad es uno de ellos. En 1995, el Departamento de Defensa de Estados Unidos (*DoD*) se comprometió al mantenimiento de NAVSTAR para uso civil a un nivel especificado, acuerdo firmado a través de una ley, al menos en tiempos de paz. Esto permite que los receptores GPS puedan localizarse en cualquier lugar de la Tierra.

Los receptores GPS poseen una gran facilidad de uso. Cualquier persona que pueda leer coordenadas y encontrar la correspondiente posición en el mapa puede usar un receptor GPS. Para recoger datos con una precisión suficientemente buena como para introducir en un SIG son necesarios unos procedimientos un poco más complejos, pero no mucho más que muchas operaciones de un SIG.

Además los datos GPS son tridimensionales de forma intrínseca. Aparte de proporcionar latitud y longitud, un receptor GPS también proporciona información sobre la altitud. La precisión de la tercera dimensión de los datos GPS, normalmente, no es tan grande como la precisión horizontal.

Por lo tanto, la principal razón del uso de GPS es la productividad y el ahorro de dinero, que surge como consecuencia de la precisión obtenida en las dos dimensiones (x, y).

III.3.2.1 INTEGRACIÓN DE DATOS GPS EN UN SIG.

La forma en la que un SIG trabaja con un receptor GPS es la siguiente. En primer lugar se recogen los datos con el equipo GPS para luego cargarlos en la PC, creando unos archivos de intercambio. Una vez que los datos gráficos estén en el PC, deben ser examinados y corregidos. Los datos se convierten a ficheros de un determinado programa desarrollado para SIG, teniendo especial cuidado en el uso de parámetros propios. Una vez realizados estos pasos, ya pueden ejecutarse las funcionalidades propias para la aplicación del usuario. Mediante el empleo del software especializado en SIG es posible obtener otros datos SIG de otra fuente, tales como formatos de intercambio (ejemplo, archivos DXF). Por último pueden integrarse los datos GPS ya convertidos con estos otros datos SIG usando módulos adicionales y específicos de software.

III.3.2.2. OBTENCIÓN DE DATOS DE ATRIBUTO SIG CON EQUIPOS GPS.

Un SIG es una base de datos con atributos sobre rasgos geográficos, por lo que es razonable registrar los datos del atributo al mismo tiempo que son colectados los datos espaciales. Algunos receptores GPS permiten este tipo de recogida de datos. Probablemente es la forma más eficiente y precisa de usar un GPS para desarrollar una base de datos: recoger los datos espaciales y los datos de atributo a la vez. Las bases de datos relacionales, por sus siglas en inglés, *Relational Database Management System - RDBMS-* (que son las que mantienen atributos sobre características de las bases de datos geográficos, también por sus siglas en inglés, *Geographical Data Base -GDB-*), suelen ser de naturaleza textual, pero pueden consistir en imágenes y sonidos. Por ejemplo, puede introducirse una dirección y mostrarse una fotografía del edificio o casa que hay allí.

La combinación de la GDB y la RDBMS permite al usuario realizar consultas textuales y conseguir respuestas gráficas, por ejemplo, señalar con una marca o con otro color las gasolineras instaladas en una ciudad a partir de una fecha. O, de forma inversa, hacer una consulta gráfica y conseguir una respuesta textual, por ejemplo, indicar el número de un tipo de establecimiento, así como sus nombres, superficies, ventas... en un área que hemos definido sobre esta imagen de la ciudad usando el ratón.

La entrada de información de atributos a un SIG (Figura III-6) a través de un receptor GPS debe hacerse por medio de un "diccionario de datos", que no es más que una colección jerárquica de términos textuales grabados en la memoria de un receptor GPS. Estos términos se clasifican en tres categorías:

- **Tema:** se refiere a la materia de una clase. Si consideramos un ejemplo sobre red de carreteras, el tema podría ser el volumen de tráfico.
- **Atributo:** se refiere a las columnas de la tabla de la base de datos. Continuando con el ejemplo de la red de carreteras, un atributo podría ser accidentes en el mes de mayo, cada mes podría constituir un atributo distinto.
- **Valor:** se refiere a las entradas actuales en la tabla. En nuestro ejemplo, el número de accidentes.

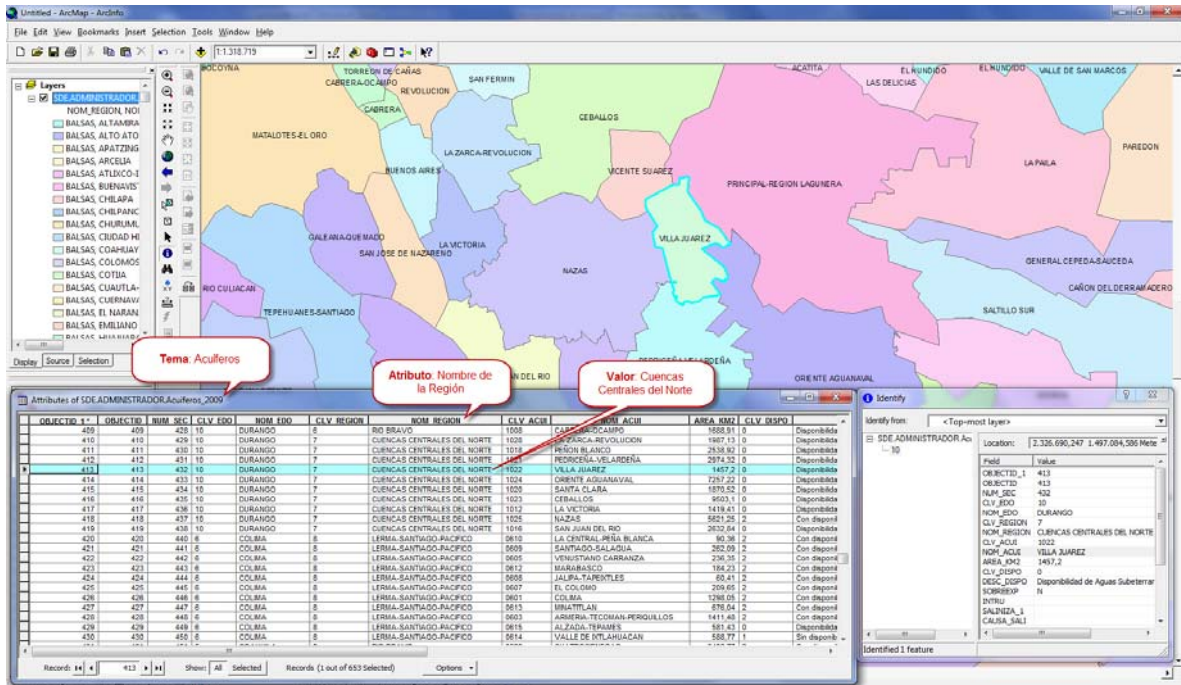


Fig. III-6 Ejemplo de aplicación en búsquedas utilizando la base de datos de acuíferos en un Sistema de Información Geográfica. Tema, Atributo y Valor.

Como se puede apreciar, hay una jerarquía en estos términos: las características contienen atributos y los atributos son columnas de valores.

III.4. Aplicaciones en la Comisión Nacional del Agua.

III.4.1. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO DEL AGUA Y EL DESARROLLO DE APLICACIONES.

La combinación de estos dos desarrollos tecnológicos, GPS y SIG, se está convirtiendo en una herramienta poderosa y nueva, aplicable a una cantidad innumerable de campos: industria, administración, protección civil, medio ambiente, agricultura, transporte, sistemas de navegación, negocios, entre otros.

El Sistema de Información Geográfico del Agua (SIGA) es consciente de que una efectiva administración del agua no es sólo cuestión de almacenar información o datos relativos a factores que afecten al recurso mismo. Un cómodo acceso a lugares concretos y a la información necesaria en el tiempo exacto, puede ser decisivo en casos críticos. Por ello, el SIGA aplica estas técnicas en áreas como contaminación de aguas, programas de cloración y yodación de sistemas de agua potable, inventarios de usuarios (REPA, Registro Público de Usuarios del Agua), medición de la oferta y la demanda (Subdirección General Técnica, Aguas Subterráneas y Superficiales), estadísticas públicas mediante el empleo de la Geobase de Datos Institucional del Agua (GeoBase en las Estadísticas del Agua en México).

III.4.2. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE AGUA LIMPIA (SIGAL).

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en coordinación con la Secretaría de Salud y los gobiernos municipales, realiza sistemáticamente operativos preventivos y emergentes de saneamiento básico y

desinfección de agua que, entre otros efectos ha permitido reducir de manera considerable los casos de Cólera. De 16 mil 430 casos confirmados en 1995, en el 2000 sólo se presentaron cinco, uno en 2001 y ninguno en el 2002 como hasta la fecha. Es importante mencionar que desde 1998 no ocurren defunciones por este padecimiento en nuestro país.

Para reforzar lo antes mencionado, el 12 de septiembre del 2002, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la CONAGUA, y la Secretaría de Salud (SS), suscribieron nuevas Bases de Colaboración con el propósito de proteger la salud de la población de los riesgos sanitarios derivados de la exposición a agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua y prevenir enfermedades de origen hídrico. (Ver Figura III-17b).

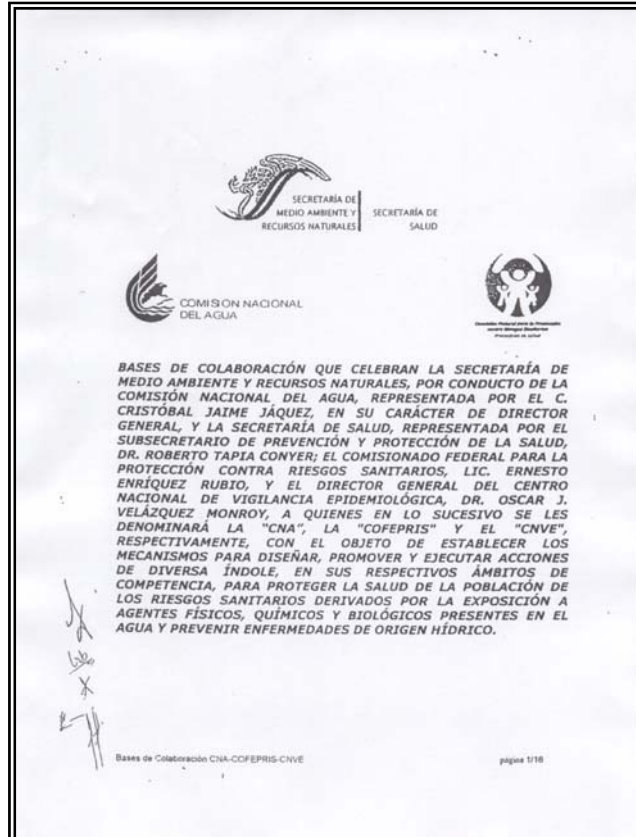


Figura III-17b. Bases de colaboración firmadas por la Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Salud (12 de septiembre del 2002). Organismo de Cuenca Península de Yucatán.

Entre los compromisos que tiene la CONAGUA y SS dichas Bases de Colaboración, está el proporcionar a nivel federal la información para elaborar el Sistema de Información Geográfica que permita conocer los niveles de cloración, de los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua para consumo humano; el Organismo de Cuenca Península de Yucatán, dentro de su Programa de Agua Limpia en coordinación con el Sistema de Información Geográfica del Agua (SIGA) y las Secretarías Estatales de Salud de Campeche, Quintana Roo y Yucatán se dieron a la tarea de desarrollar el Sistema de Información Geográfica de Agua Limpia (SIGAL) en su módulo de desinfección de Sistemas de Agua Potable para cada uno de los estados mencionados.

Lo anterior, con la finalidad de contribuir para tener una visión de la cuenca hidrológica Península de Yucatán, mapear los problemas que inciden en la cantidad y calidad de agua disponible para los diversos

usos a que se destine, la salud pública, el entorno ecológico y el bienestar de la población en un marco de desarrollo sustentable y sostenible. Por medio de esta herramienta disponible a través de Internet, es posible conocer, entre otros parámetros, el monitoreo de cloro residual que se efectúa semana con semana y obtener mapas por semana epidemiológica regional (ver Figura III-17c).

Cabe mencionar que el SIGAL (al momento de editar este documento, septiembre de 2010) es único en su tipo a nivel nacional y se espera que en un mediano plazo, los demás Organismos de Cuenca puedan establecerlo en sus respectivos ámbitos de competencia.

La página de Internet donde se publican los mapas generados y validados con la información compartida por los 3 Estados de la Península es la siguiente:

<http://www.conagua.gob.mx/Ocpy/Espaniol/SigalWeb.aspx?Id=Sistema de Información Geográfica del Agua Limpia|PROGRAMAS|4|0|0|0|0>

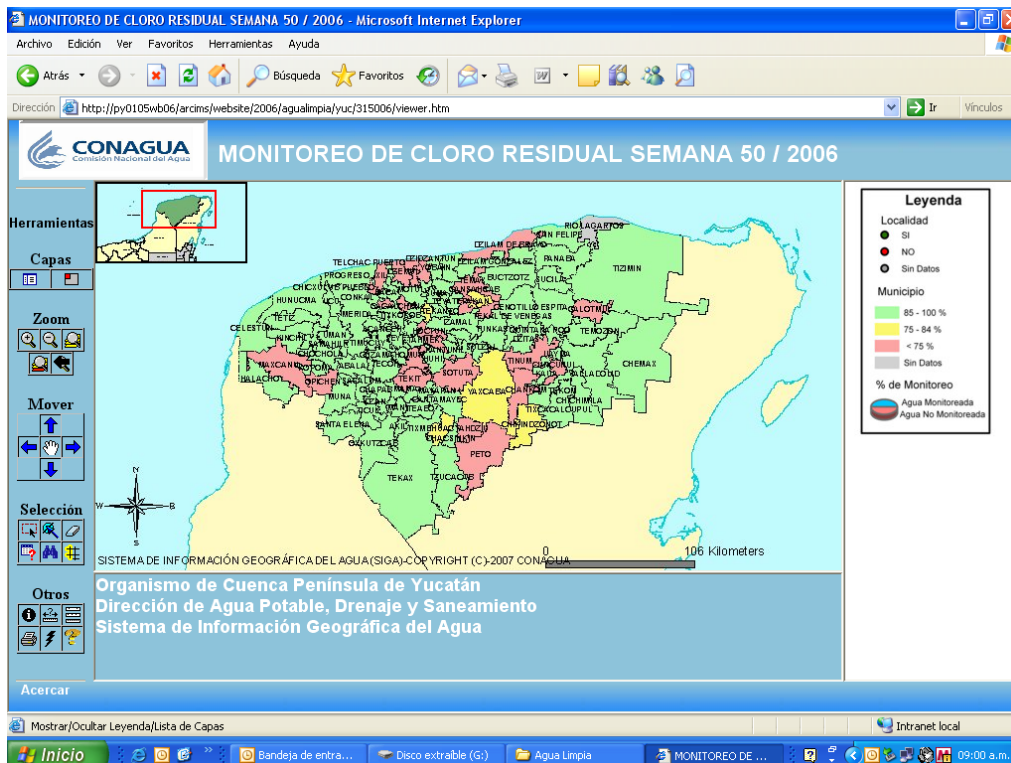


Figura III-17c. Mapa de la semana epidemiológica No. 50/2006, extraído del SIGAL. Comisión Nacional del Agua.

III.4.3. UBICACIÓN E INVENTARIO DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.

La ubicación de las estaciones hidrométricas es parte importante del proceso de medición de la oferta del recurso. En la Subdirección General Técnica se tiene una red de estaciones hidrométricas en los principales ríos del país. Con ayuda de estos receptores diferenciales para aplicaciones cartográficas, la precisión submétrica que alcanzan es suficiente para determinar sus coordenadas que servirán para que esas estaciones formen parte de los puntos de control para realizar análisis hidrológicos sobre los gastos de los ríos.



Figura III-14. Georreferenciación de Estaciones Hidrométricas, Climatológicas, Cenotes y obras hidráulicas en general.

Con esta ubicación, se realizan corridas sobre modelos de escurrimiento para obtener la red hidrográfica de la zona susceptible de inundarse y estimar el grado de inundación; así como conocer los posibles asentamientos humanos y zonas productivas en riesgo.

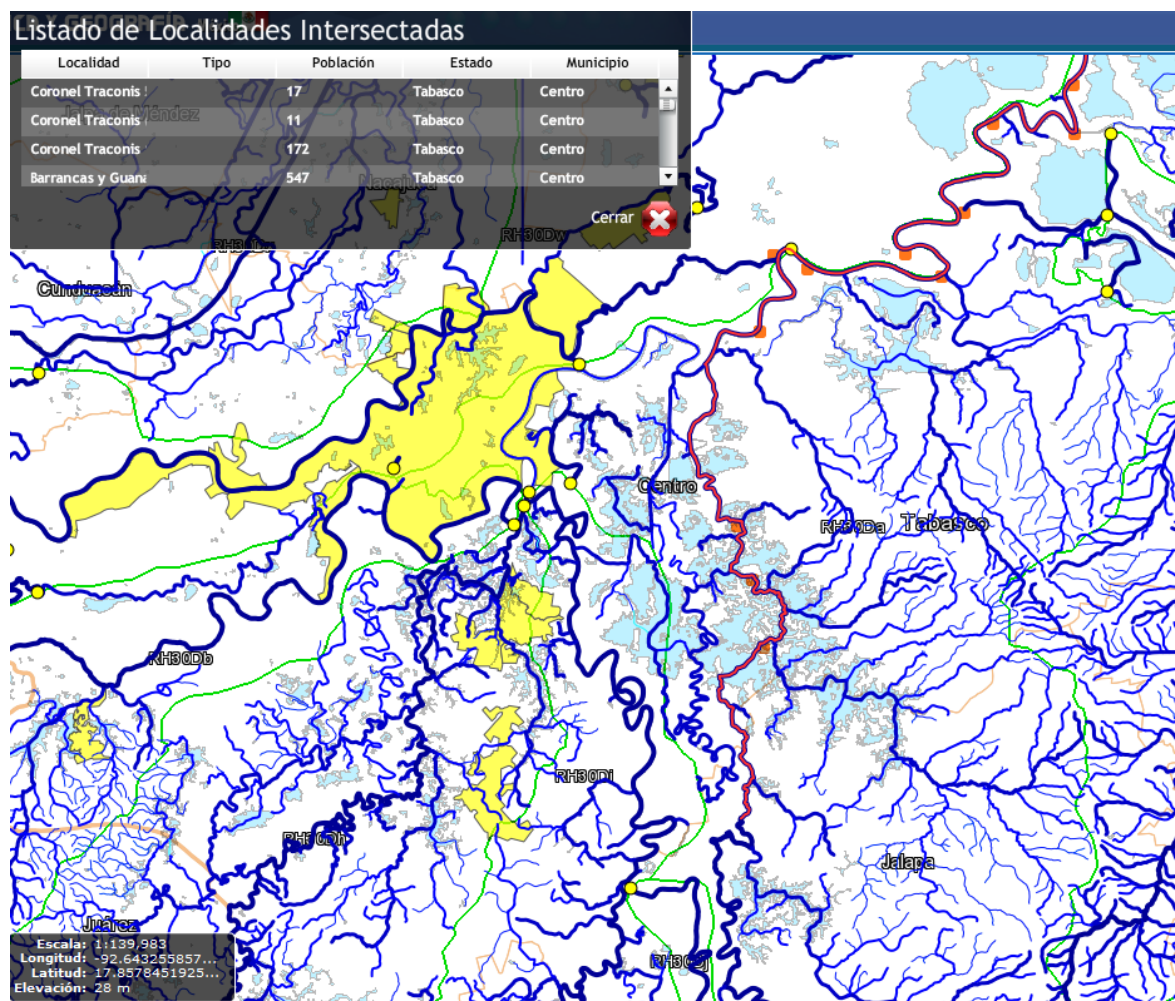


Figura III-15. Ejemplo de localización de poblaciones intersectadas en Tabasco, México, por un flujo aguas abajo utilizando la Red Hidrográfica Interconectada escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Fuente: Sitio Web del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrológicas (SIATL: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/index.html#)

En este rubro es donde todavía hay mucho trabajo por realizar, ya que el corazón de este tipo de análisis radica en la correcta ubicación de los puntos de control hidrológicos, es decir, las estaciones hidrométricas y su operación para conocer a detalle la información del caudal del río inspeccionado. La mayoría de las estaciones se encuentran ubicadas fuera del cauce de los ríos y para estos fines, la modelación arroja errores de precisión.

La Georreferenciación de estaciones hidrométricas se lleva a cabo con equipos GPS diferenciales con ayuda de la realización de Talleres ex profeso e *in situ* por parte del área del SIGA Central en las entidades, Organismos de Cuenca y Direcciones Locales que lo solicitan. Esto es con la finalidad de homologar criterios y metodologías para la obtención de la posición de esos puntos y la información tabular correspondiente (Figura III-16).



Figura III-16. Talleres de Georreferenciación en Organismos de Cuenca y Direcciones Locales (Entidades Federativas) impartidos por la Unidad Central del SIGA para el manejo de los receptores GPS tipo diferencial para aplicaciones cartográficas.

III.4.4. EXTRACCIÓN DE MATERIALES PÉTREOS. VERIFICACIÓN.

De igual forma, el uso de los receptores GPS/GIS ha sido una herramienta de ayuda invaluable en la cuantificación de la extracción de materiales pétreos que efectúan diferentes compañías dedicadas a este rubro en el lecho de los ríos y de los cuales, la Comisión Nacional del Agua tiene jurisdicción por tratarse de propiedad federal.

Hasta hace unos 10 años, esa cuantificación se efectuaba a “ojo de buen cubero” contando la cantidad de camiones de volteo que entraban y salían de la zona de extracción. Ese “dato” era reportado para el pago correspondiente por parte de las empresas. Afortunadamente, esta aplicación comienza a tomar un auge considerable y se ha demostrado que si bien, los receptores GPS/GIS no tienen el grado de precisión centimétrico al momento de efectuar la medición, sí puede dar un dato más cercano a la realidad en comparación con el dato obtenido por simple vigilancia “visual”.

Ahora, el concepto por el pago de extracción de materiales representa un avance sobre esa práctica tan extendida en diversas zonas del país. Se necesita extender esta metodología en otras regiones, sin embargo, en la Dirección Local Nayarit se ha implementado de manera natural e inmediata.



Figura III-13. Levantamiento con receptor GPS/GIS para cuantificar volumen extraído de materiales pétreos. Tepic, Nayarit.

III.4.5. INVENTARIO DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.

Otra de las aplicaciones que se utilizan en la Comisión Nacional del Agua es el inventario de estaciones climatológicas a lo largo y ancho del territorio. En los Organismos de Cuenca en que se encuentra dividida la administración del agua en el país (son 13 los Organismos, como se ha mencionado anteriormente) se utilizan los receptores para aplicaciones GPS/GIS en campañas de ubicación y reubicación e incluso rehabilitación de este tipo de estaciones para la medición de los parámetros hidrometeorológicos (presión, temperatura, precipitación, irradiación solar, nevadas, humedad, granizadas). Ver Figura III-7.



Figura III-7. Estación climatológica en Guanajuato. Personal de la Comisión obtiene las Coordenadas y atributos con equipo GPS/GIS

III.4.6. INSPECCIÓN Y MEDICIÓN. VISITAS DE INSPECCIÓN EN LA GEORREFERENCIACIÓN DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA.

Como se ha mencionado, la Comisión Nacional del Agua tiene dentro de sus atribuciones más importantes la verificación de que los usuarios de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes cumplan lo dispuesto en sus títulos de concesión, en la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento y demás disposiciones jurídicas aplicables.

Para ello, cada año los organismos de cuenca y direcciones locales que conforman el nivel hidrológico-administrativo de la institución, programan visitas de inspección de acuerdo a la problemática local y en concordancia con los recursos con los que dispone, a fin de verificar usuarios en los siguientes rubros:

- Extracción de aguas nacionales de cuencas y acuíferos
- Utilización de los cuerpos de agua como receptores de aguas residuales
- Extracción de materiales pétreos de cauces y vasos de propiedad nacional
- Ocupación de zonas federales inherentes a cuerpos de agua de propiedad nacional

Durante estas actividades, se deben cumplir las formalidades estipuladas en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento, así como en la Ley Federal de Procedimiento Administrativo. Entre ellas, las más importantes son:

Al realizarse una visita de inspección, se deberá presentar a quien la atiende un documento denominado "Orden de Visita". El personal que efectúa la visita tiene el carácter de inspector, visitador, notificador o auxiliar técnico.

Los censos registrados en la evaluación de las concesiones de extracción de agua en pozos ha sido una de las principales actividades en la administración del agua a lo largo del territorio. Las visitas de inspección y medición así lo determinan. En ambos casos lo que se pretende es que el usuario que cuenta con un título de concesión declare bajo protesta de decir verdad que lo que utiliza en cuanto al recurso sea lo más cercano a la realidad. Es cierto que la Ley obliga a los usuarios a colocar un medidor, más no a mantenerlo en buenas condiciones de operación y es cuando la institución tiene que "confiar" en lo que declare el usuario en cuanto al uso y aprovechamiento del agua.

Es por ello que se realizan visitas de inspección en zonas específicas para recabar información que permitan corroborar lo dicho por el usuario. En estas visitas de inspección de unos 8 años a la fecha se ha implementado la incorporación de personal técnico-operativo para recabar la información geográfica del título de concesión (nombre del propietario, uso del pozo, lectura del medidor, tipo de bomba, coordenadas geográficas, entre otros atributos). Estos datos básicos forman parte del acto jurídico que se realiza en presencia del propietario y muchas veces permite la actualización de datos en el mismo título de concesión que así lo amerite.

Actualmente, el personal que atiende estas visitas está capacitado no sólo en los aspectos técnicos de medición de aquellos parámetros que permiten determinar si un usuario cumple con la Ley de Aguas Nacionales, sino también con los aspectos jurídicos que fundamentan su actividad.



Figura III-8. Medidor de pozo. Comisión Nacional del Agua.

Sin embargo, el número total de estos inspectores es insuficiente para verificar el universo total de usuarios que de hecho o de derecho, utilizan las aguas nacionales, así como sus bienes públicos inherentes. En el caso de organismos de cuenca, se tiene el siguiente personal (septiembre, 2009):

<i>Organismo de Cuenca</i>	<i>Personal acreditado para realizar actividades de inspección</i>
Aguas del Valle de México	8
Balsas	6
Cuencas Centrales del Norte	5
Frontera Sur	8
Golfo Centro	8
Golfo Norte	5
Lerma-Santiago-Pacífico	4
Noroeste	6
Pacífico Norte	11
Pacífico Sur	8
Península de Baja California	4
Península de Yucatán	3
Río Bravo	2
Total	78

Tabla 3-1. Personal disponible para las visitas de inspección en la Comisión Nacional del Agua. Fuente: "Compendio Estadístico de Administración del Agua CEAA, edición 2009. Subdirección General de Administración del Agua.

De igual forma se reportan 114 personas dedicadas a la inspección en Direcciones Locales, lo que no hace demasiado en este tipo de actividades en donde el 18% de las conductas sancionables lo representan el "No contar con medidor" y detrás vienen, con el 12% "Descargar aguas residuales sin permiso" y con el 11% "Ocupar zona federal sin permiso". Esos porcentajes fueron obtenidos con datos de 3957 vistas realizadas en el 2008, en donde 1319 usuarios se encontraron en conductas susceptibles de sanción.

En estas visitas se ha contado con la presencia de auxiliares técnicos que llevan en la mayoría de las ocasiones un receptor GPS/GIS para recabar la información tabular necesaria y la ubicación geográfica del título de concesión para la actualización de datos.



Figura III-9. Visita de inspección. Obtención de coordenadas con receptor GPS diferencial en la Dirección Local Baja California Sur

III.4.7. INFRAESTRUCTURA METEOROLÓGICA. OBSERVATORIOS SINÓPTICOS Y RADARES.

Otra aplicación en la práctica dentro de la Comisión Nacional del Agua es la ubicación de las obras de infraestructura que tienen que ver con la medición de la oferta del recurso: las instalaciones de los observatorios sinópticos ubicados a lo largo y ancho del territorio; así como la red de radares y las estaciones climatológicas correspondientes.

Cabe mencionar que el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es el organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país; depende de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Los objetivos del SMN se concentran en la vigilancia continua de la atmósfera para identificar los fenómenos meteorológicos que pueden afectar las distintas actividades económicas y sobre todo originar la pérdida de vidas humanas. El SMN también realiza el acopio de la información climatológica nacional.

Para llevar a cabo sus objetivos el Servicio Meteorológico Nacional cuenta con una red, la cual está conformada por la siguiente infraestructura de observación:

- Red sinóptica de superficie, integrada por 72 observatorios meteorológicos, cuyas funciones son las de observación y transmisión en tiempo real de la información de las condiciones atmosféricas.
- Red sinóptica de altura. Consta de 15 estaciones de radiosondeo, cuya función es la observación de las capas altas de la atmósfera. Cada estación realiza mediciones de presión, temperatura, humedad y viento mediante una sonda que se eleva por medio de un globo, lanzado dos veces al día.
- Red de 12 radares meteorológicos distribuidos en el Territorio Nacional. Esta red comenzó a funcionar en 1993 y proporciona información continua que se recibe en el Servicio Meteorológico Nacional, vía satélite. Los radares permiten detectar la evolución de los sistemas nubosos. Con ello puede conocerse la intensidad de la precipitación (lluvia, granizo o nieve), la altura y densidad de las nubes y su desplazamiento, así como la velocidad y dirección del viento, en un

radio máximo de 480 Km alrededor de cada radar. Con la actual red de doce radares se cubre casi en su totalidad el Territorio Nacional.

Esta infraestructura a nivel local ha sido georreferenciada por personal técnico-operativo con ayuda de los equipos GPS para aplicaciones cartográficas en campañas de habilitación o rehabilitación de infraestructura hidráulica en Organismos y Direcciones Locales.



Figura III-10. Georreferenciación de Estación Climatológica y Observatorio Sinóptico mediante receptor GPS diferencial en la Dirección Local Baja California Sur

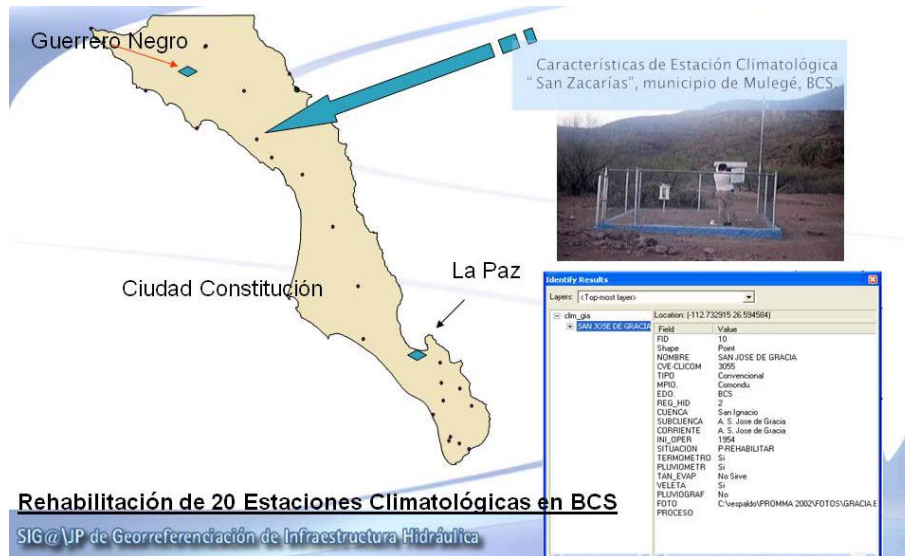


Figura III-11. Campaña de rehabilitación de Estaciones Climatológica en BCS. Levantamiento con receptores GPS diferenciales y uso de Sistemas de Información Geográfica para su seguimiento y toma de decisiones

III.4.8. LOCALIZADOR DEL REGISTRO PÚBLICO DE USUARIOS DEL AGUA.

La agilidad y rapidez en la gestión de información en usuarios internos y externos a la Comisión Nacional del Agua es otra de las prioridades del SIGA. Administra, por ejemplo, la gestión de usuarios y sus concesiones otorgadas en el Registro Público de los Derechos del Agua (REPDA), determinando en pocos segundos todas aquellas concesiones de agua otorgadas por la dependencia en medios accesibles y disponibles en tiempo real. Esta interfase desarrollada en Web posee insumos cartográficos

tales como cartografía digital escala 1:50,000 y 1:250,000 del país (fuente: INEGI), así como en algunos casos ortofotos digitales escala 1:10,000 de varias épocas del año. (Ver Figura III-12)

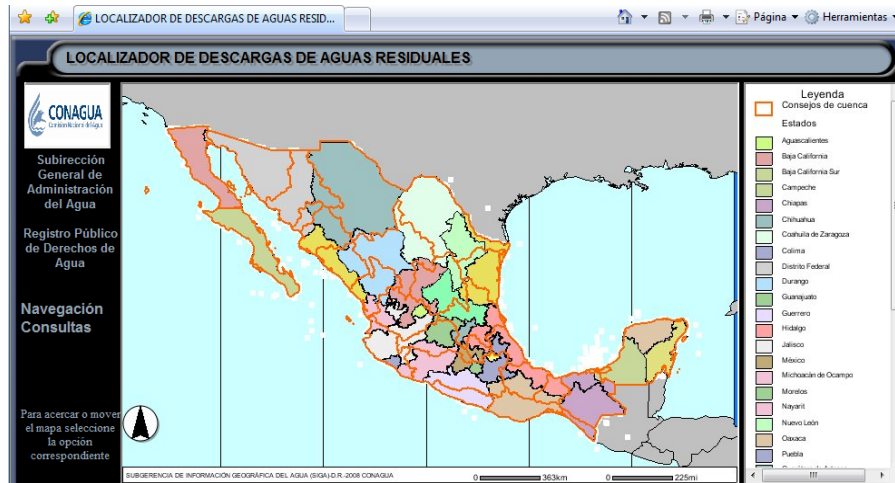


Figura III-12. Localizador de Descargas de Aguas Residuales

De igual forma, los receptores GPS para aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica con los que cuenta cada unidad del Sistema de Información Geográfico del Agua en los Organismos de Cuenca se han utilizado para distintos fines. Tal es el caso de los puntos de control que utilizan las brigadas topográficas para realizar levantamientos de zonas federales o predios de expropiación; apartado que se verá en la siguiente sección en aplicaciones con estaciones totales e incluso receptores GPS de doble frecuencia (Figura III-12).



Figura III-12. Levantamiento de puntos de control para el apoyo de brigadas topográficas.

III.5. Aplicaciones con receptores GPS Topográficos y Geodésicos.

Uno de los mayores retos que se tienen dentro del programa de trabajo de Georreferenciación de la infraestructura hidráulica dentro de la Comisión Nacional del Agua es implementar y llevar a cabo el uso

de metodologías más precisas para la obtención de las coordenadas correspondientes a las obras que administra esta institución.

Por un lado, el uso de los equipos GPS, como ya se ha mencionado, se ha extendido en casi todas las áreas que integran la institución. El grado de precisión que requieren las áreas es cada vez mayor, a pesar de que la mayoría de los usuarios presentan un perfil bajo en el manejo de los equipos. Queda en claro que el GPS es una herramienta que se utiliza cada vez más.

III.5.1. DELIMITACIÓN DE ZONAS FEDERALES.

Un ejemplo del uso extendido de los equipos GPS topográficos y geodésicos es la delimitación de las zonas federales en el cauce de los ríos. Los últimos 10 años, el territorio mexicano ha sido frecuentemente golpeado por los fenómenos hidrometeorológicos extremos, como los huracanes, que han devastado comunidades enteras e, incluso inundado centros de población importantes en el sureste del país, principalmente.

Se ha diagnosticado que la mayoría de los asentamientos humanos que han resultado afectados por estas contingencias ambientales se encuentran ubicados en zonas federales, en las postrimerías de barrancas e incluso, sobre los lechos de los ríos supuestamente secos pero que no consideran el paso histórico de esas avenidas hídricas que no ‘olvidan’ y que pueden retomar su cauce histórico en determinado ciclo.

La delimitación de las zonas federales es de primordial importancia para prevenir este tipo de desastres naturales con la finalidad de proteger las vidas de las personas que habitan ahí. De igual forma, esto implica su reubicación, con el correspondiente pago por indemnización. De lo anterior, va a depender la plusvalía de la zona, porque no es lo mismo indemnizar a personas cuyo valor por metro cuadrado construido está entre 5 ó 6mil pesos, que a propietarios cuya casa o construcción esté valuada en 300 ó 400 pesos.



Figura III-17. Levantamiento topográfico en puentes. La poligonal de apoyo levantada permitió referir la topografía de los puentes al mismo banco de nivel considerado en la restitución fotogramétrica y propagar las coordenadas obtenidas con equipos GPS. Zona federal del Río Nazas en Torreón, Coahuila.

Para ello, se deben utilizar equipos de doble frecuencia o doble banda en terrenos de gran plusvalía para obtener las contribuciones reales del catastro ocupado.



Figura III-17a. Zona invadida en la margen izquierda del Río Nazas y Equipo de doble frecuencia para aplicaciones topográficas para demarcación de zonas federales

III.5.2. ESTUDIOS BATIMÉTRICOS.

Otra de las aplicaciones en las cuales se hace necesario utilizar equipos GPS de doble frecuencia es en los estudios batimétricos en los vasos de las presas. Esto es con la finalidad de conocer con precisión el lecho de esos vasos para tomar decisiones con respecto a los azolves y trata de malezas en esos cuerpos de agua.



Figura III-18. Equipo de doble frecuencia para aplicaciones topográficas para levantamientos batimétricos en vasos de presas. Presa Josefa Ortiz de Domínguez, Sinaloa, México.

Este tipo de levantamiento hidrográfico está experimentando cambios fundamentales en la tecnología de la medición. Los sistemas multihaz acústicos y láser aerotransportados ahora proporcionan cobertura y medición casi total del fondo del agua con respecto a muestreos anteriores hechos por perfiles batimétricos. La capacidad para posicionar los datos con exactitud en el plano horizontal ha crecido enormemente gracias a la disponibilidad de los sistemas de posicionamiento satelital, particularmente cuando se recurre a técnicas diferenciales.

Este tipo de actividades, aunque no se realizan estricta y directamente por las áreas técnicas de la Comisión Nacional del Agua, sí requieren de la supervisión misma a empresas contratantes para poder recibir los resultados apegados a los términos de referencia indicados con antelación.

III.5.2.1. TOMA DE DATOS Y EQUIPOS UTILIZADOS.

III.5.2.1.1. OBJETIVO.

Actualizar las curvas de capacidad de los embalses, y medir los volúmenes de materiales sedimentados.

III.5.2.1.2 VUELO FOTOGRAMÉTRICO.

El primer paso a dar para la realización de un estudio batimétrico consiste en obtener las fotografías aéreas del embalse y sus zonas próximas. Con el vuelo fotogramétrico y mediante la oportuna restitución de los pares estereoscópicos, se obtiene el plano topográfico de la parte del vaso no sumergida que figura en los fotogramas.

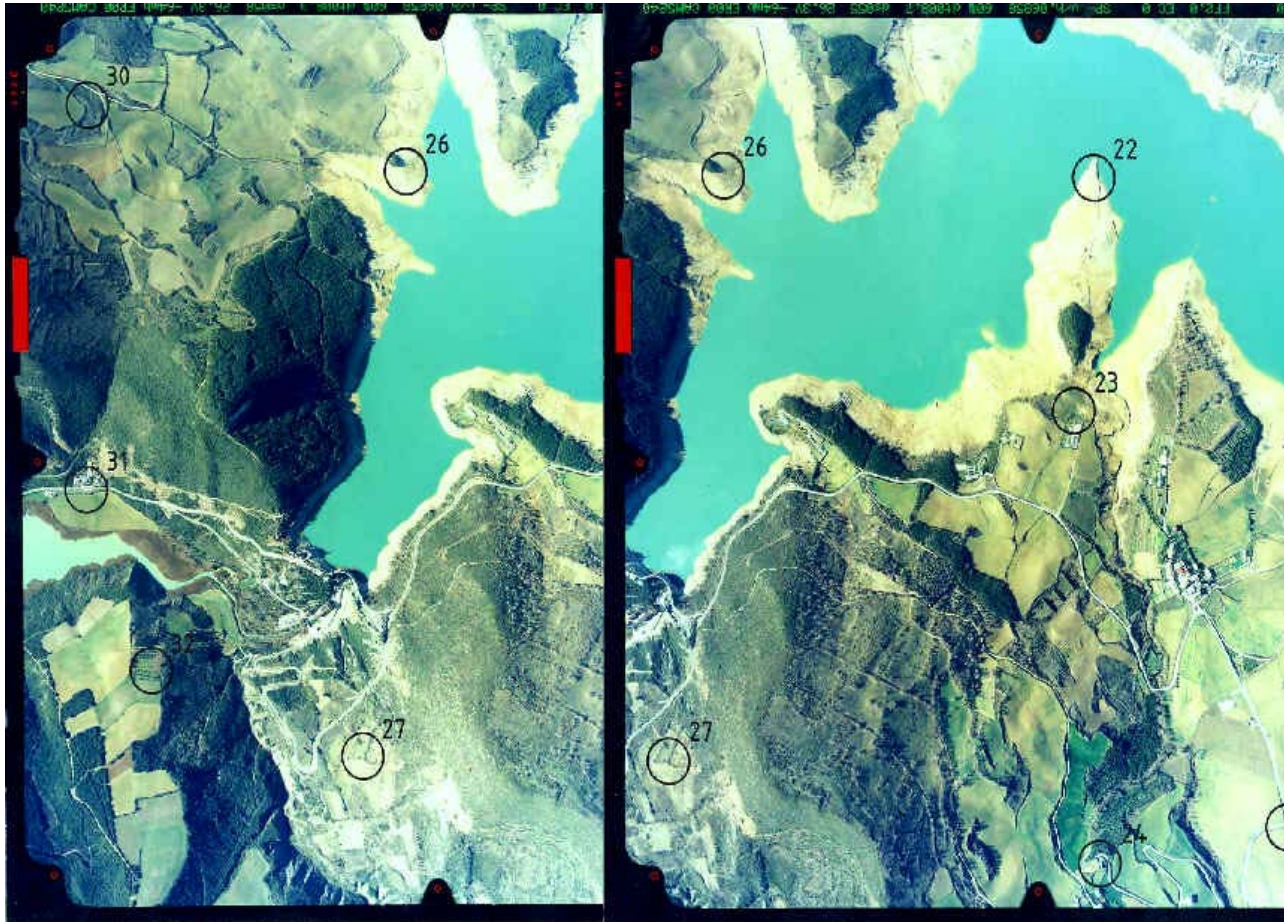


Figura III-19. Par de fotografías de vuelo fotogramétrico de la zona de estudio del embalse, con puntos de control terrestre identificados y picados en campo para su interpretación estereoscópica. Presa Josefa Ortiz de Domínguez, Sinaloa, México.

El vuelo conviene realizarlo en aquella época del año en que el nivel del agua embalsada sea mínimo, con objeto de conseguir sin mucha dificultad una pequeña franja de traslape entre las zonas restituida y levantada por batimetría. De esta forma no quedará ninguna zona del embalse sin información topográfica.

III.5.2.1.3. PUNTOS DE APOYO EN LOS FOTOGRAMAS.

En primer lugar se debe elegir sobre los fotogramas los lugares donde deberán situarse los Puntos de Apoyo (P.A.).

Estos lugares serán los adecuados, de manera que la zona seleccionada esté incluida en la de recubrimiento de los diferentes fotogramas de una misma pasada y a su vez, de las pasadas colindantes si fuera el caso.

De esta forma se consigue que la restitución se realice siempre dentro de la superficie definida por los puntos de apoyo, evitando tener que realizar extrapolaciones.

Se situarán cuatro puntos como mínimo por cada par estereoscópico.

Dadas las características especiales que reúnen los pares de los vuelos de los embalses, en donde en muchas ocasiones una gran parte del par se corresponde con la zona de agua del embalse, los P.A. se situarán siempre de forma que permitan la correcta restitución.

III.5.2.1.4. RED DE TRIANGULACIÓN O POLIGONACIÓN.

Tomando como base la Cartografía del Mapa Nacional a escala 1:50,000 y como coordenadas las calculadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en proyección UTM (elipsoide WGS84 y zona correspondiente); se proyecta una red que sirva de base para la obtención de las coordenadas de los Puntos de Apoyo y de los Puntos Batimétricos. Dicha red, cubrirá toda la superficie a cartografiar y estará compuesta por una serie de Estaciones que formarán una malla de poligonación o triangulación que se unirá a la Red Geodésica Nacional mediante estacionamiento en los Vértices Geodésicos más próximos a la zona del embalse.

Se procurará que la red sea ejecutable en el terreno en la totalidad de su desarrollo y no tendrá estaciones destacadas ni vértices aislados.

III.5.2.2. PERFILES BATIMÉTRICOS.

Con las fotografías que componen el vuelo fotogramétrico se realiza un mosaico del conjunto del embalse. Sobre él se definen los perfiles a realizar.

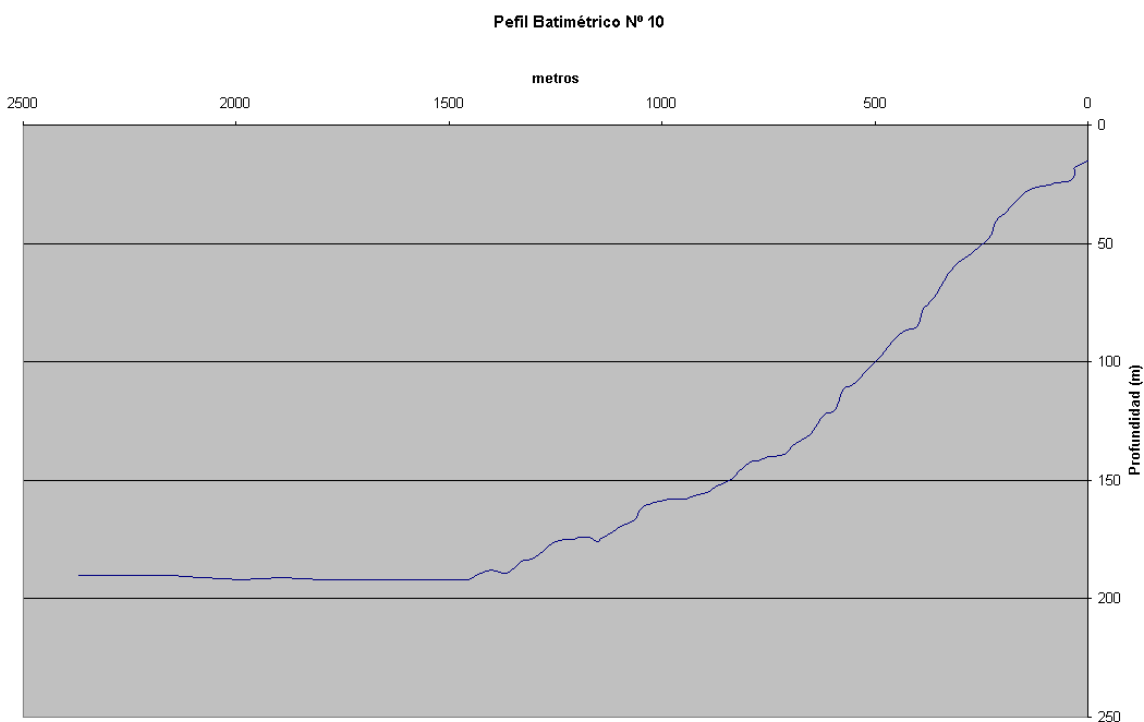


Figura III-20. Ejemplo de obtención del perfil batimétrico del embalse, producto de las observaciones realizadas en uno de los transectos

Generalmente se sitúan de forma que sean siempre perpendiculares al eje del río o de los cauces o vaguadas que se incorporen al embalse. En los cursos muy estrechos se situará un perfil longitudinal al cauce

Para la obtención de información de la zona del embalse en donde existen islas, se radian los perfiles desde las mismas.

III.5.2.3. TRABAJOS DE CAMPO.

III.5.2.3.1. APOYO DE LOS PARES ESTEREOSCÓPICOS DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO.

Se comienza por replantear en el terreno la red proyectada en gabinete señalizándola mediante clavos *FENO*³¹ (ver Figura III)

De las Estaciones (vértices) que componen dicha red, se realiza una reseña con indicación de su acceso y el detalle de su señalización. También se hace un pequeño croquis de su situación.

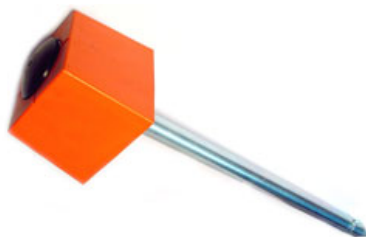


Figura III-20a. Clavo (hito) marca FENO. Los hitos Feno se han convertido en la señalización permanente más utilizada en la topografía. Su sistema de anclaje patentado y su cabeza de resina altamente resistentes le confieren una durabilidad inigualable. Barra de 50 cm. con tres anclajes de acero.

Una vez señalizada se procede a la lectura de ángulos y distancias.

Desde cada Estación se medirá y observará a las Estaciones y Vértices Geodésicos que sean visibles.

Desde las diferentes Estaciones que componen la Red, se referencian los Puntos de Apoyo mediante radiación, utilizándose los equipos indicados anteriormente.

Se procura que los Puntos de Apoyo se correspondan con elementos fijos del terreno (esquinas de casas, postes, tapias, entre otros) y se realiza una reseña del objeto identificado planimétricamente, con una breve indicación del detalle seleccionado y el lugar en el que se ha dado el punto para la altimetría. Asimismo se indica la pasada y el fotograma en que se ha picado en cada Punto de Apoyo (PA).

Todos estos puntos deben elegirse de forma que puedan ser identificados fácilmente en las fotografías aéreas.

³¹ Estos clavos/hitos *FENO* se les denomina así por su marca comercial; son clavos de acero inoxidable con puntas aceradas que perduran en campo un tiempo considerable y son ideales para condiciones de intemperismo severo.

III.5.2.4. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.

La parte del vaso del embalse que no es posible restituir por encontrarse sumergida en el momento de la realización de los fotogramas aéreos, debe obtenerse mediante el correspondiente reconocimiento batimétrico.

Para ello se debe esperar hasta que el nivel del agua en el embalse sea superior al que tenía en el momento de efectuarse el vuelo, con objeto de que no quede ninguna zona del embalse sin información topográfica.

El levantamiento batimétrico consiste en la obtención de las coordenadas (x, y, z) de un número suficiente de puntos del vaso del embalse, de forma que mediante el posterior tratamiento de esos datos con programas informáticos adecuados, se puedan obtener de la manera más real posible las curvas de nivel que definen el terreno situado bajo la lámina de agua.

Esto se consigue mediante el empleo de los siguientes equipos:

- Estación Total de Topografía.
- Ecosonda con receptor GPS geodésico en la embarcación.
- Prismas.

En la instalación del emisor de la ecosonda en la embarcación deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- Seleccionar un sitio que tenga un mínimo de vibraciones.
- El cabeceo y el balanceo deben ser mínimos.
- Debe estar separado de otros elementos eléctricos.
- El sitio elegido no debe estar en contacto con espuma o burbujas.
- El agua a su alrededor esté lo más tranquila posible.

Generalmente se suele colocar a $1/4$ ó $1/3$ de la longitud total de la embarcación a partir de la popa

- La comunicación entre los operadores situados tanto en la Estación Total como en la embarcación, se realiza mediante aparatos radiotransmisores portátiles, con frecuencia de trabajo propia

III.5.2.5. TRABAJOS DE GABINETE.

Una vez en gabinete se recopilan todos los datos tomados en el campo, los relativos a la Red (vértices), al Apoyo fotogramétrico y al reconocimiento Batimétrico. Se ordenan las reseñas de los vértices y de los puntos de apoyo, gráficos, cartas batimétricas, etc.

En el gráfico de la Red se sitúan todas las Estaciones, así como todas las distancias medidas y las visuales realizadas. A continuación se procede a numerar cada uno de los puntos, Vértices Geodésicos,

Estaciones de Triangulación y/o Poligonación, Puntos de Apoyo, Estaciones y Puntos Batimétricos. La numeración de cada uno de ellos es única con el fin de evitar posibles errores³².

- Vértices: Del 100 al 105 y 115 a 117 (Geodésicos).
- Del 106 al 113 y 118 a 122 (Triangulación).
- Puntos de Apoyo: Del 1 al 58.

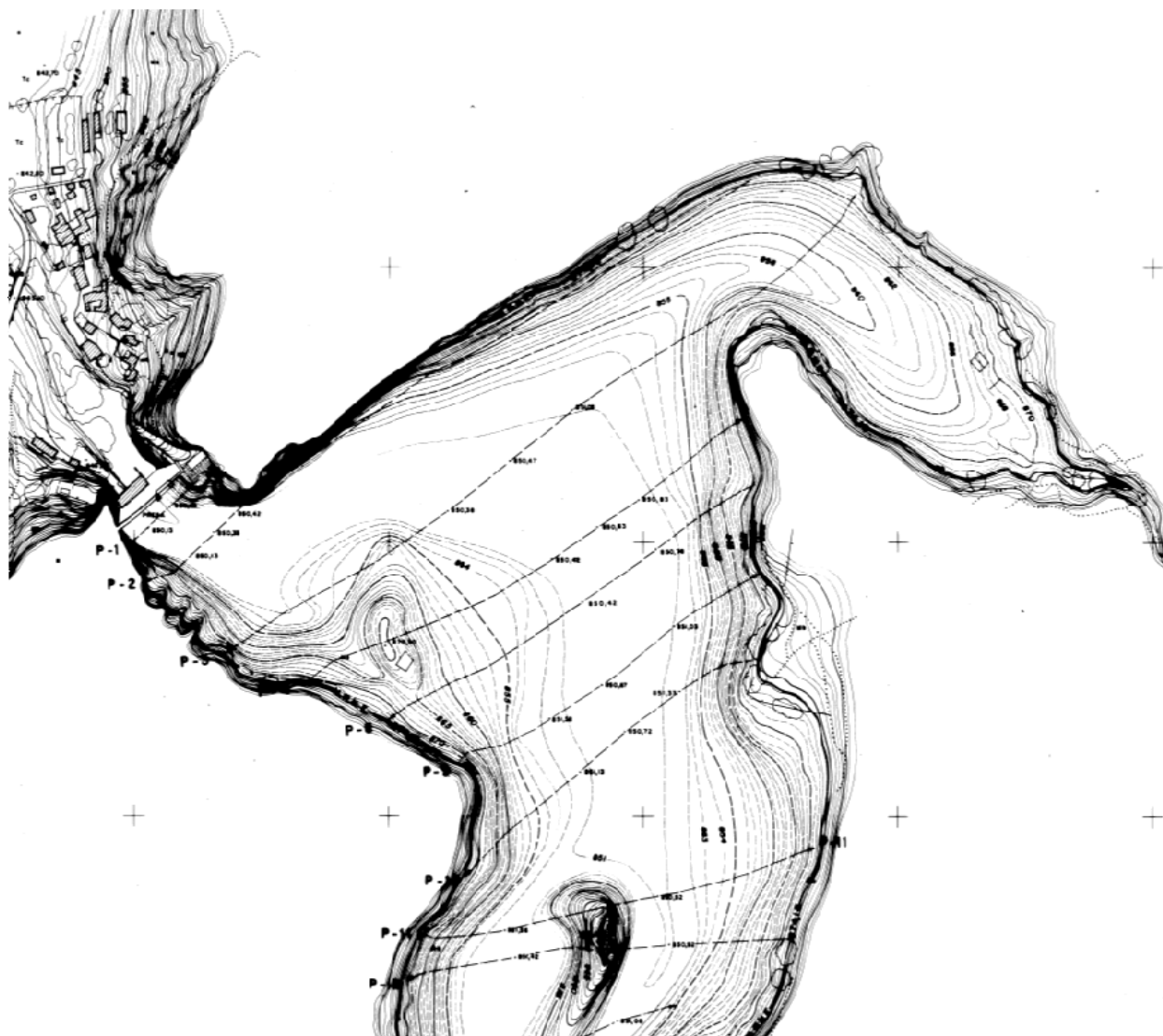


Figura III-21. Configuración batimétrica obtenida de los datos colectados en campo del fondo del embalse

III.5.2.5.1. CÁLCULO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO REALIZADOS.

Consiste en obtener el valor de las coordenadas (x, y, z) de cada punto analizado, a partir de las medidas angulares y de distancia realizadas en el campo.

³² Esta numeración es propia de cada uno de los trabajos realizados en la Comisión Nacional del Agua y aquí sólo se menciona como un ejemplo, donde no necesariamente se repite este número consecutivo por trabajo efectuado

Una vez numerados todos los puntos, se procede en primer lugar al cálculo de la Red, ajustándose planimétricamente a la Red Geodésica Nacional y altimétricamente a los datos de la Presa.

Al realizarse el cálculo en coordenadas UTM se aplican las correcciones propias de dicha proyección.

En el cálculo de la altimetría se utilizan las correcciones de esfericidad y refracción.

III.5.2.6. CUBICACIÓN DEL EMBALSE (CÁLCULO DEL VOLUMEN).

Para obtener la cubicación del vaso del embalse se debe proceder, previamente, a calcular la superficie encerrada por cada curva de nivel.

Dado que lo que se desea obtener es una relación altura-volumen, para conseguir la curva de capacidad actualizada del embalse se calcula el volumen comprendido entre curvas de nivel consecutivas mediante la fórmula:

$$V_i = \frac{h}{3} (S_i + \sqrt{S_i \cdot S_{i+1}} + S_{i+1}), \text{ donde:}$$

V_i = Volumen comprendido entre las cotas i e $i+1$

h = Distancia entre curvas de nivel consecutivas

S_i = Superficie limitada por la curva de cota i

S_{i+1} = Superficie limitada por la curva de cota $i+1$

El volumen total será entonces:

$$i=m$$

$$V = \sum V_i$$

$$i=a$$

donde:

a = Cota de la curva más profunda.

m = Cota del Máximo Nivel Normal de Embalse.

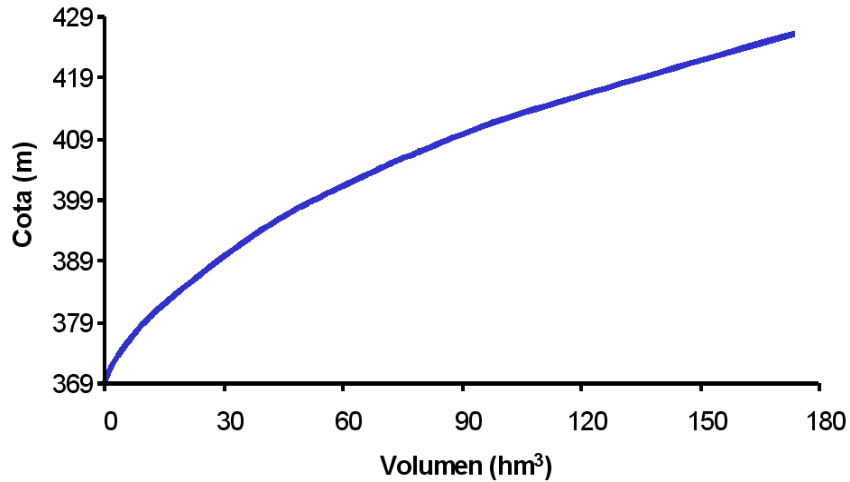


Figura III-21. Cálculo de la curva de capacidad actualizada del embalse. Relación altura vs. volumen

III.5.3. RED DE PIEZOMETRÍA.

El Censo de Pozos con fines piezométricos es también una aplicación en donde se utilizan receptores GPS de dos bandas o topográficos, ya que es indispensable conocer el valor de la altitud con centímetros de precisión para obtener los niveles de los brocales de manera precisa.

La medición sistemática de los niveles piezométricos a nivel nacional inició en la década de los 50's particularmente en áreas en donde se explotaban los acuíferos de forma intensiva para uso agrícola y doméstico. Destaca, por su diseño, la actual la red de multipiezómetros en el acuífero del Valle de México, que opera desde la década de los 60's en diversos puntos de la zona urbana de la ciudad de México (Ver Figura III-22).

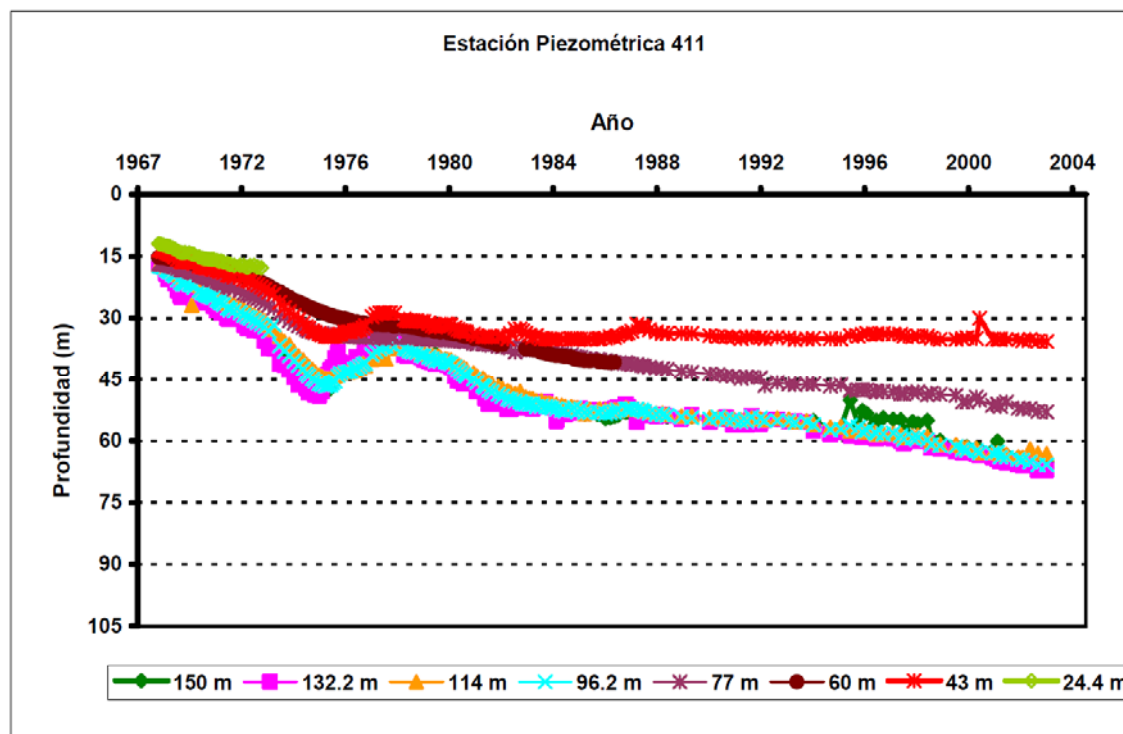


Figura III-22. Medición del nivel freático a diferentes profundidades en la estación 411 en el acuífero del Valle de México

En la década de los 70's y parte de los 80's, la frecuencia de medición disminuyó debido a restricciones económicas que limitaron los recorridos de campo. A partir de los años 90's la Comisión Nacional del Agua, creó el Programa de Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico de Acuíferos (PRRMA). En su primera etapa, se incluyó la reactivación de las redes de monitoreo de los 150 acuíferos más importantes (de un total de 650), de los cuales se extrae en conjunto más del 80% del volumen total de agua subterránea del país.

El objetivo de la red es el de determinar la condición actual de la elevación del nivel estático, predecir su evolución en respuesta a fenómenos naturales o actividades antropogénicas, así como estimar los componentes dinámicos del balance de agua subterránea, entre otras. El alcance de este apartado sólo pretende resumir las principales consideraciones técnicas que apoyaron el diseño y operación del Programa Nacional del Monitoreo de Acuíferos (PNMA) y sus perspectivas a mediano plazo y largo plazo.

III.5.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES DE MONITOREO.

III.5.3.1.1. SELECCIÓN DE LOS POZOS DE MONITOREO.

La medición de los niveles estáticos se lleva a cabo a través de piezómetros, pozos de producción, pozos abandonados, o norias. Una red integrada exclusivamente por piezómetros representa una alta inversión económica por ello, en la mayoría de los casos se aprovechan los pozos de producción para las mediciones.

El monitoreo en pozos tiene la ventaja de que se realiza en obras existentes que permiten al mismo tiempo extraer el agua, verificar su calidad, y determinar el nivel estático a una escala regional y con una precisión razonable para fines prácticos. Sin embargo, debido a la heterogeneidad de los acuíferos y la variedad en la construcción de los pozos, los niveles estáticos están influenciados por:

- la longitud de los ademes ranurados y su profundidad total,
- la superficie topográfica, y
- la presencia de uno o más acuíferos.

Por ello, los datos de los pozos requieren de un análisis previo para seleccionar solo aquellos que representen al acuífero en estudio. En casos especiales como: conexión hidráulica entre acuíferos a diferente profundidad, estudios de caracterización de contaminación, evaluación de intrusión salina, se construyen piezómetros en cada sitio de interés.



Figura III-23. Dirección del Flujo del Agua Subterránea

En México existen acuíferos ubicados en diversos ambientes geológicos como medios granulares, en rocas fracturadas, metamórficas, terrenos cársticos, así como en zonas montañosas y zonas costeras. Asimismo, su extensión, nivel de explotación, y uso del agua, varía significativamente en cada caso. Por ello, para cada acuífero se requiere generar un modelo hidrogeológico conceptual que sirva de base para la definición de la red de monitoreo considerando, principalmente:

- las zonas de recarga y descarga del acuífero,
- la dirección y sistema de flujo predominante;
- el tipo de acuífero;
- su condición de explotación;
- la profundidad del nivel estático;
- la profundidad y las características de las zonas saturadas y acuitardos³³ y,
- los fenómenos locales o regionales que pueden modificar los niveles como: cuerpos de agua superficial, fallas geológicas, y variación topografía, entre otros.

III.5.3.2. LOCALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN.

En cada pozo de monitoreo se ubica su posición geográfica con apoyo de un receptor GPS de doble frecuencia; también se evalúa su acceso, condición física, corte litológico, características constructivas y elevación del terreno. Posteriormente, se seleccionan aquellos sitios que cumplen con el mayor número de condiciones favorables para constituir un punto de medición permanente que garantice la medición de niveles en los próximos 15 años.

Para la selección final del sitio se recomienda aplicar una malla triangular con vértices distantes de 3 a 6 km entre sí. Este espaciamiento es solamente de referencia y busca distribuir espacialmente el mayor número de puntos ya que el diseño final de la red dependerá de la complejidad hidrogeológica de cada sitio y de los objetivos que se persiguen con éste. En sitios con una alta heterogeneidad se diseñan redes de mayor densidad y cobertura, comparada con aquellos que presentan una condición homogénea.



Figura III-24. Localización de un pozo de observación, noria y preparación de zonda piezométrica para medición de niveles

Asimismo, existen redes orientadas principalmente a evaluar la recarga originada por las lluvias ciclónicas (Isla de Cozumel, Quintana Roo, y Saltillo, Coahuila) y otras orientadas al seguimiento de la

33

Los acuitardos (del latín *tardare* = *retardar*) son formaciones geológicas semipermeables que, conteniendo agua en gran cantidad, la transmiten muy lentamente, por lo que en estas formaciones tampoco resulta adecuado emplazar captaciones; no obstante, en determinados casos, la presencia de un acuitardo puede proporcionar a un acuífero que esté en contacto con él, una recarga vertical que puede llegar a ser importante. Las arcillas limosas y arenosas son formaciones que pueden comportarse como acuitardos. Fuente: *Manual para la interpretación de los ensayos de bombeo y programas de cálculo*: Instituto Politécnico "José A. Echeverría". UNESCO. Uruguay. Edición 2002.

intrusión salina (Costa de Hermosillo, Sonora; Mérida, Yucatán) o abatimientos provocados por la extracción intensiva en grandes ciudades (Valle de México y Guanajuato).

En la determinación del espaciamiento entre puntos también se considera la presencia de conos de abatimiento o zonas de gran heterogeneidad y anisotropía, por lo que la distancia final entre los vértices se modifica hasta que éstos reproduzcan la superficie piezométrica con relativa precisión. La ubicación final de los puntos y datos de campo se almacenan en un Sistema de Información Geográfica lo que permite su fácil consulta y procesamiento. La elaboración de mapas se presenta por acuífero, por estado, y actualmente se elaboran para cada una de las 13 cuencas hidrologico-administrativas del país (Ver Figura III-25).

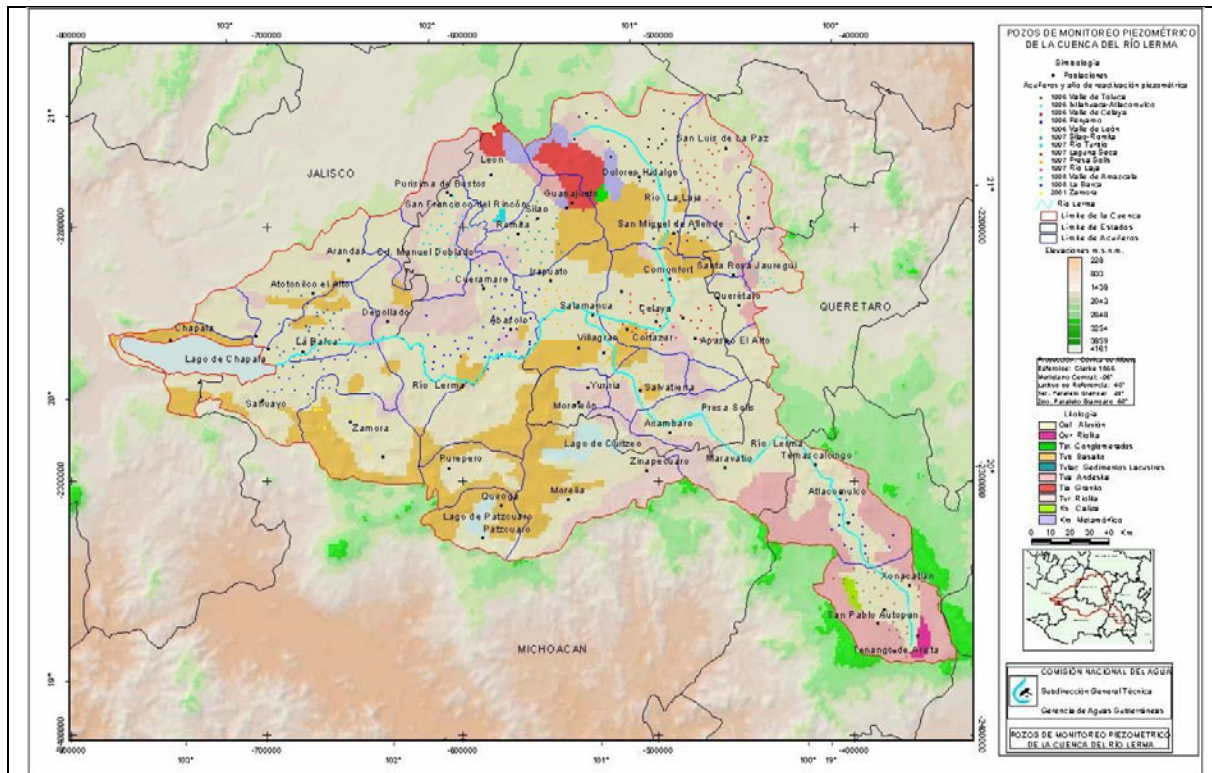


Figura III-25. Mapa de la Red de Monitoreo en la Cuenca Lerma-Chapala. Cubre 37 acuíferos distribuidos en los estados de Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Estado de México. Fuente: Lara, Fernando. La red de monitoreo piezométrico en México: Condición actual y perspectivas. Congreso XXXIII Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Zacatecas, Zac. 2004.

III.5.3.2.1. FRECUENCIA DE MEDICIÓN.

Tradicionalmente la frecuencia de los recorridos piezométricos se realizaba en dos periodos, lluvia y estiaje, considerando los efectos de la precipitación en la recarga de acuíferos someros. A la fecha, la frecuencia de medición en cada acuífero se determina con base en el tipo de acuífero (libre o confinado), condición de explotación (intensa o inicial), y velocidad de recarga. En la mayoría de los casos el periodo de medición es de dos años, aunque en otros se realiza semestralmente o en forma continua a través de sondas automáticas.

Para la instalación de dispositivos automáticos en acuíferos éstos deben cumplir con alguna de las siguientes condiciones:

- a) que se ubiquen en grandes áreas de extensión, con pozos de monitoreo distantes entre sí >10 km, en zonas montañosas, o de difícil acceso;
- b) que manifiesten una rápida respuesta a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos (lluvias ciclónicas y sequías);
- c) que se localicen en zonas urbanas con altos ritmos de abatimiento >3.0m/año, o en distritos de riego con uso intensivo de agua subterránea, o en zonas de importancia ecológica;
- d) en comunicación hidráulica con los principales ríos, arroyos, lagos, lagunas o manantiales del país; y en
- e) zonas fronterizas (México-USA)

Hasta el 2004, se habían instrumentado las redes de los acuíferos de Saltillo, Coahuila, Isla de Cozumel, Quintana Roo, Mérida, Yucatán, Guadalajara, Jalisco, Querétaro y cinco acuíferos de Guanajuato. A finales de ese mismo año se instalaron un total de 100 sondas automáticas en diversos acuíferos del país.

Es de resaltar la importancia que reviste el conocer de manera precisa los niveles freáticos con fines de preservación del recurso; más aún en zonas costeras, en donde el nivel de los brocales de los pozos se encuentra en muchas ocasiones coincidiendo con el nivel medio del mar. La precisión de las altitudes deberá ser del orden centimétrico y, si bien, la Comisión Nacional del Agua no cuenta con los equipos suficientes para llevar a cabo dichos trabajos en su totalidad, por lo menos realiza las actividades de supervisión a las empresas que llevan a cabo los servicios de levantamientos topográficos que se implementan con base a términos de referencia fijados por las áreas técnicas, para con ello, aceptar los datos obtenidos en campo con la precisión mínima requerida.

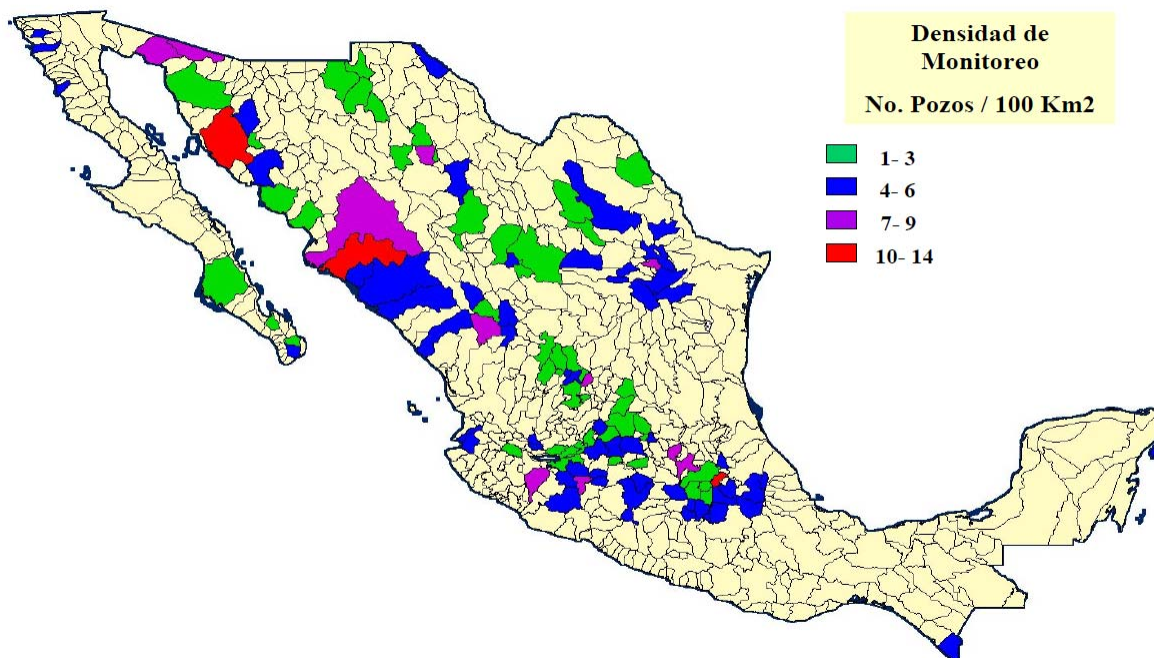


Figura III-24. Distribución de redes piezométricas y densidad de monitoreo

El monitoreo de pozos piezométricos ha permitido actualizar y analizar un gran volumen de información histórica básica para calcular la recarga y la disponibilidad media anual de los acuíferos, evaluar los

impactos del bombeo, aplicar los modelos numéricos de flujo, y programas de uso sustentable y protección de los acuíferos.

III.6. NECESIDAD DE UNA RED GEODÉSICA DE ALTA DISPONIBILIDAD DE DATOS.

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad los métodos geodésicos se han desarrollado de una forma extraordinaria, en su mayor parte debido al gran avance en materia informática y de comunicaciones. Con el nacimiento de la geodesia espacial, basada en el uso de satélites artificiales, en tan solo unos cuantos años, se ha pasado de usar procedimientos astronómicos y geodésicos para determinar con precisión la localización de un punto sobre la superficie terrestre, a utilizar una constelación de satélites artificiales que sirven como puntos de referencia fijos en el espacio.

La geodesia espacial se ha desarrollado de una forma extraordinariamente rápida gracias a que aporta tres ventajas fundamentales.

- En primer lugar se obvia la necesidad de inter-visibilidad entre dos puntos, en la que se basan todas las mediciones topográficas clásicas, pudiendo realizarse mediciones precisas en zonas no visibles entre sí, con independencia de las condiciones atmosféricas e incluso de noche.
- En segundo lugar permite un posicionamiento en tiempo real, sin esperar a posteriores cálculos topográficos.
- Y en tercer lugar favorece un uso público masivo, sin necesidad de conocimientos técnicos en topografía y/o geodesia.

Son estas ventajas operativas las que han abierto un nuevo rango de usos, ligados especialmente a la navegación y que exceden a las estrictas necesidades de la producción cartográfica.

Como se ha hecho mención en anteriores apartados del documento, dentro de los proyectos de Sistemas de Geodesia Espacial, destacan la Constelación NAVSTAR y la futura constelación Europea Galileo. En ambas constelaciones su principal cometido es poder posicionar un objeto en la superficie de la Tierra a través de las señales emitidas en forma de ondas de radio por los satélites de dichas constelaciones, que un receptor procesa en la superficie, determinando así su posición con una precisión en función del tipo de información recibida, tiempo de recepción y condiciones de la emisión.

Desde 1970 la extensión de los sistemas globales de navegación por satélite ha sido imparable. El inicio del uso civil en los años 80, la introducción de la medida de la fase de la onda portadora y la eliminación de la '*disponibilidad selectiva*' a partir del 2000, han sido hitos decisivos en este proceso. Los próximos pasos consistirán en la implantación en 2004 del proyecto EGNOS³⁴ para la transmisión de correcciones diferenciales mediante satélites y programada a partir de 2008 la puesta en servicio de la constelación europea Galileo, a la fecha se ha postergado y se espera que sea operativo para 2012.

34 El sistema EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) es un Sistema de Aumentación Basado en Satélites desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA), la Comisión Europea (institución de la Unión Europea) y Eurocontrol. Está ideado como un complemento para las redes GPS y GLONASS para proporcionar una mayor precisión y seguridad en las señales, permitiendo una precisión menor a dos metros. Consiste en una red de tres satélites geoestacionarios y en una red de estaciones terrestres encargadas de monitorizar los errores en las señales de GPS y actualizar los mensajes de corrección enviados por EGNOS. El sistema empezó a emitir de forma operacional (*initial operation phase*) en julio de 2005 mostrando unas prestaciones excelentes en términos de precisión y disponibilidad. El inicio oficial de operaciones fue anunciado por la Comisión Europea para el 1 de octubre de 2009. El sistema debería ser operativo para su uso en aplicaciones de seguridad (*safety of life*) en el 2010 por la Agencia de supervisión GNSS (*GNSS Supervisory Agency*). El sistema EGNOS es completamente compatible con el sistema de Estados Unidos llamado WAAS, operativo desde el año 2003. También existe otro igual en Japón llamado MSAS, que comenzó a operar en 2007; y la Agencia India del Espacio (ISRO) inició el desarrollo de su sistema GAGAN en 2005 y en 2007 se estimaba que estuviera operativo al 100% en 2007.

III.6.1. FUNDAMENTO Y UTILIDAD DE UNA ESTACIÓN DE REFERENCIA PERMANENTE.

Dentro de la Comisión Nacional del Agua existen muy pocas personas que hayan cursado la carrera de Ingeniero Topógrafo Geodesta. Incluso, dentro de la estructura orgánica del Sistema de Información Geográfico del Agua (SIGA) hasta junio de 2010, éramos sólo dos personas incluyendo al que escribe este documento los que integrábamos a nivel nacional el SIGA con esta formación académica.

Se hace referencia a lo anterior porque fue estrictamente una visión cristalizada del autor de este documento el planear, diseñar, programar y llevar a cabo la instalación y puesta en marcha de esta Red de Estaciones de Referencia GPS. Conforme iba creciendo el proyecto de Georreferenciación de infraestructura hidráulica en los Organismos de Cuenca se fue fraguando la idea de contar con marcas permanentes y dinámicas de este tipo para mejorar las precisiones de las coordenadas obtenidas con los receptores GPS diferenciales.

El Ingeniero Topógrafo Geodesta debe ser conciliador, pero sobretodo, negociador ante las instancias correspondientes (administrativas, áreas técnico-operativas, área de informática y telecomunicaciones entre otras) para llevar a buen puerto la operación de esta Red de Estaciones GPS: desde la instalación misma, conseguir los permisos necesarios para el espacio que ocupan los equipos, hasta la disponibilidad de los puertos y direcciones de red para la transmisión de datos de posición vía Red Nacional de Datos de la Comisión Nacional del Agua.

La formación de Ingeniero Topógrafo Geodesta fue determinante para proponer las primeras ideas en las que basamos los programas de georreferenciación regionales y en consecuencia para exponer la justificación técnica de la adquisición de los equipos GPS que se tienen instalados al momento.

Siempre hay que mirar hacia adelante, revisar casos de éxito para replicar esos logros en la organización o institución a la que pertenecemos para buscar el bien común con esquemas de *ganar-ganar* (hablando de beneficio) tanto para el área a la que pertenecemos como para aquellas áreas con las que se trabaja cotidianamente; poniendo a disposición las herramientas necesarias para realizar los trabajos en campo con los equipos GPS diferenciales.

Pero también se debe mencionar que aunque se tiene la capacidad de negociar ante las distintas áreas gestoras, este tipo de esfuerzos involucra necesariamente a todas las partes del conjunto organizativo. Fue necesario mover voluntades para apreciar en este instante la cristalización de este proyecto: las artes de negociar, convencer y realizarlo fueron importantes, pero también lo son las acciones que impulsaron las partes involucradas (áreas de presupuesto, programación, informática, administración y técnica entre otros).

Aunado a lo anterior, como Ingeniero Topógrafo Geodesta se tomó planteó un tema importante en los sistemas GPS al interior de la organización: la precisión. Un solo receptor de GPS puede dar una posición con una precisión de aproximadamente 5-10 metros. Mientras esto es suficiente en muchas ocasiones, numerosas aplicaciones requieren un posicionamiento con mayor exactitud. De hecho, el receptor GPS puede dar posiciones con precisión de 1 metro, 0.5 metros o incluso 1-2 centímetros.

Dependiendo de las exigencias en cuanto a la precisión requerida, distinguiremos entre dos tipos de correcciones diferenciales:

- Correcciones de código las cuales permitirán elevar esta precisión hasta 1 ó 0.5 m.
- Correcciones de medidas de fase. La información de los dos receptores GPS se combina para determinar la posición del móvil. Ahí es donde entra la Estación de Referencia GPS. Funciona

como punto de control, y potencialmente sirve a usuarios ilimitados y aplicaciones, dado que combina todas las variables observables.

La funcionalidad de este procedimiento de corrección diferencial depende en gran medida de la distancia entre el receptor móvil y la estación base. Los datos recibidos por ambos equipos GPS resultan en exceso diferentes para distancias mayores de 15 km, lo que hace desaconsejable su uso. Por esto, es preciso contar con una red de estaciones de referencia GPS permanentes, de manera adecuada en su distribución por el territorio, para acceder a parámetros de corrección realmente válidos para el emplazamiento del receptor.



Figura III-25. Estación de Referencia GPS instalada en la Comisión Nacional del Agua. Distrito Federal, México.

III.6.2. REDES DE ESTACIONES DE REFERENCIA.

Cada Red de Estaciones de Referencia GPS establecida tiene un propósito y un fin. Para ello, se debe someter a un análisis de costo-beneficio y una visión a futuro en cuanto a su evolución.

Si revisamos el impacto que han causado las Redes de Estaciones de Referencia a lo largo y ancho del mundo, podremos apreciar que es más común en países desarrollados encontrar instrumentos GPS proporcionando datos de posición en tiempo real a los ciudadanos que los habitan. Los esfuerzos van desde los municipios o alcaldías hasta los grandes consorcios que han invertido junto con el gobierno local para dotar de servicios de georreferenciación a la gran variedad de usuarios que así lo requieren.

En muchos casos, ni siquiera se les cobra por tener acceso a los datos generados por las diversas Estaciones que componen la(s) Red(es) de Estaciones de Referencia y llama particularmente la atención

el grado de densidad que llegan a alcanzar; logrando con ello el cubrimiento total del territorio y la multiplicidad de aplicaciones que se pueden llevar a cabo con dichos arreglos geométricos (ver Figura III-26).

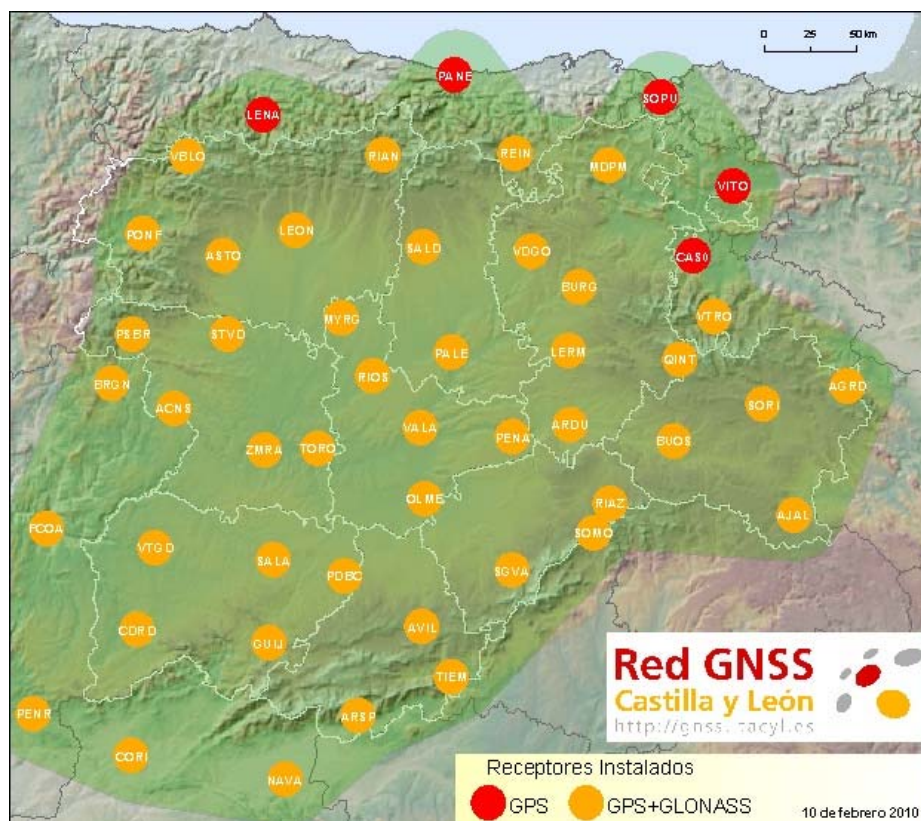


Figura III-26. Ejemplo de Red de Estaciones de Referencia GNSS para aplicaciones de postproceso y transmisión de correcciones en tiempo real (RTK). Fuente: Junta de León y Castilla, España.

En México los esfuerzos son significativos, sin embargo aún no se alcanza a distinguir la priorización en las acciones tendientes al desarrollo de la nación; ya que, como hemos mencionado, además de la Red Geodésica Nacional Activa del INEGI, que cubre el territorio nacional, han surgido sólo proyectos aislados para cubrir las necesidades propias de cada organismo.

Tal es el caso del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, que desde hace tiempo cuenta con una Red de Estaciones de Referencia GPS para llevar a cabo el monitoreo de la tectónica de placas, en particular la costa de Guerrero y Oaxaca con la finalidad única de detectar desplazamientos significativos por sismicidad regional (ver Figura III-27).

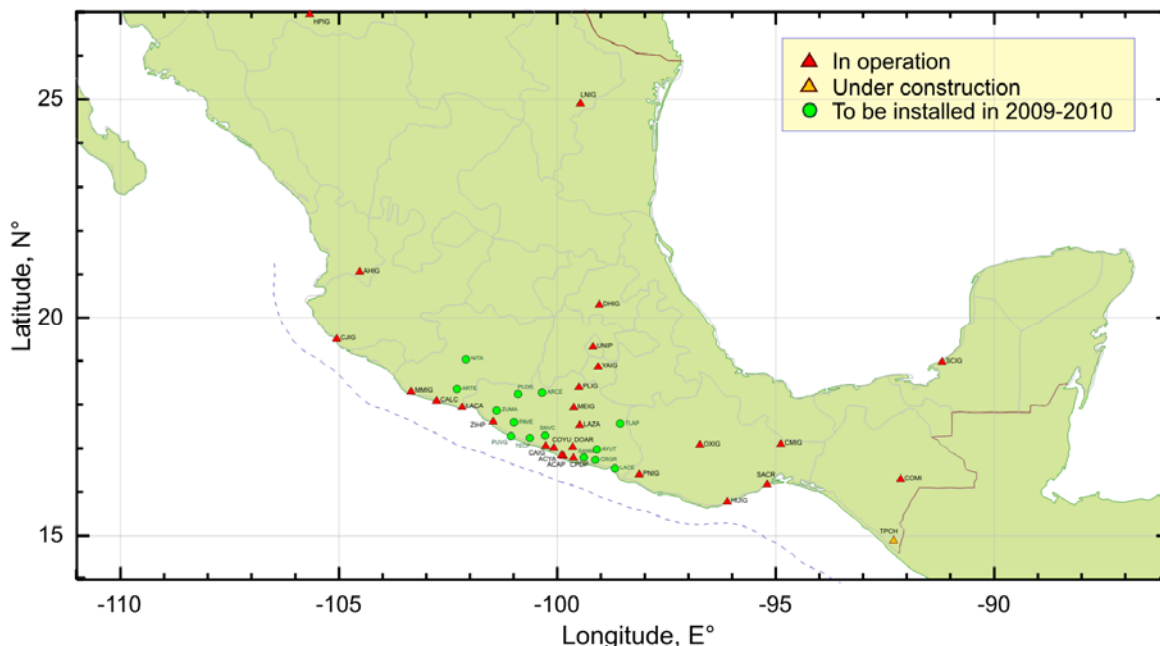


Figura III-27. Ejemplo de Red de Estaciones de Referencia GPS para aplicaciones sísmológicas y de tectónica de placas. Fuente: Instituto de Geofísica, UNAM

En oficinas de catastro municipal también se han gestado proyectos de establecimiento de Redes de Estaciones de Referencia GPS. Tal es el caso del proyecto catastral del Estado de Querétaro, que cuenta con una Red Geodésica Estatal, con Estaciones para transmisión de datos en tiempo real (RTK), sin embargo, el acceso es para usuarios internos y sus datos están cifrados y protegidos hacia los usuarios autorizados. De hecho, no se conoce a ciencia cierta el número de Estaciones que componen la Red Estatal porque el acceso vía web no está disponible al momento de editar este documento.

Como este caso anterior podemos mencionar a los Estados de Tamaulipas y Sonora, que cuentan con su propia Red de Estaciones de Referencia GPS, pero que no permiten el acceso a usuarios externos a las instituciones que les dieron origen.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuenta también con una Estación de Referencia GPS. Al momento de editar este trabajo, por comunicación personal con el Jefe de Geodesia y Cartografía de esta Facultad, la Estación de Referencia se encuentra en proceso de reubicación, ya que se trasladará a una nueva instalación.

Por otra parte, usar una red de estaciones de referencia permanentes sobre una región entera elimina la necesidad de establecer redes de trabajo locales y situar receptores de referencia temporales en campo. Usar un software para el análisis de la red y el modelo de errores en tiempo real proporciona altas precisiones y un funcionamiento mejorado del RTK³⁵, incluso a grandes distancias entre las estaciones de referencia de la red.

³⁵ RTK, por sus siglas en inglés, *Real Time Kinematic*, posicionamiento cinemático en tiempo real, e incorpora la tecnología de navegación por satélite a un módem de radio o a un teléfono GSM para obtener correcciones instantáneas en tiempo real. Algunas aplicaciones de ingeniería exigen que el procesamiento y la obtención de las coordenadas se obtengan instantáneamente, sin la necesidad de un postprocesamiento de los datos.

Para poder trabajar en esas distancias con precisiones centimétricas es necesario contar con correcciones diferenciales de red en tiempo real, proporcionadas por mensaje de correcciones diferenciales de red, y generadas por un conjunto de estaciones de referencia permanentes GPS que llegan a los equipos móviles por diferentes medios.

Una ventaja adicional de contar con una Red de Estaciones de Referencia GPS, es que ofrece un marco de referencia homogéneo para una gran extensión de terreno. Si bien para usos locales es suficiente disponer de una estación base, cuando se requieren trabajos cartográficos en un área extensa es necesario contar con un posicionamiento estable, coherente y promediado para todo el ámbito, lo que se ha venido a llamar "Geodesia Activa".

El acceso a estos parámetros de correcciones diferenciales puede hacerse a través de varios medios de comunicación. Internet es un buen medio para acceder a grandes volúmenes de datos GPS, y que se está imponiendo de manera considerable, para obtener correcciones en tiempo real, aunque también puede utilizarse modem vía radio con un emisor en la propia estación.

Un tercer medio es una conexión telefónica GSM (telefonía celular), que debido al precio de estas y la bajada del coste por el tráfico de datos en los sistemas GPRS y UMTS (también vía celular), están también sustituyendo a las llamadas mediante GSM. Para cualquiera de estos medios la estación de referencia GPS puede transmitir las correcciones a los receptores móviles y estos recalculan su posición, mejorando su exactitud hasta un orden de magnitud de centímetros.

Una Red de Estaciones de Referencia GPS en la actualidad, está gestionada por un software desarrollado para el control de las estaciones únicas y así crear una red de estaciones de referencia, la cual debe ser modular y ampliable con nuevas soluciones para obtener una gran precisión en distancias largas mediante correcciones en tiempo real (RTK, por sus siglas en inglés) de red, distribución centralizada de los datos y gestión del acceso a los mismos.

Los datos proporcionados y servicios sirven para todo tipo de aplicaciones, entre otras:

- Control Geodésico.
- Topografía.
- Ingeniería.
- Construcción.
- Control de deformaciones.
- SIG y Cartografía.
- Minería.
- Posicionamiento.
- Guiado de Maquinaria.
- Navegación.
- Batimetrías.
- Fotogrametría.

Para poder obtener las máximas precisiones y el rendimiento más elevado de estas Redes de Estaciones de Referencia, se tienen que utilizar las correcciones diferenciales.

Actualmente, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) cuenta con una Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), con cubrimiento nacional. Esta Red la conforman un total de 15 Estaciones Fijas propias del Instituto más 5 incorporadas por convenio por parte de otras instituciones, como es el caso del Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco (IITJ) y una más que no se pudo comprobar el propietario, pero que el INEGI coloca los datos en su página Web.

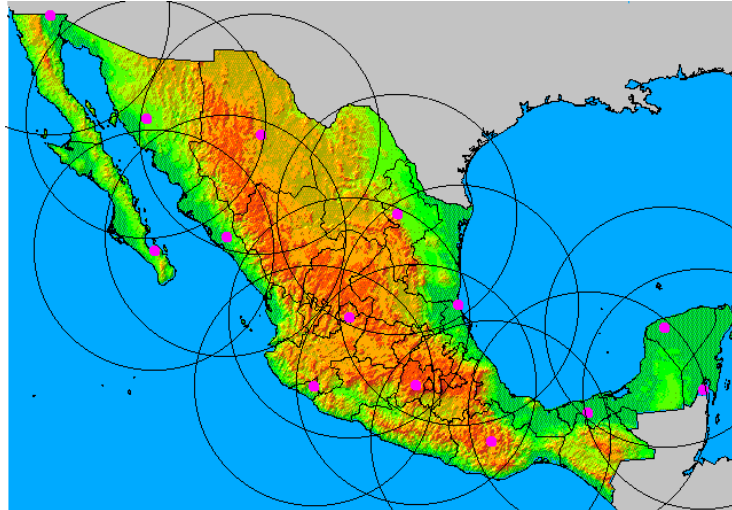


Figura III-28. Mapa de las Estaciones de Referencia de la Red Geodésica Nacional Activa del INEGI (RGNA). Fuente: INEGI (www.inegi.org.mx)

III.6.3. LA RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA.

III.6.3.1. DEFINICIÓN.

Es la red nacional de estaciones fijas de operación continua, distribuida estratégicamente a lo largo del territorio nacional e integrada por 15 puntos establecidos físicamente mediante monumentos permanentes sobre los cuales se han hecho mediciones de precisión de acuerdo a estándares internacionales para definir sus coordenadas. Constituye la estructura básica de referenciación geodésica para el país.

ESTACIÓN	UBICACIÓN
INEG	AGUASCALIENTES, AGS.
CAM2	CAMPECHE, CAMP.
CHET	CHETUMAL, Q. ROO
CH13	CHIHUAHUA, CHIH.
COL2	COLIMA, COL.
CULI	CULIACÁN, SIN.
HER2	HERMOSILLO, SON.

Tabla III-2. Cuadro con nomenclatura y ubicación de algunas Estaciones Fijas de la RGNA del INEGI (Datos al 2003). Fuente: INEGI.

III.6.3.2. ANTECEDENTES.

En febrero de 1993, el **INEGI** puso en marcha el proyecto de la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA). Para esto, en enero de ese mismo año, se llevó a cabo el posicionamiento de 65 estaciones GPS distribuidas en todo el territorio nacional, en el que se incluyeron las 15 estaciones fijas de la Red y 7 puntos de coordenadas ya conocidas en el Sistema de Referencia ITRF92, ubicados en lugares cercanos a las siguientes localidades: Aguascalientes, Ags., Cadereyta, N.L., Jiménez, Chihuahua; Jocotitlán, Estado de México; Mérida, Yucatán; Río Verde, San Luis Potosí y San Miguel Xico, Distrito Fderal.

Estos puntos fueron determinados con anterioridad en el curso de 1992 dentro del proyecto cooperativo de observación con el *National Geodetic Survey* de los E.U.A., para efectuar ligas muy precisas entre ambos países. La concepción de esta nueva Red, su ejecución y su puesta en operación respondió a la

necesidad de contar con un marco de referencia para los programas de relevancia puestos en marcha dentro del **INEGI**.

En consecuencia, se estableció la red nacional de estaciones fijas de operación continua cuya base operativa es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El criterio seguido para el establecimiento de las 15 estaciones fijas fue una distribución geométrica apropiada para asegurar el cubrimiento nacional, de modo que cualquier punto ubicado dentro del área continental mexicana contara con la información de cuando menos 2 estaciones de la Red. Para tales efectos, se determinó un radio de cubrimiento de 500 km por estación.

En las Normas se mencionan 14 estaciones, no se modificó el dato a fin de conservar el texto tal y como están publicadas en el Diario Oficial.

NÚMERO	ESTACIÓN	INICIO DE OPERACIONES	TÉRMINO DE OPERACIONES
1	COLI	93/04/14	96/01/27
2	COL2	96/01/23	-
3	CULI	93/12/19	-
4	CHET	93/04/14	-
5	CHIH	93/02/22	94/03/26
6	CHIZ	94/03/23	96/07/31
7	CHI3	96/07/31	-
8	FMTY	93/02/19	96/09/17
9	MTY2	96/09/17	-
10	HERM	93/02/19	96/04/19
11	HER2	96/04/19	-
12	INEG	93/02/25	-
13	LPAZ	93/05/05	-
14	MERI	93/02/19	-
15	MEXI	93/02/19	-
16	OAXA	93/02/26	03/01/17
17	OAX2	03/01/17	-
18	TAMP	93/04/27	-
19	TOLU	93/02/19	-
20	TOL2	01/07/15	-
21	VILL	93/02/19	00/03/25
22	VIL2	00/03/25	-
23	CAMP	94/06/11	-

Tabla III-3. Fechas de instalación de las Estaciones de Rastreo Continuo del INEGI. Fuente: INEGI

Por cuestiones logísticas y políticas, algunas estaciones han tenido que ser cambiadas de sitio en la misma ciudad. Cuando se cambia de sitio una estación de rastreo permanente también se cambia la nomenclatura del último dígito para así distinguir que a partir de una determinada fecha la ubicación es otra y por consecuencia sus coordenadas de origen también son distintas.

Así por ejemplo el lugar físico de COLI fue afectado por un sismo y al nuevo sitio se le clasificó como COL2 (Colima dos).

Los usuarios que por interés científico requieran datos del pasado se deben dirigir al centro de control Aguascalientes para obtener los datos correspondientes.

III.6.3.3. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DE LAS ESTACIONES FIJAS.

- Cada una de las 15 estaciones está equipada con un receptor GPS de doble banda.
- Los receptores captan información durante las 24 horas del día.
- Las estaciones fijas trabajan con un **intervalo de registro de datos de 15 segundos**, por lo que **se recomienda a los usuarios trabajar con este mismo valor o con múltiplos de él.**
- El ángulo de elevación sobre el horizonte, arriba del cual se capta información, es de 10°, anterior a marzo de 2001 se establecía de 15°.
- La información que se capta contiene las dos frecuencias disponibles en el sistema, así como el código CA.
- La información se capta en el formato propio del receptor y puede ser transformado al formato RINEX.

III.6.3.4. EQUIPO DE LAS ESTACIONES FIJAS.

- Receptor GPS de doble frecuencia.
- Antena geodésica L1/L2.
- Corriente alterna regulada y baterías.
- Unidad de no paro.
- PC Pentium IV.
- Software de descarga automática de la información.
- Unidad escritora de discos compactos.
- Impresora.
- Línea telefónica.

III.6.3.5. VENTAJAS.

- Los levantamientos se realizan con menor número de personas por brigada.
- No se requiere establecer visibilidad entre estaciones levantadas simultáneamente.
- El tiempo para establecer una estación en campo se reduce de días a horas.
- Reducción del tiempo de proceso de la información en gabinete.
- Obtención de resultados con alta precisión empleando técnicas diferenciales.

Todo lo anterior redundará en la reducción de tiempos y costos, en beneficio del incremento de la producción.

III.6.3.6. TIPO DE INFORMACIÓN QUE PROPORCIONAN LAS ESTACIONES FIJAS.

Las estaciones de la RGNA sirven como puntos de referencia en los que se determinan las diferencias entre las posiciones precisas y las derivadas directamente de los datos transmitidos por los satélites del sistema *GPS-NAVSTAR* en un momento dado.

Estas, tienen una función activa, ya que además de proporcionar sus coordenadas, también se utilizan los datos derivados en ellas de las observaciones satelitales. Cada una es una estación "ocupada" de operación continua, que tiene la ventaja de estar al servicio de cualquier usuario, que al momento de planificar y ejecutar cualquier levantamiento con equipo GPS, sabe que cuenta con por lo menos los datos de dos estaciones precisas a su disposición.

La función de las estaciones fijas consiste en rastrear continuamente la constelación de satélites, cuyos datos están a disposición de los usuarios para obtener su posición diferenciada a la RGNA. La

información que se proporciona a los usuarios son archivos que contienen información de los satélites, para lo cual, cada estación cuenta con un sistema de captura, descarga, respaldo y procesamiento de la información.

No.	Nombre de la Estación	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altura Geodésica (m)	Altura vertical de la Antena (m)	Receptor	Antena según fabricante	Antena según National Geodetic Survey	PROPIETARIO
1	CHET	18°29'42.99542	88°17'57.20162	3.013	0.143	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
2	CHI3	28°39'43.89732	106°05'12.25225	1413.185	0.234	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
3	COL2	19°14'39.99621	103°42'6.77420	528.837	0.160	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
4	CULC	24°47'42.31241	107°24'45.33652	36.173	0.146	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
5	HER2	29°05'33.17336	110°58'01.96439	186.959	0.230	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
6	ICAM	19°51'12.44616	90°31'38.89310	2.635	0.136	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
7	ICEP	19°01'58.88570	98°11'15.34405	2150.341	0.214	ZXII	L1/L2 Geodetic	ASH 700228 D	INSTITUTO DE CATASTRO DEL ESTADO DE PUEBLA
8	IMIP	31°44'41.76201	106°26'45.11357	1113.491	0.299	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ciudad Juárez
9	IDGO	24°04'02.83363	104°36'25.47325	1863.104	0.199	ZXII	L1/L2 Geodetic	ASH 700228 D	No se pudo comprobar
10	IITJ	20°41'04.22247	103°26'45.73354	1657.055	0.102	4400	Permanent L1/L2	TRM 23903.00	INSTITUTO DE INFORMACIÓN TERRITORIAL DEL ESTADO DE JALISCO
11	INEG	21°51'22.15474	102°17'03.12524	1888.090	0.180	5700	Choke Ring	TRM 29659.00	INEGI
12	LPAZ	24°08'19.66031	110°19'09.61863	-6.774	0.135	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
13	MERI	20°58'48.16279	89°37'13.13418	7.912	0.135	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
14	MEX1	32°37'58.76110	115°28'32.51482	-22.474	0.137	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
15	MTY2	25°42'55.82609	100°18'46.45205	521.781	0.139	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
16	OAX2	17°04'42.02155	96°43'00.25760	1607.298	0.185	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
17	TAMP	22°16'41.95723	97°51'50.48937	21.107	0.148	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
18	TOL2	19°17'35.64431	99°38'36.49337	2651.725	0.148	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI
19	UGTO	21°00'09.75632	101°16'17.98423	2062.325	0.121	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	U. DE GUANAJUATO
20	USLP	22°08'39.24062	101°00'56.40017	1892.880	0.195	ZXII	L1/L2 Geodetic	ASH 700228 D	U. DE SAN LUIS POTOSÍ
21	VIL2	17°59'25.47706	92°55'51.94738	27.720	0.124	5700	Zephyr Geodetic	TRM 41249.00	INEGI

Tabla III-4. Coordenadas Geodésicas de las Estaciones de la RGNA. (ITRF-92, ÉPOCA 1988.0). Actualización: 1 de enero de 2010. Fuente: INEGI (<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/normatividad/infgeodesia/rgna/coordenadas.cfm>)

Notas del INEGI:

- Las coordenadas de las estaciones están referidas a la placa.
- La altura vertical de la antena está referida de la placa al centro de fase nominal de la antena.
- El cambio de altura vertical de la antena debido a la instalación de los equipos nuevos se realizó entre el 17 y el 20 de Enero del 2003 menos para INEG y MTY2.
- En la estación MTY2 el equipo 5700 inició su funcionamiento en Septiembre del 2003.
- En HER2 el 13 de Septiembre de 2004 se instaló otro equipo 5700 a partir de las 21:34:30 hrs. GMT (14:34:30 hora local), razón por la cual se modificó un milímetro la altura de la antena.
- En TAMP se verificó la altura de la antena y se modifica a partir del 12 de agosto de 2005 al nuevo valor que aparece en la tabla de coordenadas.
- La estación UGTO inició su funcionamiento el 25 de julio de 2007.

- La estación CULI dejó de funcionar el 13 de julio de 2007 a las 12:00:00 hrs. GMT (07:00:00 hora local), fue reubicada como CULC, la cual inició su funcionamiento el día 4 de octubre de 2007 en Culiacán, Sinaloa.
- La estación INEG cambió a un receptor 5700 el 13 de marzo de 2008 a las 17:00:00 GMT (11:00:00 hora local)
- La estación USLP en San Luis Potosí, S.L.P. inició su funcionamiento el día 22 de junio de 2008.
- La estación CAM2 dejó de funcionar el 15 de diciembre del 2008 a las 19:00:00 hrs GMT (13:00:00 hora local). Fue reubicada como ICAM, e inició operaciones el día 1 de enero de 2009 en Campeche, Camp. La altura de la antena desde la placa a la base de la antena es de 0.083 m, valor que es correcto desde la fecha de inicio; y aparece desde el 20 de marzo en los archivos Rinex.
- La estación IDGO en Durango, Dgo., inició funcionamiento el día 28 de enero de 2009.
- La estación ICEP en Puebla, Pue., inició su funcionamiento el 21 de mayo de 2009.
- Para LPAZ y MEXI se realizó un nuevo cálculo de las coordenadas en ITRF92, época 1988.0, empleando velocidades de cada estación obtenidas recientemente por el Instituto Geodésico Alemán (DGFI), y software científico, considerando que las coordenadas publicadas anteriormente muy probablemente se obtuvieron a partir de estaciones fiduciales situadas en la placa tectónica Norteamericana, mientras que LPAZ y MEXI se sitúan en la placa del Pacífico, y cada una presenta diferente movimiento.
- Se recomienda emplear las coordenadas publicadas para LPAZ y MEXI a partir del 16 de junio de 2009 para nuevos levantamientos en el marco oficial ITRF92, época 1988.0 (ver apartado Cálculo de coordenadas ligadas a la RGNA del Calendario GPS y Coordenadas).
- A consecuencia del sismo de 7.2 grados Richter que tuvo lugar el día 4 de abril de 2010 en la ciudad de Mexicali, se identificó un desplazamiento del vértice de la estación MEXI en aproximadamente 0.18 m, por lo cual se recomienda al usuario tomar en consideración esta situación conforme a la exactitud que requieran sus aplicaciones.
- Por lo anterior, se sugiere emplear los datos y las coordenadas ITRF92 época 1988.0 de la estación MEXI sólo en aplicaciones que admitan exactitudes métricas o submétricas, bajo el procedimiento de procesamiento habitual que no considera velocidades.
- La estación cooperativa denominada IMIP, perteneciente al Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ciudad Juárez, Chih., inició su funcionamiento el 18 de agosto de 2009. Los datos de la estación se encuentran en el servidor de la RGNA y en la página del IMIP, en la siguiente liga: <http://www.imip.org.mx/>

III.6.4. LA NECESIDAD DE CONTAR CON UNA RED GEODÉSICA ACORDE A LAS NECESIDADES DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA.

Cada uno de los levantamientos que se realizan con los receptores para aplicaciones cartográficas, requieren por lo menos el nivel de precisión submétrico. En estos levantamientos, se lleva a cabo el método diferencial para lograr en postproceso ese nivel requerido de precisión en gabinete.

Por lo tanto, si consideramos que en el INEGI el registro de los datos se lleva a cabo de manera local en cada Estación de la RGNA, cuyo intervalo es a cada 15 segundos en todas las estaciones; podemos decir que sólo tendremos 4 datos útiles en 60 segundos efectivos; lo que nos lleva a concluir que si nuestras brigadas en campo obtienen las coordenadas de un punto durante 60 segundos de captura de información (configurados a registrar a cada segundo), al llegar a gabinete sólo se procesarán 4 de esos 60 posibles datos.

Por otra parte y, aunque el propio INEGI desde el 2004 proporciona los datos RINEX de forma gratuita, nos hemos encontrado con dificultades para acceder a datos de ciertas estaciones de referencia, tal es el caso de la Península de Yucatán, la Estación Campeche, que prácticamente durante el 2008 dejó de dar servicio y requeríamos los RINEX de la zona para efectuar un operativo de Agua Limpia en esa región.

En esta y demás Estaciones hemos encontrado la falta de disponibilidad de datos, que en muchas ocasiones las áreas técnicas, que realizan las labores en campo, requieren los datos al momento, casi en tiempo real, para el levantamiento de actas jurídicas para solventar dichos actos con datos georreferenciados obtenidos con receptores GPS diferenciales.

Actualmente, la Comisión Nacional del Agua, desde el 2004 (fecha de adquisición de los primeros cuatro equipos), ha puesto en marcha su propia Red de Estaciones de Referencia GPS, con un total de 7, proporcionando el servicio las 24 horas del día, los 365 días del año, todas ellas conectadas a la Red Nacional de Datos del Organismo, es decir, conectadas como cualquier equipo de cómputo a una roseta de red con cable TCP/IP y con las siguientes características técnicas:

ESTACIÓN	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ANTENA	INTERVALO DE REGISTRO	FECHA DE INICIO
		NORTE	OESTE			
GRPY	Mérida, Yuc.	20° 59' 03.89348"	89° 39' 29.56719"	AXI20Z	1s	20/04/2005
GRGC	Xalapa, Ver.	19°31'46.96783"	99°55'28.99596"		1s	01/12/2005
GRFS	Tuxtla Gutiérrez, Chis.	16° 45' 48.36727"	93° 08' 53.15329"		1s	30/11/2005
AMOXCALLI	Distrito Federal	19° 20' 15.06283"	99° 11' 21.52872"		1s	02/03/2006
OCPBC	Mexicali, BC	32°39'59.70302"	115°27'28.49718"		1s	15/11/2007
OCRB	Monterrey, NL	25°40'57.60026"	100°16'18.64294"		1s	14/11/2007
DLN	Tepic, Nay.	21°29'46.56718"	104°53'05.98218"		1s	16/11/2007

Tabla III-5. Red de Estaciones de Referencia GPS de la Comisión Nacional del Agua (WGS84. Época 06/05/10). Registradas por orden de puesta en marcha en Organismos de Cuenca y Dirección Local.

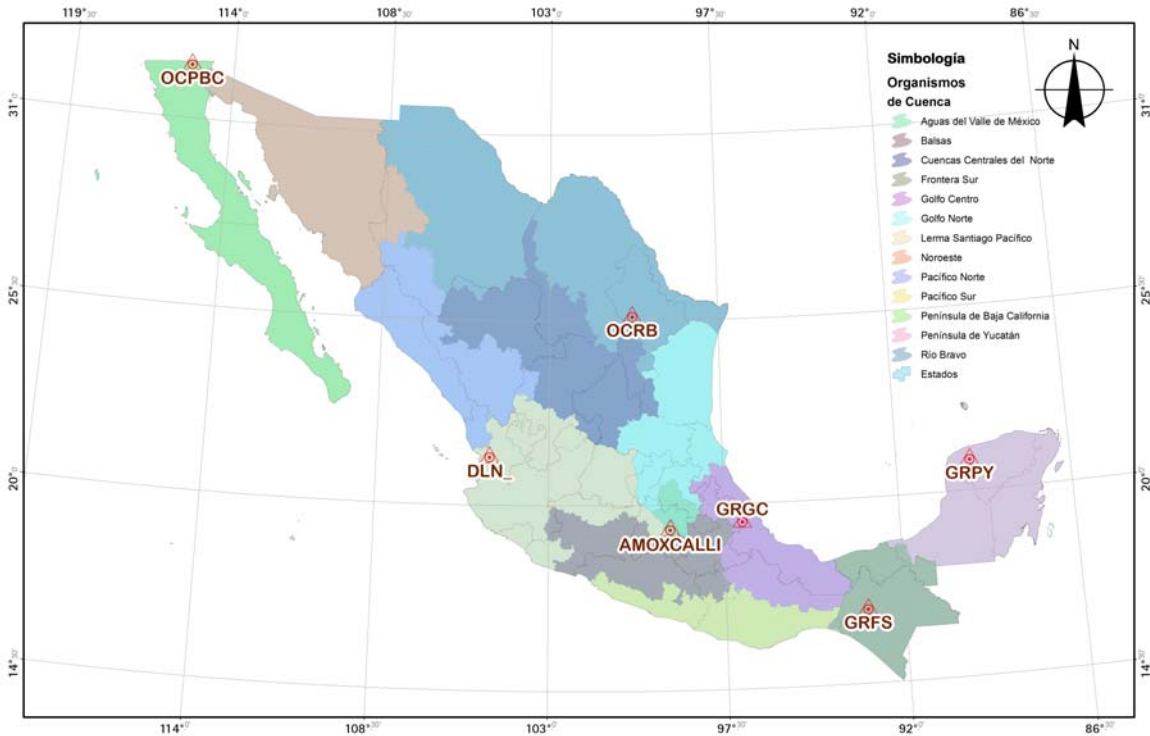


Figura III-29. Red de Estaciones de Referencia GPS de la Comisión Nacional del Agua (WGS84. Época 06/05/10) Nomenclatura escogida por sitio de instalación en Organismos de Cuenca y Dirección Local correspondiente.

Con relación a la disponibilidad de datos, hay que mencionar que las Estaciones de la RGNA del INEGI incluso en el procedimiento de liga de nuestra red a sus estaciones más cercanas se vio demeritado. Lo anterior porque para el día 6 de mayo del 2010 se presentaron inconsistencias para procesar diferencialmente con la Estación TOL2 ubicada en Toluca, Estado de México; de igual forma, la Estación VIL2 de Villahermosa, Tabasco los datos de 24 horas de registro estaban vacíos.

Id de punto	Clase de...	Inicio	Fin	Duración	Tipo	Lectura de A...	Tipo de Medición	Tipo de Ante...
TOL2	Control	05/05/2010 17:59:46	05/06/2010 11:50:31	17h 50' 45"	Estático	0.0947	Vertical	Zephyr Geod...
AMOXCALLI	Navega...	05/06/2010 06:59:46	05/06/2010 14:59:45	7h 59' 59"	Estático	0.0000	Vertical	AX1202
TOL2	Control	05/06/2010 12:25:31	05/06/2010 17:59:31	5h 34' 00"	Estático	0.0947	Vertical	Zephyr Geod...

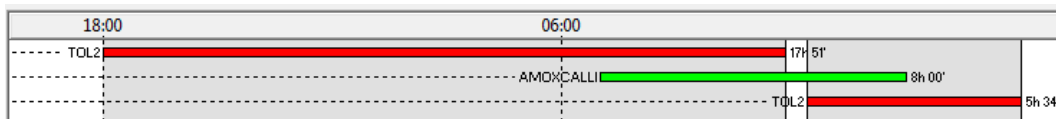


Figura III-30. Liga a la RGNA del INEGI de la Estación AMOXCALLI con datos del 6 de mayo del 2010 de la Estación TOL2. Nótese la ventana de observación sin datos de TOL2 del INEGI. Comisión Nacional del Agua.

En el **Anexo F** se podrá consultar el resumen por Estación con el cálculo de las coordenadas finales de cada una de las 7 Estaciones de Referencia de la Comisión Nacional del Agua, basadas en datos de liga a la RGNA del INEGI.

Las Estaciones de la Comisión Nacional del Agua se encuentran conectadas a la Red Nacional de Datos, es decir, conectadas a la Red que enlaza a los 13 Organismos de cuenca en que se encuentra dividida la institución a lo largo y ancho del territorio en donde cualquier computadora conectada a la Red mediante

cable RJ45 vía TCP/IP puede tener acceso a los datos generados por cada una de las Estaciones de Referencia GPS.

Estas Estaciones publican sus datos en tiempo casi real mediante una dirección IP fija y un puerto dedicado para ello, lo que garantiza la disponibilidad de los datos de manera biunívoca para los usuarios internos que solicitan su acceso.

La administración de las 7 Estaciones es bajo un esquema centralizado en donde a través de un software se conectan, desconectan, se dan de alta productos de información y tasas de transferencia de datos de manera remota, sin importar si la Estación por operar está en Mexicali o en Tuxtla Gutiérrez. Esto último ha sido de gran ayuda y economía por tratarse de acciones que no necesariamente se tengan que realizar en el sitio específico y que pueden resolverse desde un punto remoto.

Al generarse un archivo RINEX al concluir la hora de registro, inmediatamente se sube a un sitio ftp para su uso; situación que el INEGI aún no proporciona, sino que con ellos hay que esperar hasta el día siguiente para tener acceso, si es que no se producen errores en el registro; que dicho sea de paso tenemos la amarga experiencia de consultar determinada fecha y determinada hora de alguna estación en el sureste del país y que pertenece a su red y simplemente recibimos datos vacíos de información.

Por otra parte, una gran ventaja es que garantizamos a nuestros usuarios que el tiempo de registro podrá serles de utilidad al 100%. Esto quiere decir que las 7 Estaciones publican sus datos a una tasa de registro a cada segundo.

Al usuario final le significa redundancia de forma positiva porque sus receptores están configurados a esa misma tasa de registro, mientras que el INEGI publica sus datos RINEX a cada 15 segundos; es decir, en un procesamiento diferencial el usuario que midió 60 segundos en un punto sólo podrá procesar 4 ternas de coordenadas, mientras que con nuestras Estaciones sí podrá calcular sus coordenadas finales con 60 datos obtenidos contra 60 datos de la Estación correspondiente. Esto hace la gran diferencia.

CAPÍTULO IV.- DISEÑO DE LA RED GEODÉSICA DE ESTACIONES FIJAS DE REFERENCIA GPS.

La necesidad de contar con una Red Geodésica de Estaciones Fijas de Referencia GPS en la Comisión Nacional del Agua surge por iniciativa de este servidor que escribe el presente documento, quien se percata que esta Red vendría a significar una mejor manera de realizar las labores de Georreferenciación en los Organismos de Cuenca para la mejor identificación de la infraestructura hidráulica que administra la Comisión.

Fue determinante haber estado en contacto con los usuarios de las áreas técnico-operativas para conocer sus necesidades de precisión y con ello aumentar la productividad y el desempeño en las labores cotidianas en campo. Ya se tenía un avance considerable en la asignación de equipos receptores tipo diferencial (120 receptores GPS distribuidos en Organismos de Cuenca y Direcciones Locales, septiembre de 2007, ver Figura IVa); por lo que la visión a corto plazo fue la de dotar principalmente a esos usuarios de una herramienta que les permitiera aumentar la precisión de las coordenadas recabadas con esos equipos y no sacrificar alguno para colocarlo como “base temporal” en los levantamientos correspondientes.



Figura IVa. Receptores GPS Diferenciales distribuidos en Organismos de Cuenca y Direcciones Locales.

Es por ello que esa necesidad de los usuarios del Sistema de Información Geográfico del Agua (SIGA) de contar con mayor precisión en las diferentes etapas de los proyectos que requieren la ubicación de la infraestructura hidráulica, nos llevó a proponer como alternativa de solución la instalación de una Red Geodésica de Estaciones Fijas de Referencia GPS.

Uno de los principales temas a discutir en un principio fue la ubicación de cada una de las Estaciones, ya que por una parte fue concebida para un cubrimiento nacional y por la otra, un cubrimiento Regional. Esto último, basado en la capacidad presupuestaria de la institución, ya que estábamos conscientes de que no podríamos obtener en una sola adquisición el número necesario para cubrir el territorio nacional (10 en total).

Y tal cual ocurrió, adquirimos las primeras cuatro, por lo que el siguiente paso fue definir por dónde íbamos a empezar para lograr la redundancia y rigidez posible. Los efectos de los fenómenos climatológico-atmosféricos ocurridos en los últimos años en el sureste del país obligó a tomar la decisión inmediata por comenzar a instalar el equipo en esa región amenazada por huracanes e inundaciones consecuencia de esos mismos.

IV.1. Objetivos de la Red de Estaciones de Referencia GPS y posibles usuarios.

La Red de Estaciones de Referencia de Operación Continua tiene como objetivos:

- Establecer y/o formar un Marco Geodésico de Referencia Dinámica de 1er orden mediante la liga a Redes Geodésicas Activas y Pasivas de otras instituciones nacionales y extranjeras.
- Generar y distribuir los datos a su vez proporcionados por los receptores GPS, mediante la descarga periódica y automática de los datos crudos GPS y la distribución automática y periódica de los mismos a carpetas remotas a través de la Intranet o red de área amplia (WAN por sus siglas en inglés) de la Institución.
- Transmitir los datos de correcciones diferenciales para levantamientos en tiempo real, mediante el enlace de comunicación disponible.

Por otra parte, se identificó que los usuarios potenciales de los datos generados por la Red de Estaciones de Referencia pueden ser:

- La comunidad de usuarios dedicados al **establecimiento y reocupación de redes geodésicas de primer orden**, mediante el uso de **receptores geodésicos de doble frecuencia**. El error medio cuadrático de la línea base típico de este método de levantamiento va desde **5mm + 1ppm³⁶ hasta 3mm + 0.5ppm**, de acuerdo a los receptores GPS y las antenas utilizadas.
- La comunidad de usuarios dedicados a los **levantamientos Topográficos en post proceso y tiempo real**. Utilizando **receptores geodésicos de doble frecuencia**. El error medio cuadrático de la línea base típico de este método de levantamiento va desde **5mm + 1ppm hasta 5mm + 0.5ppm**, de acuerdo a los receptores GPS y las antenas utilizadas.
- La comunidad de usuarios dedicados a los **levantamientos Topográficos en el post proceso y tiempo real**. Utilizando **receptores Topográficos de un frecuencia**. El error medio cuadrático de la línea base típico de este método de levantamiento es de **10mm + 2ppm**, dependiendo de los receptores GPS y las antenas utilizadas.
- La comunidad de usuarios dedicados a la **colección de datos para Sistemas de Información Geográfica mediante receptores GPS/GIS de post proceso o tiempo real**. Los datos proporcionados por la Estación de referencia son aquellos que requiere el GPS/GIS de una sola frecuencia para corregir las coordenadas (Latitud, longitud y Altitud), asociadas a los detalles del SIG. El error medio cuadrático de la línea base típico de este método de levantamiento es de **10mm + 2ppm**, utilizando receptores GPS/GIS de categoría topográfica.
- La comunidad de usuarios dedicados a la **colección de datos para Sistemas de Información Geográfica mediante receptores GPS/GIS de post proceso o tiempo real**. Los datos proporcionados por la Estación de Referencia son aquellos que requiere el **GPS/GIS de una sola frecuencia** para corregir las coordenadas (Latitud, Longitud y Altura), asociadas a los detalles del SIG. El error medio cuadrático de la Línea base típico de este método de levantamiento es de **30 a 50cm**, utilizando receptores **GPS/GIS de categoría sub métrica**.

³⁶ 1ppm= 1 parte en un millón. Ejemplo: "...existe 1mm de error en 1 millón de milímetros, es decir, 1mm en 1km".

IV.2. Elección de los Sitios.

Como mencionamos, el sureste del país presenta continuos eventos extremos que derivan en riesgos hidrometeorológicos, consecuencia de enormes cantidades de precipitación producida por huracanes. Al contar con las primeras cuatro Estaciones de Referencia GPS nos dimos a la tarea de indagar en aquellos sitios susceptibles de instalar estos equipos.

Para ello, se elaboró una lista de verificación con las características mínimas requeridas para poder instalar una Estación de Referencia GPS de operación continua:

REQUERIMIENTO	¿CUMPLE?
Instalación propia de la Comisión Nacional del Agua (edificio no rentado)	
Sin obstáculos (de los 10 a 15° de ángulo vertical)	
Sin interferencias cercanas e importantes en la frecuencia UHF	
Conectividad dedicada (acceso a la red LAN/WAN de la CNA)	
Protección contra rayos y tierra física instalada	
Sistema de energía ininterrumpida	
Lugar interior para albergar el equipo (no a la intemperie)	
Distancia no mayor de 70m desde la antena al receptor	

Tabla IV-1. Lista de verificación para el establecimiento de una Estación de Referencia GPS en la Comisión Nacional del Agua

- El primer requisito fue muy importante porque sabemos de los trámites administrativos que se deben gestionar para hacer una perforación en un muro en un inmueble rentado, también se deben excluir los edificios clasificados como históricos por el INAH. Al tratarse de un inmueble de la Comisión, las gestiones son más ágiles para llevar a cabo los trabajos de monumentación para colocar la antena.
- El siguiente requisito a revisar fue el espacio alrededor de la antena libre de obstáculos que es básico para lograr una señal "limpia" y con los menores rebotes posibles por árboles, construcciones, entre otros (mitigación del efecto multirayectoria). Es por ello que deberá estar libre el sitio de obstáculos de 10 a 15° (ángulo vertical) a partir del plano horizontal del sitio donde se ubicará la antena.



Figura IV-1. Elección del sitio. Con obstáculos y sin máscara de elevación clara de los 10 a los 15°.

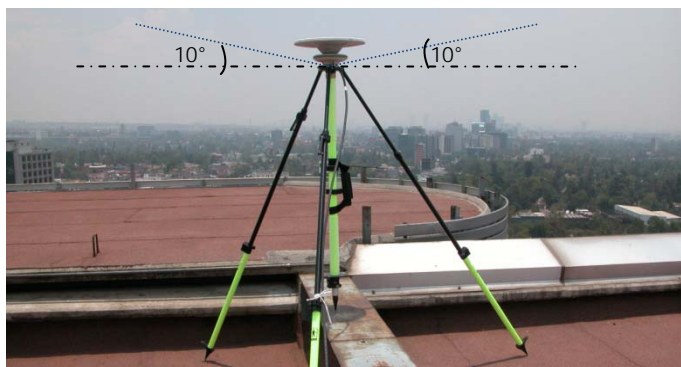


Figura IV-2. Máscara de elevación de 10 a 15°. Edificio de la Comisión Nacional del Agua, Distrito Federal.

- c) Las interferencias producto de antenas de transmisión también deberán ser eliminadas o evitadas a toda costa. Aquí cabe aclarar que la mayoría de las instalaciones de esta institución cuentan con antenas de transmisión de señales de radio para atención de emergencias. Esto prácticamente no lo pudimos evitar, sin embargo, esto afectaría en un mediano-largo plazo únicamente si instalamos la señal de correcciones en tiempo real; nuestras aplicaciones son para procesamiento diferencial y no afectan significativamente para propósitos de la precisión esperada.



Figura IV-3. Antena de transmisión de radio UHF para atención de emergencias en la Comisión Nacional del Agua. Xalapa, Ver.

- d) La protección contra rayos también es importante para la operación de una Estación de Referencia GPS, ya que se trata de equipos sensibles a los cambios bruscos de voltaje como el que se produce al caer un rayo. Desde el año 2000 las instalaciones de la Comisión se fueron equipando con este tipo de protecciones debido a la existencia de equipo de cómputo en las oficinas y los daños que producían esos fenómenos meteorológicos y que mermaban los activos de la institución. De igual forma, la instalación de los pararrayos fue consecuencia de la

existencia y operación de los sistemas de cómputo vía red que deben estar disponibles en todo momento para los usuarios internos.



Figura IV-4. Pararrayos en edificio de la Comisión Nacional del Agua. México, Distrito Federal

Se debe considerar un equipo de alimentación de energía eléctrica ininterrumpida para garantizar la operación temporal de la Estación después de una falla de energía eléctrica. Esto lo mencionamos para que las áreas que tendrán a su cargo la Estación consideren un regulador y respaldo de energía eléctrica por lo menos de 45 minutos de batería para minimizar sus efectos en el registro de los datos.

- e) A pesar de que los equipos geodésicos GPS que reciben la señal de los satélites son equipos fabricados para *uso rudo*, es decir, para trabajar en condiciones adversas y en la intemperie; nuestra recomendación fue la de conservar el equipo en el interior de la instalación, incluso bajo llave para evitar su pérdida o daño; como quiera que sea una antena se puede recuperar más fácil que una unidad geodésica GPS.



Figura IV-5. Receptor de la Estación de Referencia GPS resguardado en caseta de protección y mástil de la antena libre de obstáculos. Estación GRPY. Mérida, Yucatán.

- f) La longitud del cable coaxial que va de la antena al receptor por especificación técnica no debe exceder los 70m. En efecto, existen en el mercado cables de mayor longitud, sin embargo necesitaríamos adquirir un amplificador para mejorar la impedancia que se ve afectada conforme se alarga el cable y por cuestiones presupuestarias nos veríamos limitados a conseguirlo.

De acuerdo con lo anterior y dadas las circunstancias, momentos y condiciones se definió que comenzaríamos a instalar la red desde el sureste al centro del país. Esto significa que para conservar la geometría de la figura formada con las primeras cuatro estaciones, sugerimos instalarlas en lugares relativamente cercanos para aproximarnos a una figura lo más rígida posible.

Las primeras cuatro Estaciones se ubicaron en los siguientes sitios que cumplieron los requisitos mínimos indispensables mencionados arriba:

Nombre	Sitio	Lugar
GRPY	Gerencia Regional Península de Yucatán/Organismo de Cuenca	Mérida, Yucatán
GRFS	Gerencia Regional Frontera Sur/Organismo de Cuenca	Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
GRGC	Gerencia Regional Golfo Centro/Organismo de Cuenca	Xalapa, Veracruz
AMOXCALLI	Edificio Sede/Oficinas Centrales	México, Distrito Federal

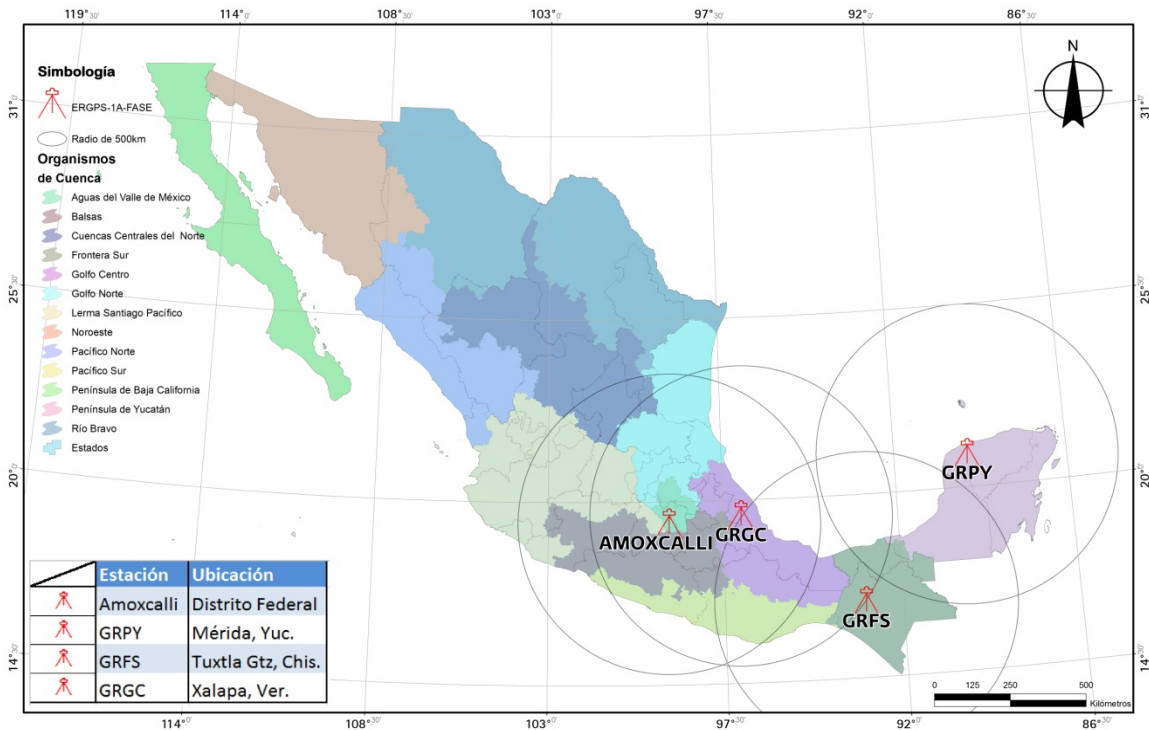
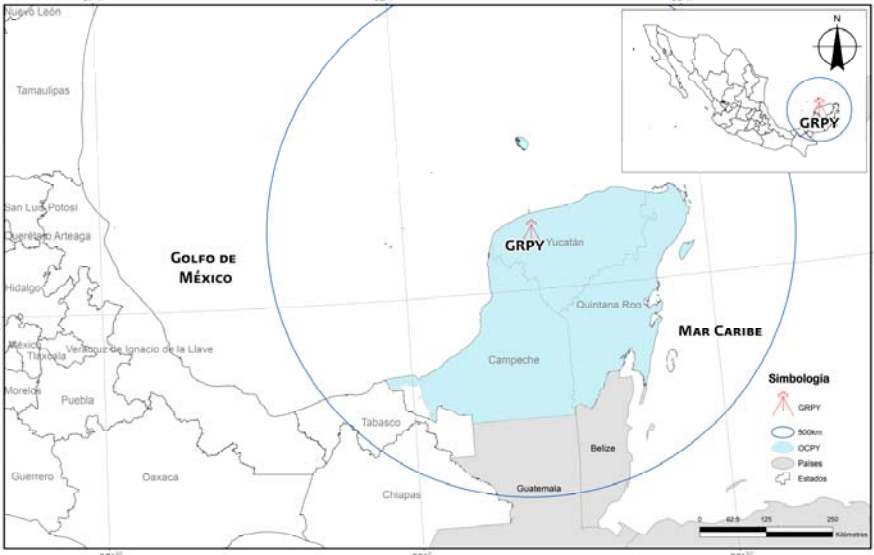


Figura IV-6. La Primera Fase de la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua. Cuatro Estaciones de Referencia GPS

IV.2.1. Estación de Referencia GRPY (Organismo de Cuenca Península de Yucatán - Mérida, Yucatán)

Nombre	Lugar	Ubicación
GRPY	OC Península de Yucatán	

La Estación GRPY se ubica en la Península de Yucatán, en la ciudad de Mérida, en instalaciones propias de la Comisión Nacional del Agua sobre un macizo de calizas cuyo espesor va de los 0 a los 35m (anotar bibliografía de geología del estado).

Inició operaciones formalmente el 20 de abril de 2005, en donde fue necesario realizar tres visitas para elegir el sitio adecuado.

El primer sitio que se visitó fue el Observatorio Meteorológico a las afueras de Mérida, cercano al Aeropuerto Internacional “Manuel Crescencio Rejón”. Esta instalación que contaba con la mayoría de la infraestructura requerida no fue el sitio final para el establecimiento de la Estación porque se encontraba a escasos 500m de distancia del radar propiedad del Aeropuerto y su haz de ondas de radio provocaría una interferencia significativa en los datos de posición del equipo GPS.



Figura IV-7. Instalaciones del Observatorio Meteorológico de la Comisión Nacional del Agua en terrenos aledaños al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de Mérida, Yucatán.

De igual forma, se inspeccionó el lugar que alberga al Centro Regional de Atención de Emergencias (CRAE) en donde hay toda una infraestructura para almacenar maquinaria tales como plantas potabilizadoras portátiles, dragas y trascabos en general. A pesar de contar con el espacio suficiente para resguardar el equipo y antena, lo que faltaba en su momento fue el requisito de la conectividad, ya que en ese tiempo estaba por concluir la instalación del enlace dedicado para enlazarse con el edificio sede de la oficina regional.



Figura IV-8. Segundo sitio probable. Instalaciones del Centro Regional de Atención de Emergencias (CRAE), Mérida, Yucatán.

Es por ello que el edificio sede de la entonces denominada Gerencia Regional Península de Yucatán (hoy Organismo de Cuenca) fue el lugar elegido y que contaba con todos los recursos para dar servicio a la primer Estación de la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua.



Figura IV-9. La Estación de Referencia GPS en el Organismo de Cuenca Península de Yucatán. GRPY.

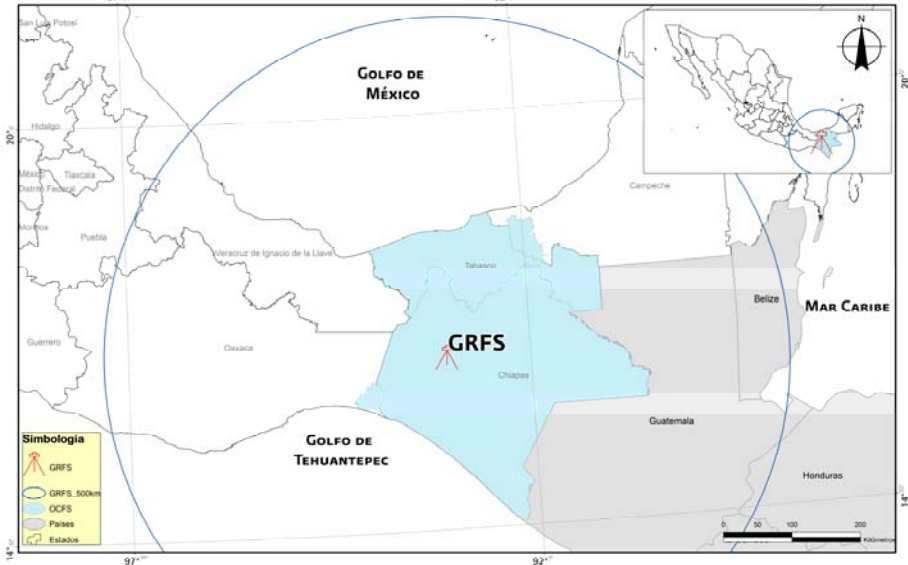


Fig. IV-10. Aspectos de la canalización del cable coaxial de la antena



Fig. IV-11. El Receptor GPS de la Estación GRPY resguardado en una caseta de seguridad y al interior del edificio del Organismo de Cuenca en Mérida, Yucatán.

IV.2.2. Estación de Referencia GRFS (Organismo de Cuenca Frontera Sur – Tuxtla Gutiérrez, Chiapas).

Nombre	Lugar	Ubicación
GRFS	OC Frontera Sur	

La siguiente Estación de Referencia GPS por instalar fue GRFS. Prácticamente inició operaciones el 30 de noviembre de 2005, en las instalaciones del Laboratorio de Calidad del Agua de este Organismo de Cuenca, que cabe mencionar que se encuentra en un macizo rocoso sobre una estructura que incluso se construyó con especificaciones sismo-resistentes y de las mismas características que las obras realizadas en la Ciudad de México, en donde por reglamento se desarrollan edificaciones para soportar sismos de 8.0 grados Richter.

Sin embargo, primero se exploraron varias posibilidades de instalación. En una primer visita, se probó la calidad de la señal sobre la azotea de las instalaciones de la entonces Subgerencia de Programación, pero la cercanía a una de las unidades habitacionales provocaba un obstáculo importante en el registro de los datos a lo largo del día cuando los satélites se encontraban al norte del sitio, es decir, por detrás de la unidad habitacional.



Figura IV-12. Primer sitio propuesto muy cercano a casas-habitación. Estación GRFS.

Por lo anterior, se vislumbró la posibilidad de alejarse de dichas construcciones para darle más ángulo de vista hacia el firmamento. Esto nos llevó a sugerir que se instalara sobre la azotea del Laboratorio de Calidad del Agua del Organismo.

Ahí se volvieron a realizar pruebas de señal, dejando el equipo 36 horas y revisar el registro, que nos arrojó buenos resultados en cuanto a que no se presentaron huecos o “gaps” significativos que pusieran en riesgo el registro continuo de datos en el equipo instalado.



Figura IV-13. Elección del sitio GRFS sobre el Laboratorio de Calidad del Agua. Primeras pruebas.



Figura IV-14. Conexión del Equipo a la antena y verificación de la señal y datos registrados. Estación GRFS.

Fue por ello que el mejor sitio disponible y que reunió las condiciones mínimas para la instalación y puesta en marcha fue el edificio de Calidad del Agua.

En la parte más alta del laboratorio, se ancló a la viga de acero con una zapata de metal soldada, previa nivelación para garantizar la verticalidad del monumento. A su vez, se instaló un poste de metal (galvanizado) y en su interior se agregó concreto para evitar movimientos laterales al fraguar la mezcla.

No obstante que se garantizó que no se presentarán movimientos sobre sus propios ejes, se “lanzó” un polímero como un recubrimiento adicional al mástil con una finalidad: la ciudad de Tuxtla Gutiérrez tiende a presentar altas temperaturas en verano (más de 40°C), por lo que este material reducirá en gran medida el efecto de dilatación sobre el mástil que soportará la antena.

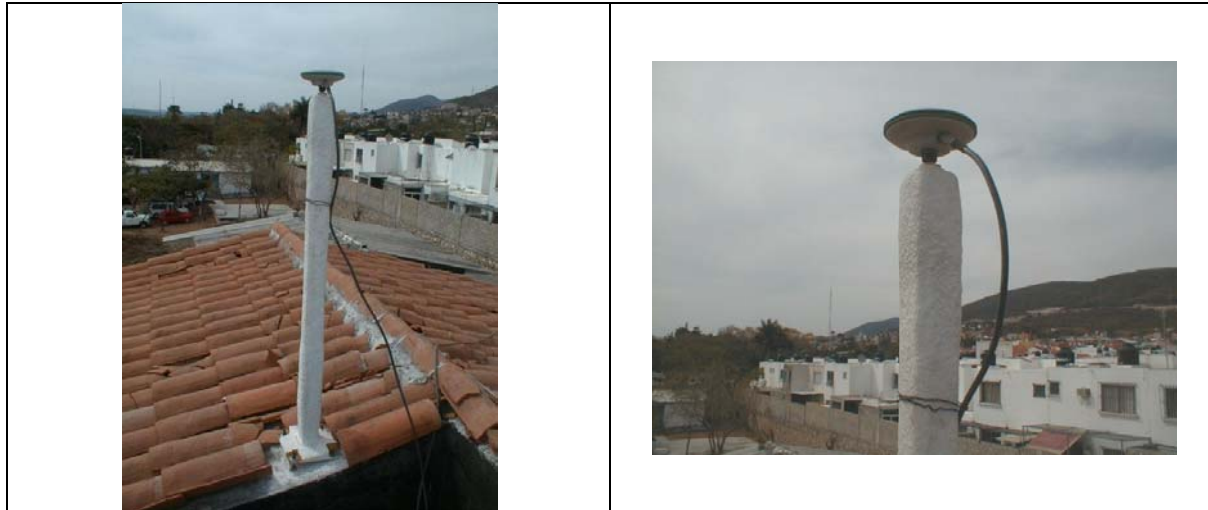
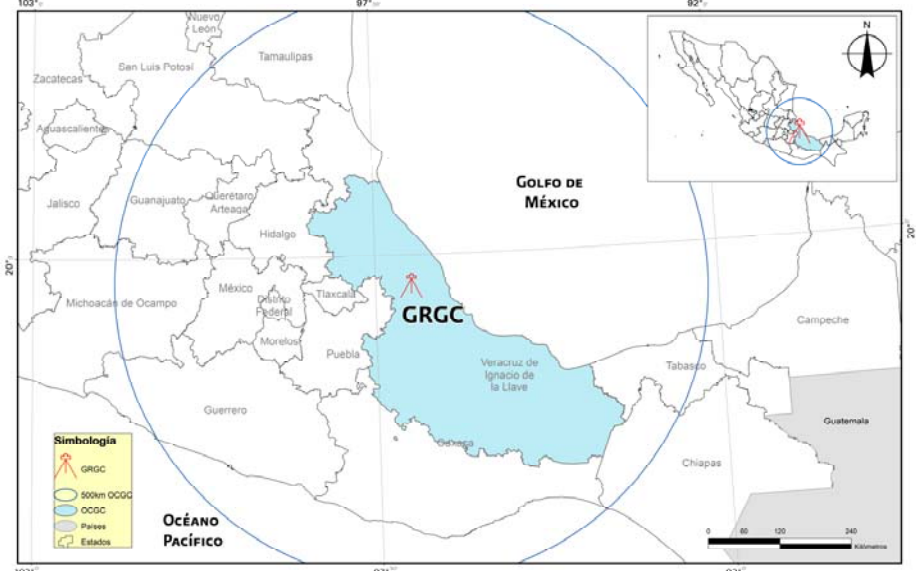


Fig. IV-15. Antena sobre el Laboratorio de Calidad del Agua en el Organismo de Cuenca Frontera Sur. Sin obstáculos por encima de los 10-15° de la máscara de elevación.

IV.2.3. Estación de Referencia GRGC (Organismo de Cuenca Golfo Centro – Xalapa de Enríquez, Veracruz).

Nombre	Lugar	Ubicación
GRGC	OC Golfo Centro	

En orden cronológico, la tercer Estación de Referencia instalada en la Comisión Nacional del Agua fue GRGC en la Ciudad de Xalapa, Veracruz, en el edificio sede del entonces Organismo de Cuenca. El inicio de operaciones fue el 1 de diciembre de 2005.

En este sitio se cumplían a cabalidad el 99% de las condiciones. Quedaba por evaluar si la antena de radiofrecuencia para los eventos de emergencias hidrometeorológicas representaba una fuente de ruido significativa para los datos de posición registrados. Como hemos mencionado, este tipo de antenas están prácticamente presentes en casi todos los edificios sede.

Una acción que se llevó a cabo para poder mitigar ese ruido por la frecuencia en la que trabajan los radios emisores-receptores (UHF) fue la de prolongar uno de los castillos al centro del edificio casi 6 metros por encima del nivel de la azotea. De igual forma, es bien conocido el efecto de los denominados “Nortes” que provienen de la corriente del Golfo y que azotan a la Ciudad de Xalapa una parte importante del año con ráfagas de viento de los 30 a los 80km/h, inclusive.

Para evitar que se presentaran movimientos en el monumento de la antena, se decidió colocar tirantes de acero, anclados a la estructura del edificio y que tensaran el monumento en la base de la antena.



Figura IV-16. Fachada del Edificio Sede en Xalapa y antena de transmisión de radio (UHF).

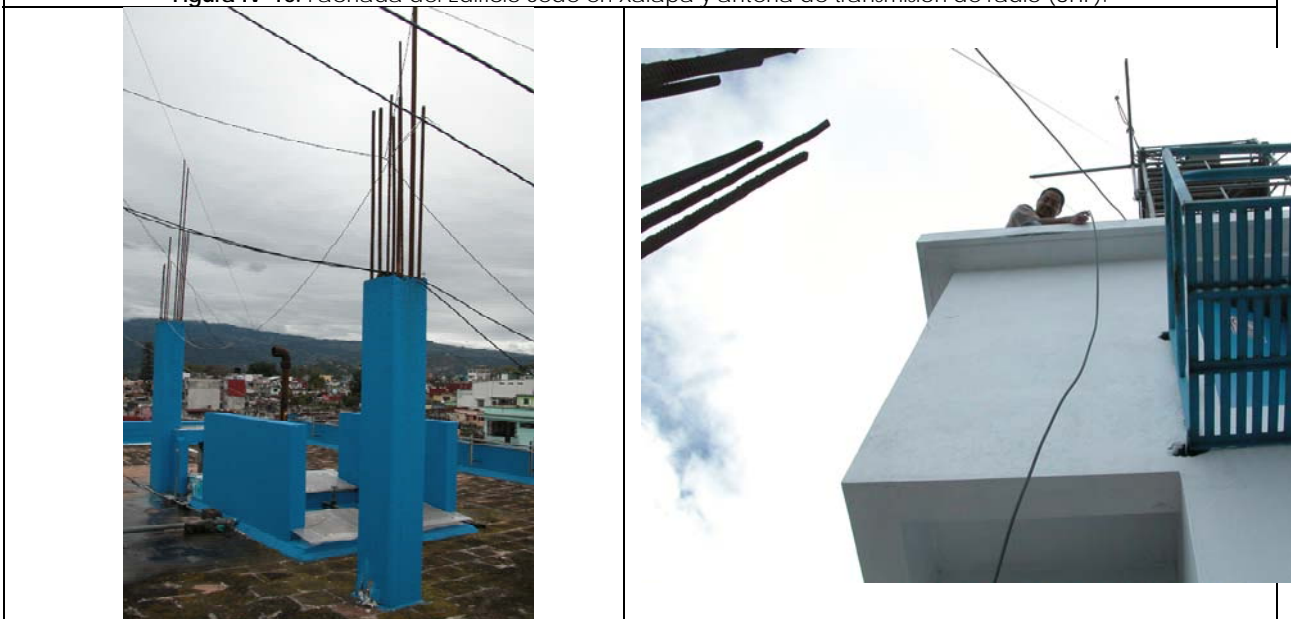


Figura IV-17. Aspecto de la azotea del edificio con columnas inconclusas que sirvieron para prolongar una de ellas como monumento de la antena.



Figura IV-18. Conexión del receptor GPS y el registro local de datos en el software de administración.

IV.2.4. Estación de Referencia AMOXCALLI (Oficinas Centrales – Distrito Federal).

Nombre	Lugar	Ubicación
AMOXCALLI	Edificio de Oficinas Centrales	

La cuarta Estación instalada por cuestiones de cubrimiento fue AMOXCALLI (del Náhuatl, La Casa de los Libros o el Templo del Saber) en el Distrito Federal. El inicio de operaciones formales fue el 2 de marzo del 2006³⁷.

En este sitio se cumplieron todas y cada una de las condiciones mínimas necesarias. La parte de los obstáculos se libró de manera inmediata ya que el Edificio de las Oficinas Centrales, localizado en el cruce la Av. de los Insurgentes Sur y el Eje 10 Sur Copilco tiene una azotea que se encuentra a 14 pisos sobre el nivel de la acera (50m aproximadamente).

Aquí la restricción encontrada por parte de las autoridades de nuestra institución fue la de no colocar la antena por encima del cono de viento del helipuerto ubicado en la parte alta del edificio, ya que por reglamentación de navegación aérea, no puede existir un objeto de transmisión de datos por encima de ese cono que orienta al piloto de la aeronave sobre la dirección del viento prevaleciente en la superficie por aterrizar. Esto excluye a los pararrayos.

³⁷ Aunque AMOXCALLI comenzó a registrar datos con la antena montada en la columna de concreto el 18 de julio de 2006, consideramos como fecha de inicio de operaciones el 2 de marzo de 2006. Durante ese tiempo, el equipo se mantuvo recibiendo datos de posición con la antena montada en un tripié con bajo coeficiente de dilatación y un peso aproximado de 20kg.



Otro aspecto a considerar en la instalación de AMOXCALLI fue la longitud máxima del cable coaxial de la antena al receptor GPS. El carrete adquirido fue de 50 metros. Esto nos obligó a buscar un sitio seguro para resguardar el equipo de la intemperie y alejado de las personas que por curiosidad pueden hacer mal uso del mismo.



Por la inspección del sitio, lo más recomendable era colocar una base monumentada de concreto con un armado básico de varilla sobre la última viga de acero aflorada en la superficie del último nivel del edificio y de ahí llevar el cable coaxial por un ducto sobre los pretilos hasta donde alcanzara a llegar el cable conectado al receptor. El cable llegó por medio de la ductería interna del edificio al nivel 12, es decir, sólo 2 pisos hacia abajo debido a las vueltas para rodear los pretilos.

Cabe mencionar que por especificación del cable, no se permite doblarlo más allá de los 90 grados, por el temor de que se dañara el aislante que lleva por dentro; así que en las vueltas encontradas para llegar a su destino se tuvo que usar material flexible y evitar que se trozara dicho aislante.

El sitio para albergar el receptor GPS fue en el distribuidor de telecomunicaciones del nivel 12, y en donde está la roseta para conectar la Estación con la Red Nacional del Datos de la Comisión Nacional del Agua (ver Figura IV-25).

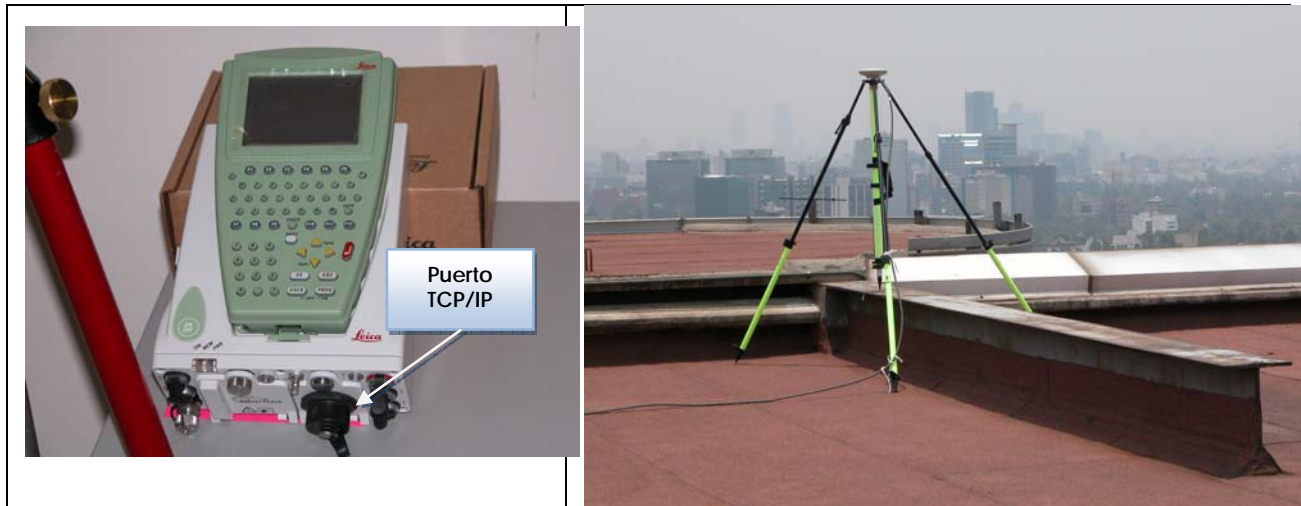


Figura IV-21. Receptor GPS con libreta electrónica, puertos de comunicaciones incluyendo el de red TCP/IP y un aspecto de la instalación temporal con el trípode de alto desempeño. Estación AMOXCALLI, México, DF.

Como se ha mencionado, con la Estación AMOXCALLI se efectuó la monumentación de una base de concreto con un diámetro de 0.45m, sostenida en una zapata de 0.60x0.60m. Esta zapata se realizó con un armado básico utilizando varilla de 3/8" de grosor y, a su vez, soldada a la viga de acero. Esta viga representa la última parte saliente de la estructura que soporta al edificio (ver Figura IV-22 y 23).



Figura IV-22. Armado de la estructura para soporte de la base monumentada. Varilla de 1/2". Estación AMOXCALLI, México, DF.



Figura IV-23. Colado de la base y colocación de la antena de doble frecuencia (L1/L2)

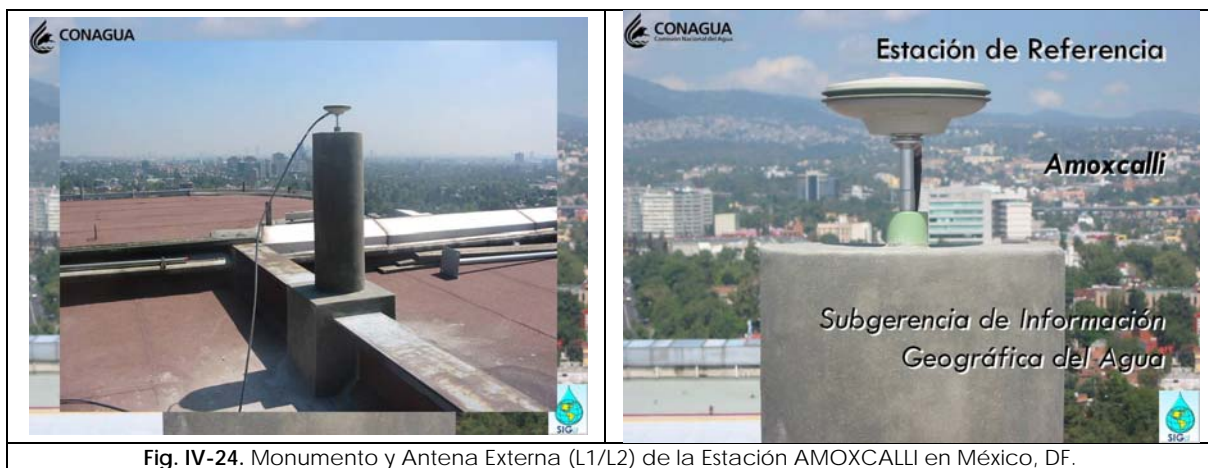


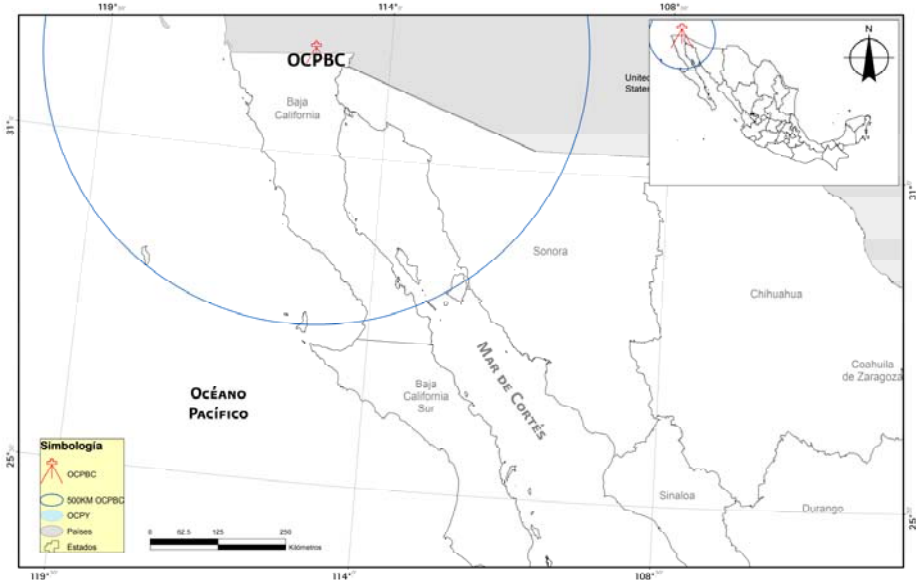
Fig. IV-24. Monumento y Antena Externa (L1/L2) de la Estación AMOXCALLI en México, DF.

Esta es la caseta de seguridad construida para resguardar al receptor GPS en el nivel 12 del edificio, en el espacio que contiene el equipo de telecomunicaciones de uno de los segmentos de red de la Comisión Nacional del Agua.



Figura IV-25. Caseta de seguridad en el nivel 12 ya conectada a la Red Nacional de Datos de la Comisión Nacional del Agua. Estación AMOXCALLI, México, DF.

IV.2.5. Segunda Etapa de la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua: Estación de Referencia OCPBC (Organismo de Cuenca Península de Baja California – Mexicali, Baja California).

Nombre	Lugar	Ubicación
OCPBC	OC Península de Baja California	

La segunda fase de instalación y puesta en marcha de la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua tuvo que desarrollarse a casi 3 años de haber instalado la primer Estación en Mérida, Yucatán (GRPY). De alguna forma esto estaba previsto dado que sabemos de la incertidumbre de asignación de los recursos presupuestales en nuestra institución.

Es importante aclarar que en esta ocasión y de acuerdo a la experiencia de la puesta en marcha de las primera cuatro Estaciones descritas anteriormente, las condiciones de conectividad, espacio físico y seguridad mínimas las estuvimos revisando en conjunto con el personal adscrito en los siguientes sitios por instalar y es por ello que el avance de la inspección física previa a las visitas de reconocimiento prácticamente se redujeron al trámite de sólo reunir a las áreas participantes de los programas de Georreferenciación regionales para entre todos impulsar aún más las tareas de geoposicionamiento.

La Estación OCPBC se ubicó en la prolongación de uno de los castillos internos del edificio, sin mucha altura adicional dado lo plano y la escasez de obstáculos adyacentes, por no decir ninguno. Esta Estación se encuentra a escasos 137m de distancia de la línea internacional que separa a los Estados Unidos Mexicanos de los USA.



Figura IV-26. Localización de la Estación OCPBC en Mexicali, Baja California.

Las necesidades de precisión en los trabajos realizados en equipos GPS diferenciales en el Organismo de Cuenca Península de Baja California (OCPBC), hicieron que se tomara la decisión de establecer una Estación de Referencia GPS para eliminar aquellos equipos móviles que se ocupaban como estaciones base en puntos de coordenadas conocidas para la propagación de puntos de referencia.

Aunado a lo anterior y a la escasez del recurso agua en esta región del país, la Subgerencia de Información Geográfica del Agua puso a disposición de las áreas técnicas usuarias de los equipos móviles tipo diferencial esta Estación de Referencia. Hasta antes de la llegada de este equipo a la OCPBC, las brigadas de topografía hacían uso de uno de los receptores GPS diferenciales como base propagadora de coordenadas al situarse sobre un punto de coordenadas conocidas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Lo anterior implicaba tener un equipo móvil menos en el terreno para dejarlo como “base”.

Con la incorporación de esta Estación de Referencia, las áreas técnico-operativas ya no tienen que omitir el uso de uno de sus equipos para el levantamiento de infraestructura hidráulica y lo invierten incorporando la mayor cantidad de equipos en las sesiones programadas.



Figura IV-27. Edificio sede del Organismo de Cuenca Península de Baja California en Mexicali. Azotea del edificio sede, vista hacia el sur.

De igual forma, la ciudad de Mexicali se encuentra en una zona plana con muy pocos edificios altos en la zona urbana. De hecho, no es una infraestructura plagada de edificios sino de inmuebles de 2 a 4 plantas como máximo. En la zona donde se ubica el Organismo de Cuenca, los asentamientos humanos son en su mayoría casas-habitación con la característica principal de estar a menos de 200m de distancia de la línea fronteriza y a menos de 10 minutos del cruce fronterizo denominado "Garita de Mexicali", cruce hacia Caléxico, California.

Se colocó un mástil provisional en la esquina NW del cubo de la escalera del edificio sede, parte más alta de la zona para probar la señal registrada.



Figura IV-28. Mástil temporal con antena externa sobre la esquina NW del cubo de la escalera. Mexicali, BC.

Poco tiempo después, el 15 de noviembre del 2007 se puso en marcha y operación la Estación de Referencia GPS denominada OCPBC y reportando datos a través de la Red Nacional de Datos de la Comisión Nacional del Agua las 24 horas del día los 365 días del año. Se prolongó el castillo de la esquina NW para lograr la estabilidad requerida de este monumento.

El cable de la antena llega a su destino en un segundo nivel del edificio a partir del nivel de la banqueta (Departamento del Sistema de Información Geográfica del Agua) en donde se encuentra sostenido en la pared el receptor geodésico de doble frecuencia.

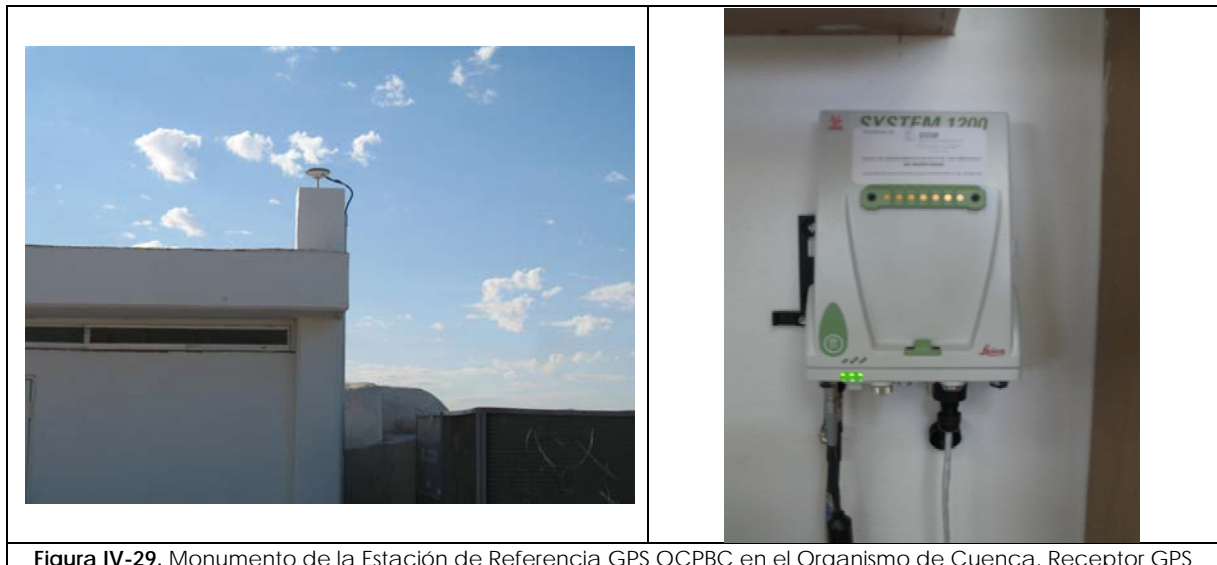


Figura IV-29. Monumento de la Estación de Referencia GPS OCPBC en el Organismo de Cuenca. Receptor GPS

resguardado en el Departamento del Sistema de Información Geográfica del Agua. Mexicali, BC.

IV.2.6. Segunda Etapa de la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua: Estación de Referencia OCRB (Organismo de Cuenca Río Bravo – Monterrey, Nuevo León).

Nombre	Lugar	Ubicación
OCPRB	OC Río Bravo	

Con el paso del tiempo, las áreas técnicas del Organismo de Cuenca Río Bravo detectaron la necesidad de contar con una Estación de Referencia que les permitiera agilizar los trabajos de Georreferenciación con aplicaciones hidrológicas y el alto impacto que tiene el manejo del recurso en esa región fronteriza con los USA y las circunstancias políticas inherentes de administración del recurso.

De igual manera se decidió que el edificio sede del Organismo de Cuenca albergara el equipo GPS y la antena externa. Esta Estación inició operaciones el 14 de noviembre de 2007.

Cabe aclarar que desde que se estableció este Organismo de Cuenca, sus instalaciones no han cambiado sustancialmente, al grado de permanecer en ese mismo sitio que fungía como campamento en el límite de la zona federal del Río Santa Catarina que se desbordó con el paso del Huracán Gilberto en 1985 sin afectar las instalaciones del edificio.



Figura IV-30. Instalaciones del Organismo de Cuenca Río Bravo en Monterrey, Nuevo León.

Desafortunadamente, el Organismo de Cuenca no cuenta con más instalaciones alejadas de la urbe, sin embargo, a pesar de los obstáculos encontrados (anuncios espectaculares principalmente a la redonda) esto no impidió que la señal se registrara sin ruido significativo que la degradara.



Figura IV-31. Anuncios espectaculares y árboles como parte de los obstáculos encontrados en el establecimiento del sitio para la Estación de Referencia OCRB. Monterrey, Nuevo León.

Como se ha mencionado, las instalaciones del Organismo de Cuenca se encuentran en un nivel único a partir de la acera y en estructura prefabricada de material térmico, similar a un campamento de construcción temporal. Esto nos llevó a tomar la decisión de solicitar el permiso correspondiente para colocar la antena externa en la única edificación de concreto encontrada como parte de la Comisión Nacional del Agua en la entidad.

El lugar conseguido fue el inmueble del Laboratorio de Calidad del Agua en el Organismo. Es un Laboratorio certificado para realizar las actividades de muestreo y análisis de la calidad del agua de descargas y, como en el caso de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, este inmueble fue construido bajo las mismas especificaciones técnicas que incluyen la capacidad sismo-resistente descrita en la Estación GRFS.



Después de efectuar las pruebas y comprobar el estado de la señal recibida, se decidió elevar 2.40m el mástil para redundar aún más la calidad de la señal. Se monumentó con material de sonotubo de 0.45m de diámetro. Así como también se preparó dentro de la columna de concreto un registro interno para introducir el cable coaxial como medida de protección extra para el cable y que no quedara a la intemperie por lo menos esa sección que llega a la antena.



El cable coaxial (carrete con longitud de 70m) fue suficiente en cuanto a la distancia recorrida para alcanzar los extremos de la antena externa y el receptor GPS, ya que las instalaciones del Laboratorio son de una sola planta y el rack de telecomunicaciones se encuentra prácticamente debajo del monumento construido.



Figura IV-34. Carrete del cable coaxial de la antena externa y penetración a través de la loza hacia el interior del Laboratorio de Calidad del Agua. Monterrey, Nuevo León.

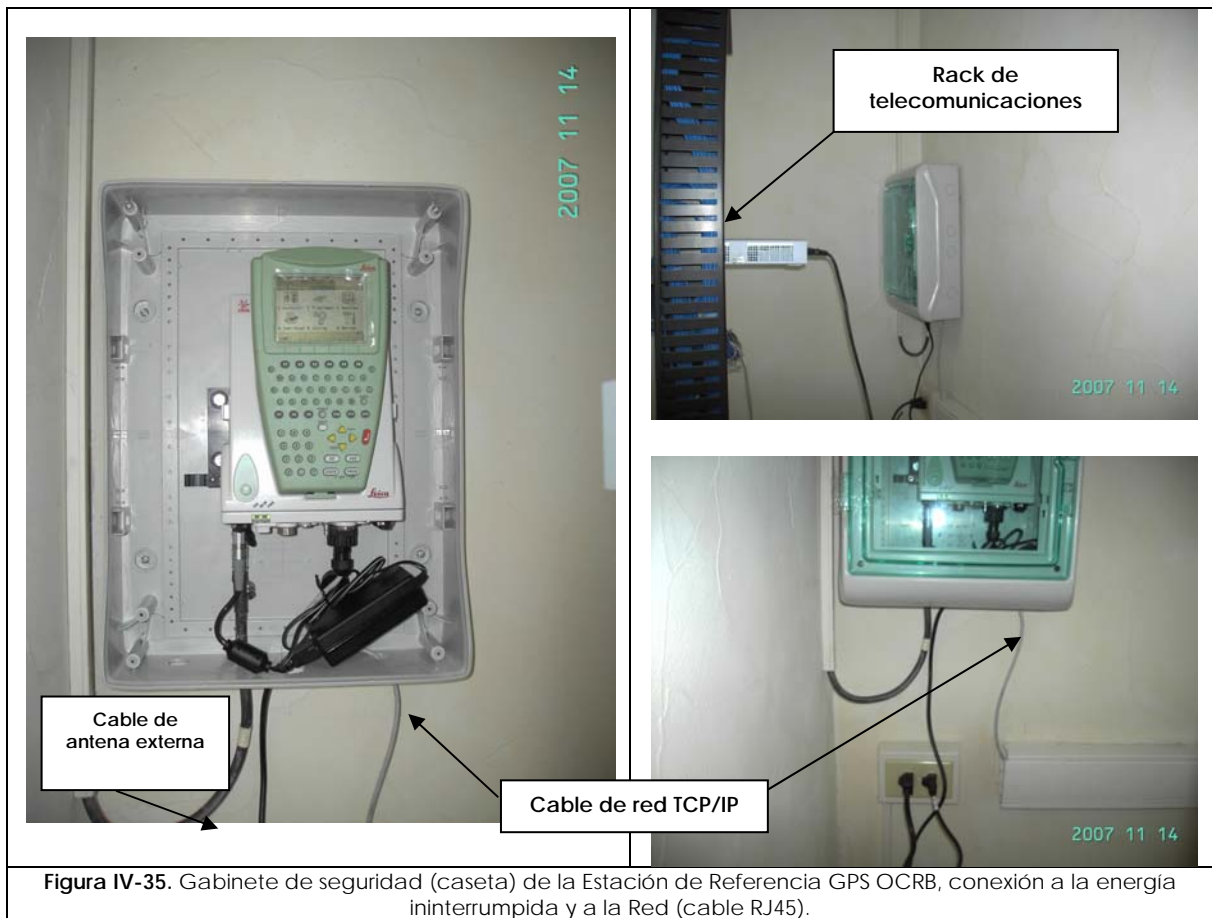


Figura IV-35. Gabinete de seguridad (caseta) de la Estación de Referencia GPS OCRB, conexión a la energía ininterrumpida y a la Red (cable RJ45).



Figura IV-36. La Estación de Referencia GPS OCRB monumentada y en operación. Monterrey, Nuevo León.

IV.2.7. Segunda Etapa de la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua: Estación de Referencia DLN (Dirección Local Nayarit – Tepic, Nayarit).

Nombre	Lugar	Ubicación
DLN	DL Nayarit	

La primer Estación de Referencia GPS colocada en una Dirección Local fue DLN, ubicada en la Ciudad de Tepic, Nayarit el 16 de noviembre del 2007. Localizada en la parte central de la Ciudad sin obstáculos importantes de por medio y con las condiciones mínimas necesarias de conectividad y seguridad que ofreció el edificio sede de la Dirección.

El Estado de Nayarit está comprendido en la confluencia de cuatro provincias geológicas: Sierra Madre Occidental, Llanura Costera del Pacífico, Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur.

Las principales estructuras geológicas las representan aparatos volcánicos, extensos derrames de lava, fallas y fracturas regionales que afectan a las rocas y han formado grandes fosas tectónicas, por donde las corrientes de diversos ríos tienen un control en su cauce.

El área que comprende el Estado, está integrada por elementos estructurales distintivos, con un desarrollo dentro del marco de la tectónica de placas.

Asimismo, dentro de la superficie estatal de la provincia, se encuentran estructuras geológicas mayores, asociadas entre sí, éstas son de tres tipos: calderas, fallas y cuerpos volcánicos; de las primeras hay una conocida como caldera del Nayar, que consiste de una estructura semicircular formada entre los ríos San Pedro y Jesús María, considerada como la mayor del mundo, aunque no existen estudios estratigráficos a detalle ni determinaciones geocronométricas que permitan definirla con mayor exactitud.

En la provincia Eje Neovolcánico, ampliamente expuesta en el estado, se desarrolló volcanismo, calcoalcalino a finales del Plioceno y durante el Cuaternario; dicho volcanismo originó rocas de composición basáltica y andesítica, así como piroclásticos. Diversos estudios indican que el eje se encuentra fragmentado en tres sistemas de fosas tectónicas, las cuales convergen en el estado de

Jalisco y cuyas direcciones son: norte-sur, oeste-este y noroeste-sureste; la última dirección corresponde a la fosa de Tepic denominada también "riff" de Tepic, localizada parcialmente dentro de Nayarit; en él se sitúan tres centros eruptivos principales (estratovolcanes): San Juan, Sangangüey y Ceboruco, con numerosas asociaciones de conos cineríticos. Las rocas calcoalcalinas, además de los abundantes aparatos volcánicos monogenéticos que muestran, forman diques básicos, los cuales cortan a las rocas volcánicas ácidas del Oligoceno-Mioceno.

Esta descripción geológica es importante mencionarla por la localización de la Estación DLN y los posibles movimientos a los que está sujeta. De cualquier forma, el macizo de rocas ígneas extrusivas sobre el que se encuentra representa una superficie estable en términos de las aplicaciones cartográficas a las que están orientados los receptores GPS diferenciales de nuestras áreas técnicas.

Las áreas técnicas usuarias de los equipos GPS han impulsado el uso de estos receptores en temas que son clave en su ámbito de competencia regional.



Figura IV-37. Los levantamientos de zonas donde se extraen materiales pétreos en lechos de los ríos han sido de enorme ayuda en la Dirección Local Nayarit para mostrar evidencia a las empresas que se dedican a ello para el pago del usufructo correspondiente con datos medidos sobre el terreno. Tepic, Nayarit.

De igual forma, la delimitación de zonas federales se ha realizado con datos obtenidos por los receptores GPS diferenciales con el nivel de precisión submétrico en zonas rurales.



Figura IV-38. Delimitación de zona federal con equipos GPS diferenciales en terrenos y casas-habitación ubicados dentro de su franja. Tepic, Nayarit.

La Estación de Referencia GPS fue instalada en la parte más alta del edificio sede. El receptor GPS geodésico se encuentra en el rack de telecomunicaciones de la Dirección.



Figura IV-39. Instalación provisional de la Antena Externa de la Estación de Referencia GPS DLN. Cubo de los tinacos de agua en la azotea del Edificio Sede. Tepic, Nayarit.

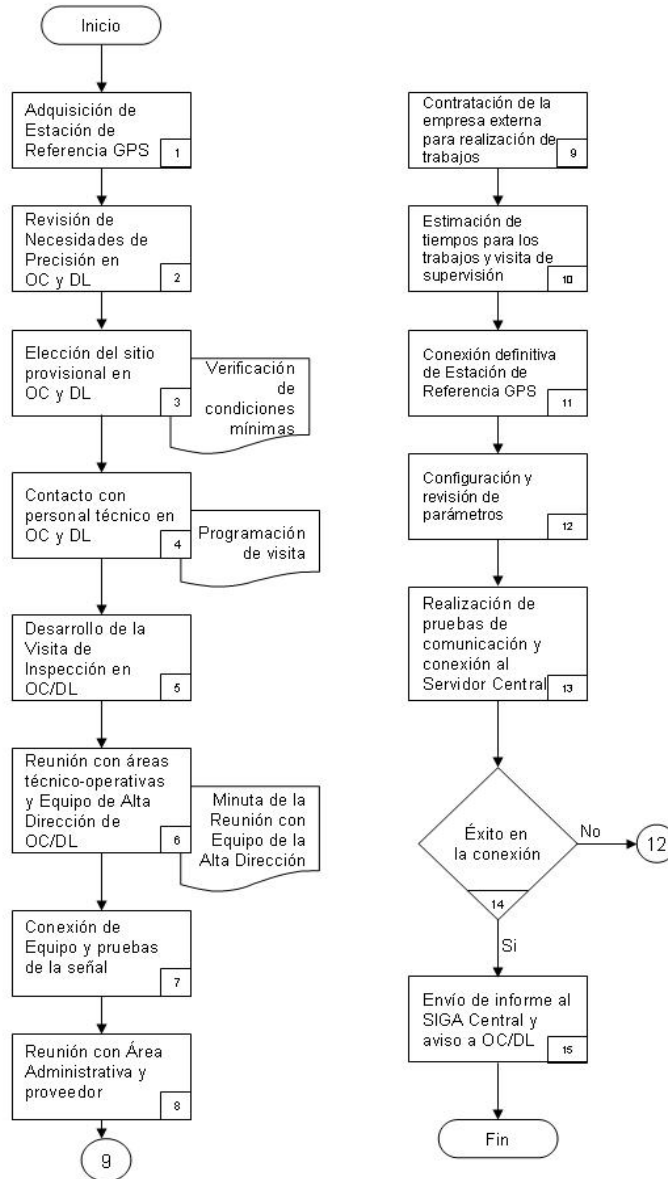


Figura IV-40. Estación de Referencia DLN instalada en Tepic, Nayarit.

IV.3. Proceso de Instalación.

Derivado de lo anterior, podemos describir a manera de proceso cada una de las fases más importantes que intervienen en la instalación de cada Estación de Referencia GPS. Cabe aclarar que aunque se pudieron sortear ciertas situaciones con la misma solución en diferentes sitios, la instalación en las 7 Estaciones implicó un tratamiento especial y único en alguna de las fases correspondientes. Es decir, no pretendemos generar un manual de procedimientos general y aplicable a cualquier lugar y circunstancia porque en la mayoría de los casos el criterio aplicado fue determinante y diferente.

IV.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO.



IV.3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES.

Paso	Responsable	Actividad
1	Subgerente y Jefe de Proyecto	Adquisición de Estación de Referencia GPS
2	Subgerente y Jefe de Proyecto	Revisión de necesidades de precisión en Organismos de Cuenca y/o Direcciones Locales
3	Subgerente y Jefe de Proyecto	Elección del sitio provisional (verificación de condiciones mínimas requeridas)
4	Subgerente y Jefe de Proyecto	Contacto con personal de áreas técnicas en Organismo/Dirección Local correspondiente con programación de visita
5	Subgerente y Jefe de Proyecto	Desarrollo de la visita de inspección con <i>checklist</i> de por medio (lista de verificación de condiciones mínimas requeridas)
6	Subgerente y Jefe de Proyecto	Reunión en el Organismo/Dirección Local con usuarios responsables de áreas técnicas y Alta Dirección correspondiente
7	Jefe de Proyecto	Conexión de equipo de manera provisional y realización de pruebas de la señal GPS
8	Subgerente y Jefe de Proyecto	Reunión con área administrativa para la contratación de trabajos de monumentación y bajada del cable al equipo GPS
9	Área Administrativa y proveedor	Contrato con empresa externa que realizará los trabajos requeridos
10	Área Administrativa, proveedor, Subgerente y Jefe de Proyecto	Estimación de tiempos para realizar los trabajos y visita técnica de supervisión para corroborar los mismos
11	Jefe de Proyecto y proveedor	Conexión definitiva de antena externa y Estación de Referencia GPS
12	Jefe de Proyecto y proveedor	Configuración y revisión de parámetros en la Estación de Referencia GPS
13	Jefe de Proyecto y proveedor	Realización de pruebas de comunicación y conexión al Servidor Central de Estaciones de Referencia
14	Jefe de Proyecto y proveedor	En caso de éxito, enviar informe de los trabajos realizados al SIGA Central. En caso contrario, revisar parámetros del paso 12
15	Jefe de Proyecto y proveedor	Aviso por correo electrónico a usuarios de áreas técnicas para inicio de levantamientos con proceso diferencial y conclusión de puesta en marcha de Estación de Referencia GPS

IV.4. PRUEBAS DE OPERACIÓN Y REGISTRO DE DATOS.

Como se ha mencionado en cada proceso de instalación de las Estaciones de Referencia GPS ubicadas en Oficinas Centrales (una), Organismos de Cuenca (cinco) y Dirección Local (sólo una en Nayarit), se efectuaron en las visitas técnicas de elección de sitios las pruebas de operación y registro de datos.

Estas pruebas consistieron en lo siguiente:

- Conexión del equipo (trípode, antena externa, base nivelante).
- Cable coaxial de la antena al receptor GPS.
- *Switch* o *hub* de puertos Ethernet para conectar a la Intranet/Internet la Estación de Referencia GPS.
- Conexión a la corriente eléctrica y configuración de parámetros en el software de administración de Estaciones y generación de datos de posición (uso de equipo de cómputo portátil).
- Generación de datos crudos y RINEX durante 24 horas mínimo, así como consulta de bitácoras de operación que produce la Estación de Referencia al momento de crear los productos personalizados de datos.

La conexión del equipo se efectúa en el sitio susceptible de instalar la Estación y consta de montar la antena en la base nivelante sobre un trípode o directamente sobre uno de los castillos de la construcción que albergará la Estación (Figura IV-41).



Figura IV-41. Montaje de antena externa de la Estación de Referencia. Estación de Referencia AMOXCALLI, México, Distrito Federal.

En seguida, la conexión del cable coaxial que va de la antena externa al receptor GPS de doble frecuencia. Este cable para fines de pruebas de la señal no es tan largo como el definitivo (de 2 a 5m de longitud), por lo que el equipo y la antena no deberán estar demasiado lejos para alcanzar los extremos mencionados (Figura IV-42).

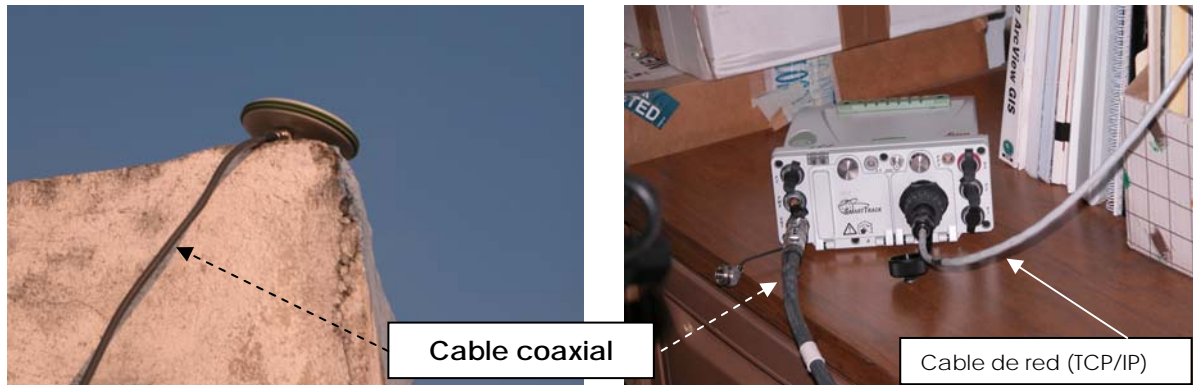


Figura IV-42. Cable coaxial de la antena externa. Estación de Referencia GPS GRFS. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Al efectuar las pruebas de transmisión y generación de datos de posición correspondientes, es necesario llevar consigo un ruteador, *switch* de puertos Ethernet o *hub* como se le conoce a este tipo de equipos para conectar el cable de red a Intranet/Internet. Esta conexión es determinante para conocer si existe comunicación entre el software y el equipo GPS, quien envía los datos crudos o los datos en formato RINEX vía red hacia el software de administración (Figuras IV-43 y IV-44).



Figura IV-43. Dispositivos necesarios para llevar a cabo las pruebas de comunicación en sitio. Estación de Referencia OCPBC. Mexicali, Baja California.

La parte final de la realización de pruebas in situ del establecimiento de una Estación de Referencia perteneciente a la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua es la generación de datos de posición a cada segundo mediante formato propio de la marca del receptor (datos crudos) y formato de intercambio (RINEX).

El equipo se deja a buen resguardo en instalaciones donde hay un control de acceso desde las entradas a las mismas (vigilancia) de manera tal que el equipo, lejos de ser sustraído por personas ajenas, lo que se protege en este caso es que no vaya a ser desconectado por personas que por curiosidad se acerquen a manipularlo sin sentido.

El registro continuo de datos mínimo que planteamos como prueba aceptable fue de 24 horas. Quizás deberían ser más de 24 horas, pero el tiempo que tenemos para realizar la visita es muy reducido en la comisión oficial encomendada.

En la siguiente Figura IV-44 se muestra un ejemplo de archivo RINEX con intervalo de registro a cada segundo durante 24 horas de la Estación de Referencia OCRB (Organismo de Cuenca Río Bravo) en Monterrey, Nuevo León, el 31 de octubre de 2007.

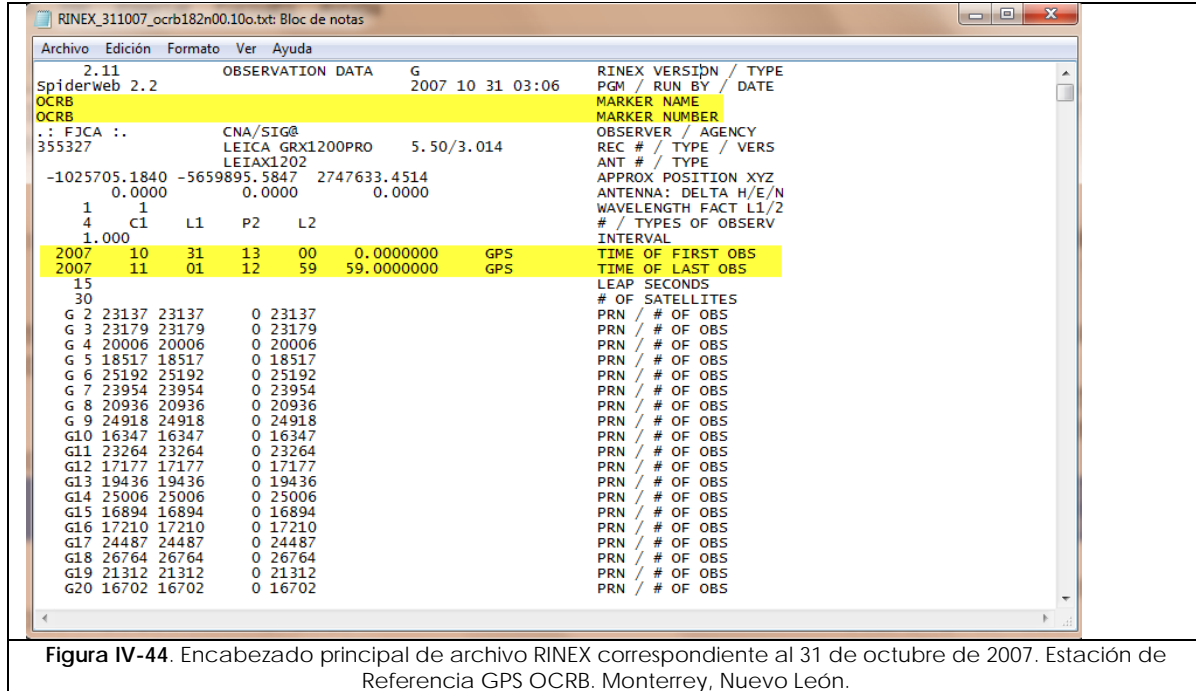


Figura IV-44. Encabezado principal de archivo RINEX correspondiente al 31 de octubre de 2007. Estación de Referencia GPS OCRB. Monterrey, Nuevo León.

De igual forma, se observa la intensidad de la señal en el momento de la instalación provisional, durante y después para detectar cambios significativos de pérdida o no de la señal. En caso de encontrar demasiadas interrupciones, se busca ubicar de mejor forma el sitio de observación.

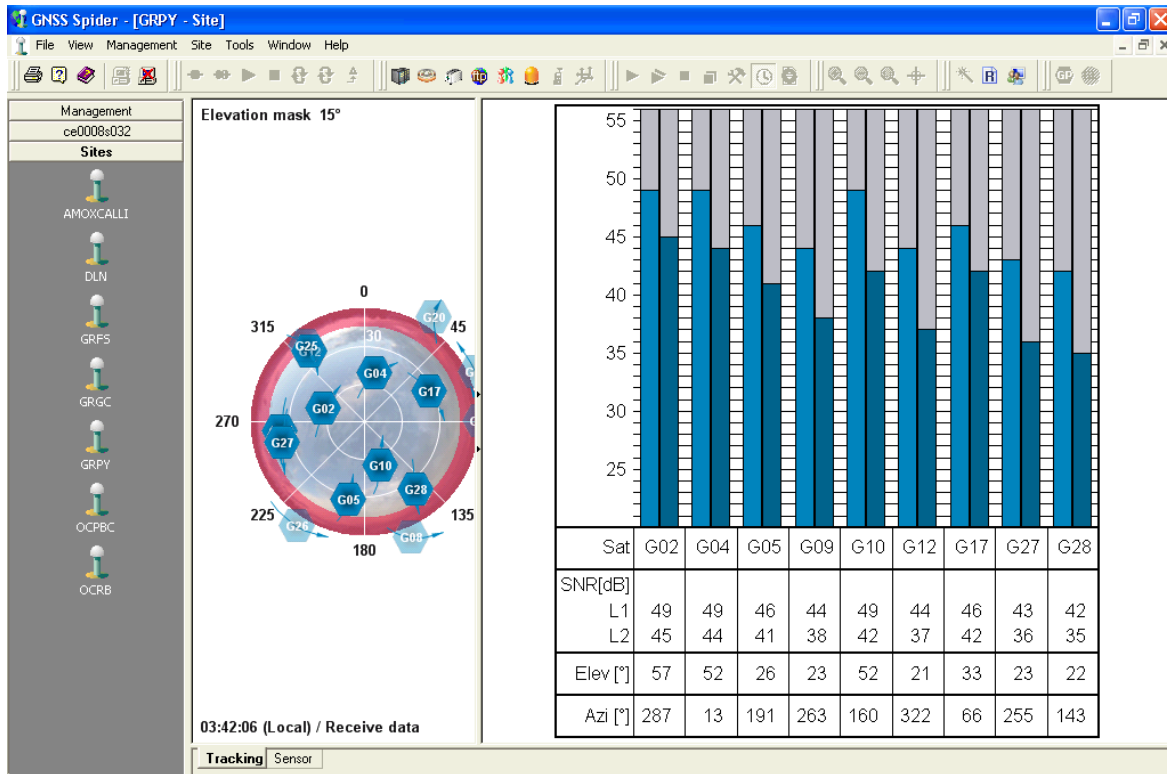


Figura IV-45. Pantalla de registro en tiempo real de la señal al momento de la instalación provisional. Estación de Referencia GPS GRPY. Mérida, Yucatán.

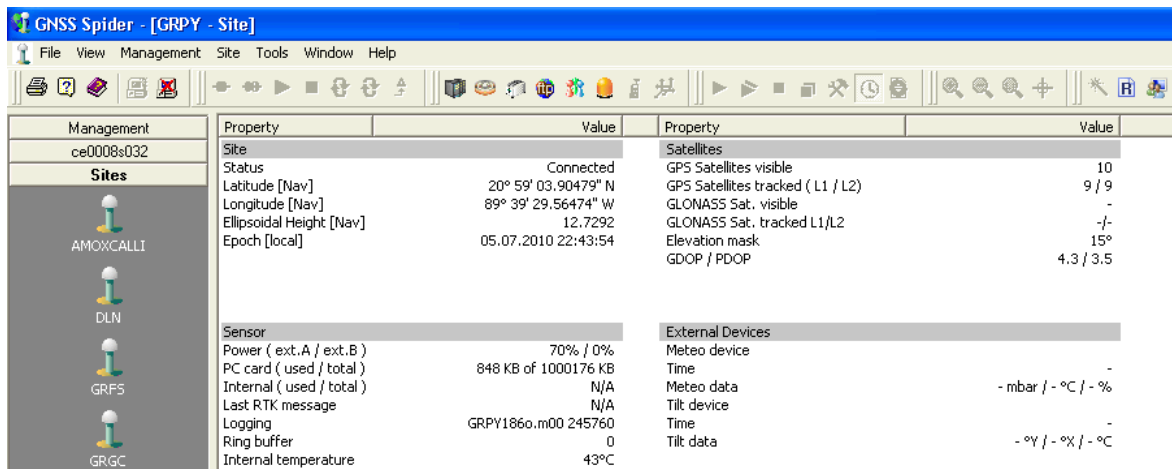


Figura IV-46. Parámetros registrados en el software de administración de Estaciones de Referencia GPS con condiciones reportadas por el equipo GRPY. Mérida, Yucatán.

Como se podrá apreciar, el monitoreo de la señal y el registro de los datos es importante al momento de establecer el sitio que será la marca permanente de la Estación de Referencia GPS. El cuidado de escoger el sitio, el cumplimiento con las condiciones mínimas necesarias y el óptimo desempeño del equipo al instante de efectuar las observaciones son determinantes porque marcan la pauta de lo que

será el funcionamiento ininterrumpido de esta Estación Fija a partir de la conexión definitiva en el lugar seleccionado para ello.

CAPÍTULO V.- PUESTA EN MARCHA DE LA RED GEODÉSICA.

Al instalar cada una de las 7 Estaciones de Referencia GPS que conforman la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua se inicia la operación y la producción en serie de los datos de posición geográfica disponibles para nuestros usuarios de equipos GPS diferenciales en los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales en su ámbito de competencia y alcance.

V.1. Estación de Referencia GPS GRPY.

La Estación de Referencia GRPY como se ha mencionado fue la primer Estación en localizarse y ponerse en funcionamiento. Por las necesidades propias de las áreas técnico-operativas, su registro es de 1 segundo de intervalo, con una máscara de elevación de 15° sobre la horizontal. Las coordenadas están definidas en el Sistema Geocéntrico de Referencia WGS84 y son las siguientes:

$\Phi = 20^{\circ} 59' 03.92126''$ N

$\lambda = 89^{\circ} 39' 29.57874''$ W

HAE= 12.0623m.

V.1.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL EQUIPO.

En cada una de las 7 Estaciones de Referencia GPS, el receptor GPS utilizado es un receptor geodésico de doble frecuencia marca *Leica Geosystems*, modelo GRX1200pro, con la característica principal de presentar un puerto Ethernet para conectarlo a Internet/Intranet vía un cable por protocolo TCP/IP, es decir, que se le asigna una dirección IP y un puerto como si se tratara de un equipo de cómputo para conectarse a la red para la publicación de datos y su administración remota.

Nombre de la Estación (Lugar)	GERENCIA REGIONAL PENÍNSULA DE YUCATÁN. Mérida, Yucatán
Identificador de 4-Caracteres	GRPY
País	México
Reportado por	Francisco Castillo
Marca instalada por	CNA/SIGA/OCPY
Fecha de instalación	20 de abril de 2005
Latitud	20° 59' 03.92126" N
Longitud	89° 39' 29.57874" W
Altura (HAE)	12.0623m.
Marca del equipo	Leica Geosystems GRX1200pro
Declinación Magnética	0°41' E (El Norte Magnético está al Este del Norte Verdadero)
Fuente del dato de Declinación	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Geophysical Data Center (NGDC). World Magnetic Model.
Carta topográfica	Carta Topográfica 1:250,000, MÉRIDA, F16-10
Otros Mapas	Carta Topográfica 1:50,000, MÉRIDA, F16C52
Propietario del Sitio	Gobierno Federal/Comisión Nacional del Agua
Localización	Edificio sede del Organismo de Cuenca Península de Yucatán. Cita en Calle 59-B No. 238 x Av. Zamná C.P. 97230 Mérida, Yucatán, México. Teléfono (+52) (999)945-07-36. Mástil de la antena externa en azotea, sobre prolongación de Castillo de concreto a 1.80m sobre el nivel de la azotea.
Marca principal (materiales)	Material Mástil de PVC con cubierta galvanizada y concreto.
Geología	Macizo de calizas y cárstico.
Comentarios	El sitio (antena externa) se encuentra en zona urbana, en la Ciudad de Mérida, Yucatán, en la azotea del edificio sede del Organismo de Cuenca Península de Yucatán. El receptor GPS se encuentra en el primer nivel del edificio, en la Jefatura de Departamento del Sistema de Información Geográfico del Agua.
Hoteles cercanos	En el primer cuadro de la ciudad se encuentran distintos hoteles a menos de 10 minutos de distancia (zona hotelera de Paseo Montejo y Centro Histórico).

Sus parámetros principales de comunicación son los siguientes, obtenidos a partir del software de administración:

Site name	Site Code	Sensor	Manufacturer	Receiver Type	Serial Number	Firmware Version	Connect Sensor Via	Comm Settings	Streaming Data Rate
OCRB	OCRB	System 12.00	Leica Geosystems	GRX12.00 Pro	355327	5.5	TCP/IP	172.29.12.166:5107	15
OCPBC	OCPB	System 12.00	Leica Geosystems	GRX12.00 Pro	355310	5.62	TCP/IP	172.29.111.250:5108	15
GRPY	GRPY	System 12.00	Leica Geosystems	GRX12.00 Pro	452725	7.53	TCP/IP	172.29.4.10:5100	15
GRGC	GRGC	System 12.00	Leica Geosystems	GRX12.00 Pro	456885	7.53	TCP/IP	172.29.17.227:5103	15
GRFS	GRFS	System 12.00	Leica Geosystems	GRX12.00 Pro	456880	7.53	TCP/IP	172.29.3.9:5104	15
DLN	DLN	System 12.00	Leica Geosystems	GRX12.00 Pro	355324	5.6	TCP/IP	172.29.33.6:5105	15
AMOXCALLI	AMOX	System 12.00	Leica Geosystems	GRX12.00 Pro	452731	7.53	TCP/IP	172.29.72.250:5101	15



V.2. Estación de Referencia GPS GRFS.

La Estación de Referencia GRFS se ubicó en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, su registro es de 1 segundo de intervalo, con una máscara de elevación de 15° sobre la horizontal. Las coordenadas están definidas en el Sistema Geocéntrico de Referencia WGS84 y son las siguientes:

$\Phi = 16^{\circ} 45' 48.40740''$ N

$\Lambda = 93^{\circ} 08' 53.16451''$ W

HAE= 579.1965m

V.2.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL EQUIPO.

Nombre de la Estación (Lugar)	GERENCIA REGIONAL FRONTERA SUR. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Identificador de 4-Caracteres	GRFS
País	México
Reportado por	Francisco Castillo
Marca instalada por	CNA/SIGA/OCFS
Fecha de instalación	30 de noviembre de 2005
Latitud	16° 45' 48.40740" N
Longitud	93° 08' 53.16451" W
Altura (HAE)	579.1965m
Marca del equipo	Leica Geosystems GRX1200pro
Declinación Magnética	3° 13' E (El Norte Magnético está al Este del Norte Verdadero)
Fuente del dato de Declinación	National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center. World Magnetic Model.
Carta topográfica	Carta Topográfica 1:250,000, TUXTLA GUTIÉRREZ, E15-11
Otros Mapas	Carta Topográfica 1:50,000, CHICOASÉN E15C59, TUXTLA GUTIÉRREZ E15C69
Propietario del Sitio	Gobierno Federal/Comisión Nacional del Agua
Localización	Edificio sede del Organismo de Cuenca Frontera Sur. Km. 1.5 Carretera Tuxtla-Chicoasén. Fracc. Los Laguitos, C.P. 29029 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas Tel. +52(961) 602 1196 y 602 1185 Mástil de la antena externa anclada en azotea con estructura de acero, sobre Instalaciones del Laboratorio de Calidad del Agua. Estructura sismoresistente. 1.60m de altura a partir de la viga de acero.
Marca principal (materiales)	Material del Mástil de PVC con cubierta galvanizada y concreto. Recubrimiento de polímero lanzado de bajo coeficiente de dilatación.
Geología	Sobre calizas y limonita-arenisca.
Comentarios	El sitio (antena externa) se encuentra en zona urbana, en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en la azotea del edificio del Laboratorio de Calidad del Agua.
Hoteles cercanos:	En el primer cuadro de la ciudad se encuentran distintos hoteles a menos de 15 minutos de distancia (zona hotelera del Centro Histórico y sobre el Blvd. Belisario Domínguez).

Sus parámetros principales de comunicación son los siguientes:

Site name	Site Code	Sensor	Manufacturer	Receiver Type	Serial Number	Firmware Version	Connect Sensor Via	Comm Settings	Streaming Data Rate
OCRB	OCRB	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	355327	5.5	TCP/IP	172.29.12.166:5107	15
OCPCB	OCPB	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	355310	5.62	TCP/IP	172.29.111.250:5108	15
GRPY	GRPY	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	452725	7.53	TCP/IP	172.29.4.10:5100	15
GRGC	GRGC	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	456885	7.53	TCP/IP	172.29.17.227:5103	15
GRFS	GRFS	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	456880	7.53	TCP/IP	172.29.3.9:5104	15
DLN	DLN	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	355324	5.6	TCP/IP	172.29.33.6:5105	15
AMOXCALLI	AMOX	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	452731	7.53	TCP/IP	172.29.72.250:5101	15



Figura V-2. Estación de Referencia GRFS. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

V.3. Estación de Referencia GPS GRGC.

La Estación de Referencia GRGC se ubicó en Xalapa de Enríquez, Veracruz, su registro es de 1 segundo de intervalo, con una máscara de elevación de 15° sobre la horizontal. Las coordenadas están definidas en el Sistema Geocéntrico de Referencia WGS84 y son las siguientes:

$\Phi = 19^{\circ} 31' 46.99364''$ N

$\lambda = 96^{\circ} 55' 29.01064''$ W

HAE= 1429.6585m

V.3.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL EQUIPO

Nombre de la Estación (Lugar)	GERENCIA REGIONAL GOLFO CENTRO. Xalapa, Veracruz
Identificador de 4-Caracteres	GRGC
País	México
Reportado por	Francisco Castillo
Marca instalada por	CNA/SIGA/OCGC
Fecha de instalación	1 de diciembre de 2005
Latitud	19° 31' 46.99364" N
Longitud	96° 55' 29.01064" W
Altura (HAE)	1429.6585m
Marca del equipo	Leica Geosystems GRX1200pro
Declinación Magnética	4° 34'E (El Norte Magnético está al Este del Norte Verdadero)
Fuente del dato de Declinación	National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center. World Magnetic Model.
Carta topográfica	Carta Topográfica 1:250,000, VERACRUZ, E14-3
Otros Mapas	Carta Topográfica 1:50,000, JALAPA, E14B27
Propietario del Sitio	Gobierno Federal/Comisión Nacional del Agua
Localización	Edificio sede del Organismo de Cuenca golfo Centro. Clavijero No. 19 Col. Centro Xalapa ,Veracruz C.P. 91000 Mástil de la antena externa anclada en azotea en prolongación de castillo del edificio. 6.50m de altura sobre el nivel de la azotea.
Marca principal (materiales)	Material del monumento: cemento colado con varilla de acero de 0.5".
Geología	Sobre ígneas extrusivas (toba básica).
Comentarios	El sitio (antena externa) se encuentra en zona urbana, en la Ciudad de Xalapa de Enríquez, Veracruz, en la azotea del edificio sede del Organismo, con tensores de cable de acero por los vientos fuertes que soplan del Golfo.
Hoteles cercanos:	En el primer cuadro de la ciudad se encuentran distintos hoteles a menos de 5 minutos de distancia (zona hotelera del Centro Histórico) y sobre la Avenida Clavijero.

Sus parámetros principales de comunicación son los siguientes:

Site name	Site Code	Sensor	Manufacturer	Receiver Type	Serial Number	Firmware Version	Connect Sensor Via	Comm Settings	Streaming Data Rate
OCRB	OCRB	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	355327	5.5	TCP/IP	172.29.12.166:5107	15
OCPCB	OCPCB	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	355310	5.62	TCP/IP	172.29.111.250:5108	15
GRPY	GRPY	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	452725	7.53	TCP/IP	172.29.4.10:5100	15
GRGC	GRGC	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	456885	7.53	TCP/IP	172.29.17.227:5103	15
GRFS	GRFS	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	456880	7.53	TCP/IP	172.29.3.9:5104	15
DLN	DLN	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	355324	5.6	TCP/IP	172.29.33.6:5105	15
AMOXCALLI	AMOX	System 12 00	Leica Geosystems	GRX12 00 Pro	452731	7.53	TCP/IP	172.29.72.250:5101	15



Figura V-3. Estación de Referencia GRGC. Xalapa de Enríquez, Veracruz.

V.4. Estación de Referencia GPS AMOXCALLI.

La Estación de Referencia AMOXCALLI se ubicó en la Capital de la República, en el Distrito Federal, su registro es de 1 segundo de intervalo, con una máscara de elevación de 15° sobre la horizontal. Las coordenadas están definidas en el Sistema Geocéntrico de Referencia WGS84 y son las siguientes:

$\Phi = 19^{\circ} 20' 15.08558''$ N

$\Lambda = 99^{\circ} 11' 21.54844''$ W

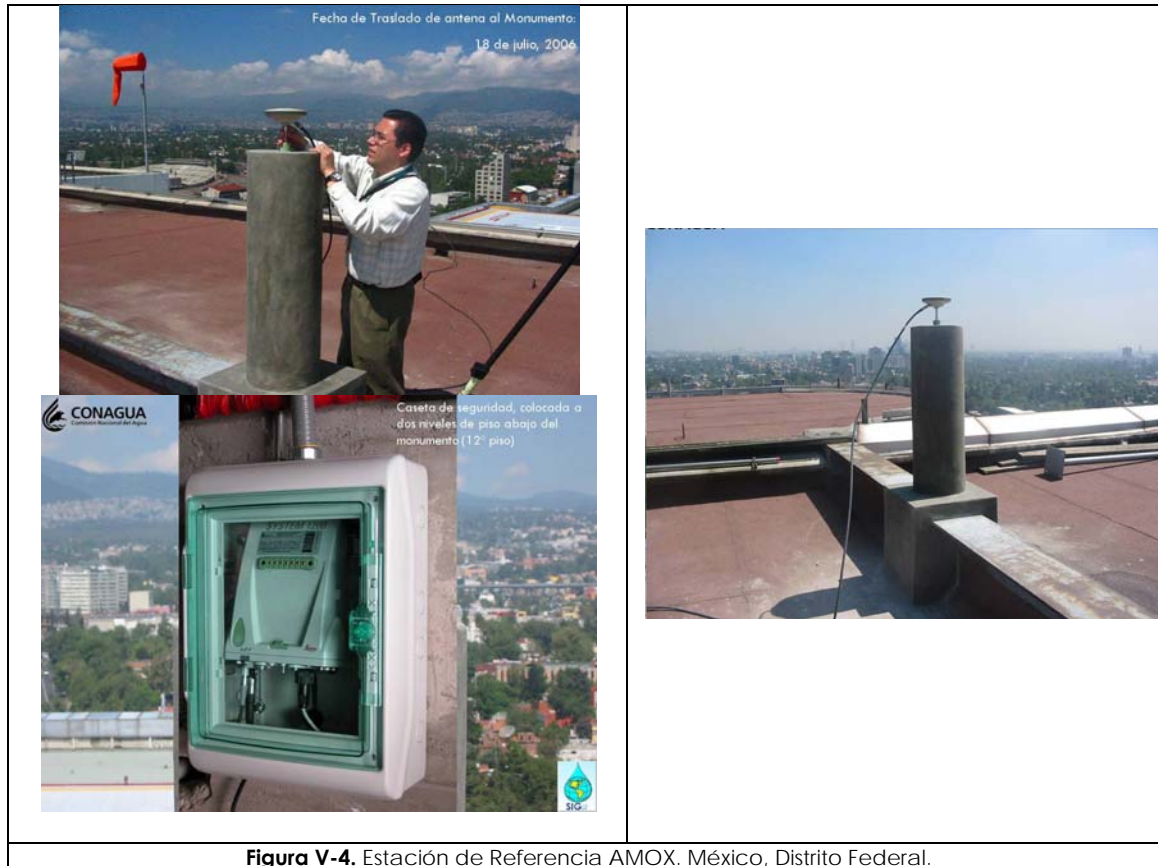
HAE= 2341.1458m

V.4.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL EQUIPO.

Nombre de la Estación (Lugar)	AMOXCALLI, Distrito Federal
Identificador de 4-Caracteres	AMOX
País	México
Reportado por	Francisco Castillo
Marca instalada por	CNA/SIGA
Fecha de instalación	18 de julio, 2006
Latitud	19° 20' 15.08558" N
Longitud	99° 11' 21.54844" W
Altura (HAE)	2341.1458m
Marca del equipo	Leica Geosystems GRX1200pro
Declinación Magnética	5° 30'E (El Norte Magnético está al Este del Norte Verdadero)
Fuente del dato de Declinación	National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center. World Magnetic Model.
Carta topográfica	Carta Topográfica 1:250,000, CIUDAD DE MÉXICO, E14-2
Otros Mapas	Carta Topográfica 1:50,000, CIUDAD DE MÉXICO, E14A39
Propietario del Sitio	Gobierno Federal/Comisión Nacional del Agua
Localización	Edificio sede de las Oficinas Centrales de la Comisión Nacional del Agua. Insurgentes Sur 2416, piso 12 (IDF, escaleras), Copilco El Bajo, Coyoacán, México, DF. C.P. 04340. Tel. +52(55)51744000 ext. 4445. Monumento de concreto y varilla de 1.80 m sobre el nivel del primer nivel de la azotea.
Marca principal (materiales)	Material del monumento: cemento colado con varilla de acero de 0.5", sobre zapata construida con armado básico con el mismo grosor de varilla. Esta zapata se armó sobre la última viga de acero del edificio para lograr más estabilidad.
Geología	Sobre ígneas extrusivas (basalto).
Comentarios	El sitio (antena externa) se encuentra en zona urbana, en la Ciudad de México, a 14 pisos sobre el nivel de la acera.
Hoteles cercanos:	En el primer cuadro de la ciudad se encuentran distintos hoteles a menos de 15 minutos de distancia (corredor Insurgentes Sur y Tlalpan).

Sus parámetros principales de comunicación son los siguientes:

Site name	Site Code	Sensor	Manufacturer	Receiver Type	Serial Number	Firmware Version	Connect Sensor Via	Comm Settings	Streaming Data Rate
OCRB	OCRB	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355327	5.5	TCP/IP	172.29.12.166:5107	15
OCPCB	OCPCB	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355310	5.62	TCP/IP	172.29.111.250:5108	15
GRPY	GRPY	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	452725	7.53	TCP/IP	172.29.4.10:5100	15
GRGC	GRGC	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	456886	7.53	TCP/IP	172.29.17.227:5103	15
GRFS	GRFS	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	456880	7.53	TCP/IP	172.29.3.9:5104	15
DLN	DLN	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355324	5.6	TCP/IP	172.29.33.6:5105	15
AMOXCALLI AMOX		System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	452731	7.53	TCP/IP	172.29.72.250:5101	15



V.5. Estación de Referencia GPS OCRB.

Como se ha mencionado, la instalación y puesta en marcha de estas 7 Estaciones de Referencia que forman parte de la Red Geodésica GPS de la Comisión Nacional del Agua, hasta el momento de editar este documento, se dividió en dos fases. Con la instalación de la Estación GPS AMOX se dio por concluida la primer etapa.

La segunda etapa de instalación y puesta en marcha constó de la adquisición e inicio de operaciones de 3 Estaciones GPS más. La primera en iniciar actividades fue la ubicada en Monterrey, Nuevo León y denominada OCRB (Organismo de Cuenca Río Bravo).

Su registro es de 1 segundo de intervalo, con una máscara de elevación de 15° sobre la horizontal. Las coordenadas están definidas en el Sistema Geocéntrico de Referencia WGS84 y son las siguientes:

$\varphi = 25^{\circ} 40' 57.62051''$ N

$\lambda = 100^{\circ} 16' 18.66625''$ W

HAE= 487.8190m

V.5.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL EQUIPO.

Nombre de la Estación (Lugar)	ORGANISMO DE CUENCA RÍO BRAVO, Monterrey, Nuevo León
Identificador de 4-Caracteres	OCRB
País	México
Reportado por	Francisco Castillo
Marca instalada por	CNA/SIGA/OCRB
Fecha de instalación	14 de noviembre, 2007
Latitud	25° 40' 57.62051" N
Longitud	100° 16' 18.66625" W
Altura (HAE)	487.8190m
Marca del equipo	Leica Geosystems GRX1200pro
Declinación Magnética	5° 56'E (El Norte Magnético está al Este del Norte Verdadero)
Fuente del dato de Declinación	National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center. World Magnetic Model.
Carta topográfica	Carta Topográfica 1:250,000, MONTERREY, G14-7
Otros Mapas	Carta Topográfica 1:50,000, MONTERREY, G14C26
Propietario del Sitio	Gobierno Federal/Comisión Nacional del Agua
Localización	Instalaciones del Organismo de Cuenca Río Bravo. Av. Constitución 4103 Oriente, col. Fierro, C.P. 64590, Monterrey, Nuevo León. Tel. +52(81)83551205 Monumento de concreto y varilla de 1.80 m sobre el nivel de la azotea del Laboratorio de Calidad del Agua del Organismo.
Marca principal (materiales)	Material del monumento: cemento colado con varilla de acero de 0.5", sobre zapata construida con armado básico con el mismo grosor de varilla. Esta zapata se armó una viga de acero del edificio para lograr más estabilidad.
Geología	Sobre rocas de tipo sedimentario y depósitos aluviales en su mayoría.
Comentarios	El sitio (antena externa) se encuentra en zona urbana, en la Ciudad de Monterrey, NL., a un piso a partir del nivel de la acera.
Hoteles cercanos:	En el primer cuadro de la ciudad se encuentran distintos hoteles a menos de 15 minutos de distancia (centro histórico y zona hotelera de Av. Constitución y Av. Fundidora).

Sus parámetros principales de comunicación son los siguientes:

Site name	Site Code	Sensor	Manufacturer	Receiver Type	Serial Number	Firmware Version	Connect Sensor Via	Comm Settings	Streaming Data Rate
OCRB	OCRB	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355327	5.5	TCP/IP	172.29.12.166:5107	15
OCPCB	OCPCB	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355310	5.62	TCP/IP	172.29.111.250:5108	15
GRPY	GRPY	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	452725	7.53	TCP/IP	172.29.4.10:5100	15
GRGC	GRGC	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	456886	7.53	TCP/IP	172.29.17.227:5103	15
GRFS	GRFS	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	456880	7.53	TCP/IP	172.29.3.9:5104	15
DLN	DLN	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355324	5.6	TCP/IP	172.29.33.6:5105	15
AMOXCALLI	AMOX	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	452731	7.53	TCP/IP	172.29.72.250:5101	15



Figura V-5. Estación de Referencia OCRB. Monterrey, Nuevo León.

V.6. Estación de Referencia GPS OCPBC.

La siguiente Estación de Referencia instalada después de Río Bravo fue la denominada OCPBC (Organismo de Cuenca Península de Baja California) en Mexicali, BC. a escasos 137m de la línea fronteriza con los USA.

Su registro es de 1 segundo de intervalo, con una máscara de elevación de 15° sobre la horizontal. Las coordenadas están definidas en el Sistema Geocéntrico de Referencia WGS84 y son las siguientes:

$\Phi = 32^{\circ} 39' 59.72423''$ N

$\lambda = 115^{\circ} 27' 28.51239''$ W

HAE = -19.8837m

V.6.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL EQUIPO.

Nombre de la Estación (Lugar)	ORGANISMO DE CUENCA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, Mexicali, Baja California
Identificador de 4-Caracteres	OCPBC
País	México
Reportado por	Francisco Castillo
Marca instalada por	CNA/SIGA/OCPBC
Fecha de instalación	15 de noviembre, 2007
Latitud	$32^{\circ} 39' 59.72423''$ N
Longitud	$115^{\circ} 27' 28.51239''$ W
Altura (HAE)	-19.8837m
Marca del equipo	Leica Geosystems GRX1200pro
Declinación Magnética	$11^{\circ} 49' E$ (El Norte Magnético está al Este del Norte Verdadero)
Fuente del dato de Declinación	National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center. World Magnetic Model.
Carta topográfica	Carta Topográfica 1:250,000, MEXICALI, I11-12
Otros Mapas	Carta Topográfica 1:50,000, MEXICALI, I11D65
Propietario del Sitio	Gobierno Federal/Comisión Nacional del Agua
Localización	Edificio sede del Organismo de Cuenca Península de Baja California. Av. Reforma y Calle L S/N, Col. Nueva, C.P. 21100, Mexicali, Baja California Tel.+52 (686) 551-6400 Monumento de concreto y varilla, prolongación de castillo del cubo de las escaleras a 0.60 m sobre el techo del cubo.
Marca principal (materiales)	Material del monumento: cemento colado con varilla de acero de 0.5". Este castillo pertenece al edificio para lograr una mayor estabilidad.
Geología	Predominan las rocas de tipo ígneo, andesita, basalto. Cabe mencionar que Mexicali pertenece a la Península de Baja California y tiembla debido a que el proceso de separación de la península respecto del macizo continental es aún activo a lo largo del sistema de fallas conocidas como San Andrés-Golfo de California. Se sabe que la península de Baja California es parte de la Placa del Pacífico mientras que el resto del país (México) está ubicado en la Placa de Norteamérica. Diversos estudios han demostrado que el movimiento relativo entre estas dos placas es de aproximadamente 6 centímetros por año.
Comentarios	El sitio (antena externa) se encuentra en zona urbana, en la Ciudad de Mexicali, BC., a tres pisos a partir del nivel de la acera.
Hoteles cercanos:	En el primer cuadro de la ciudad se encuentran distintos hoteles a menos de 10 minutos de recorrido (Zona hotelera de Calzada Justo Sierra en la Colonia Los Pinos).

Sus parámetros principales de comunicación son los siguientes:

Site name	Site Code	Sensor	Manufacturer	Receiver Type	Serial Number	Firmware Version	Connect Sensor Via	Comm Settings	Streaming Data Rate
OCRB	OCRB	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355327	5.5	TCP/IP	172.29.12.166:5107	15
OCPBC	OCPB	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355310	5.62	TCP/IP	172.29.111.250:5108	15
GRPY	GRPY	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	452725	7.53	TCP/IP	172.29.4.10:5100	15
GRGC	GRGC	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	456885	7.53	TCP/IP	172.29.17.227:5103	15
GRFS	GRFS	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	456880	7.53	TCP/IP	172.29.3.9:5104	15
DLN	DLN	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355324	5.6	TCP/IP	172.29.33.6:5105	15
AMOXCALLI	AMOX	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	452731	7.53	TCP/IP	172.29.72.250:5101	15



Figura V-6. Estación de Referencia OCPBC. Mexicali, Baja California.

V.7. Estación de Referencia GPS DLN.

La séptima Estación de Referencia instalada después de Baja California en Mexicali, fue la denominada DLN (Dirección Local Nayarit) en Tepic, Nay. Esta es la primer Estación ubicada en una Dirección Local. Se decidió instalar para cubrir la parte del Centro-Occidente del país.

Su registro es de 1 segundo de intervalo, con una máscara de elevación de 15° sobre la horizontal. Las coordenadas están definidas en el Sistema Geocéntrico de Referencia WGS84 y son las siguientes:

$\Phi = 21^{\circ} 29' 46.58921''$ N

$\Lambda = 104^{\circ} 53' 05.99700''$ W

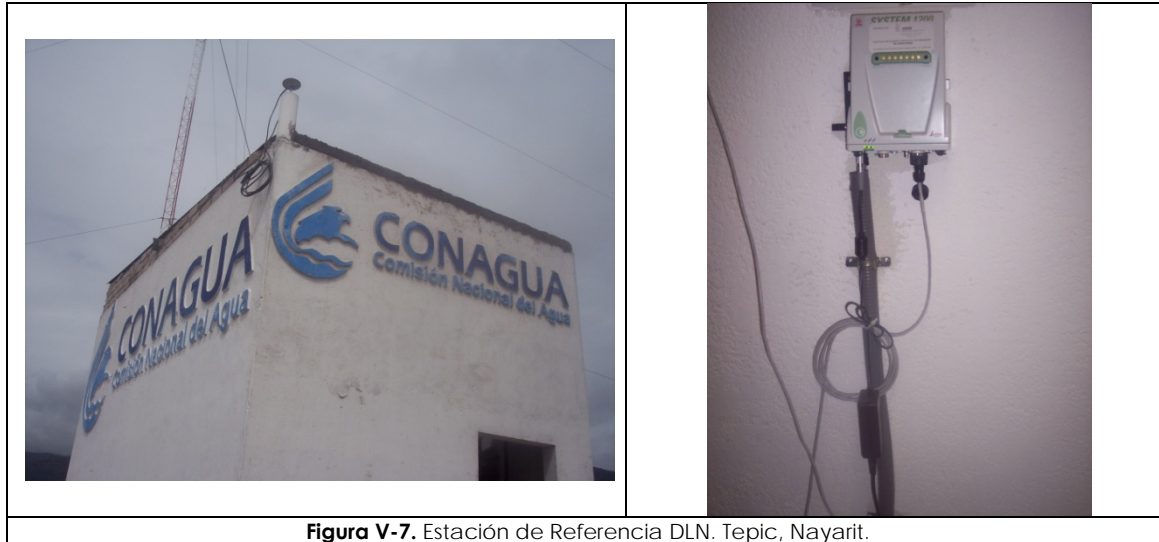
HAE = 915.5461m

V.7.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL EQUIPO.

Nombre de la Estación (Lugar)	DIRECCIÓN LOCAL NAYARIT, TEPIC, NAYARIT.
Identificador de 4-Caracteres	DLN
País	México
Reportado por	Francisco Castillo
Marca instalada por	CNA/SIGA/DLN
Fecha de instalación	16 de noviembre, 2007
Latitud	21° 29' 46.58921" N
Longitud	104° 53' 05.99700" W
Altura (HAE)	915.5461m
Marca del equipo	Leica Geosystems GRX1200pro
Declinación Magnética	07° 32'E (El Norte Magnético está al Este del Norte Verdadero)
Fuente del dato de Declinación	National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center. World Magnetic Model.
Carta topográfica	Carta Topográfica 1:250,000, TEPIC, F13-8
Otros Mapas	Carta Topográfica 1:50,000, TEPIC, F13D21 y JALISCO, F13D31
Propietario del Sitio	Gobierno Federal/Comisión Nacional del Agua
Localización	Edificio sede de la Dirección Local Nayarit. Insurgentes # 1050 Ote. Piso 2 Col. Menchaca Tepic, Nayarit. Teléfono: +52(311)2142505 Ext. 1140 Monumento de concreto y varilla, prolongación de castillo del cubo de las escaleras a 0.60 m sobre el techo del cubo.
Marca principal (materiales)	Material del monumento: cemento colado con varilla de acero de 0.5". Este castillo pertenece al edificio para lograr una mayor estabilidad.
Geología	Predominan las rocas de tipo ígneo extrusivas (pumicitas). Cabe mencionar que Tepic se encuentra en el Eje Neovolcánico y es zona sísmica. En sus alrededores también se ubican algunos volcanes activos, tal es el caso del Volcán Ceboruco y el Sangangüey.
Comentarios	El sitio (antena externa) se encuentra en zona urbana, en la Ciudad de Tepic, Nayarit, a tres pisos a partir del nivel de la acera.
Hoteles cercanos:	En el primer cuadro de la ciudad se encuentran distintos hoteles a menos de 10 minutos de recorrido (Zona del centro histórico y la Colonia Menchaca).

Sus parámetros principales de comunicación son los siguientes:

Site name	Site Code	Sensor	Manufacturer	Receiver Type	Serial Number	Firmware Version	Connect Sensor Via	Comm Settings	Streaming Data Rate
OCRB	OCRB	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355327	5.5	TCP/IP	172.29.12.166:5107	15
OCPBC	OCPB	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355310	5.62	TCP/IP	172.29.111.250:5108	15
GRPY	GRPY	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	452725	7.53	TCP/IP	172.29.4.10:5100	15
GRGC	GRGC	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	456885	7.53	TCP/IP	172.29.17.227:5103	15
GRFS	GRFS	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	456880	7.53	TCP/IP	172.29.3.9:5104	15
DLN	DLN	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	355324	5.6	TCP/IP	172.29.33.6:5105	15
AMOXCALLI	AMOX	System 1200	Leica Geosystems	GRX1200 Pro	452731	7.53	TCP/IP	172.29.72.250:5101	15



Como se puede apreciar, esta Red Geodésica se ha construido en base a las necesidades de cubrimiento del territorio, procurando contemplar aquellas regiones en donde las contingencias meteorológicas son más frecuentes; así como también donde es posible lograr la conectividad de los equipos instalados.

Capítulo VI.- HERRAMIENTA DE ADMINISTRACIÓN CENTRALIZADA (Administración Remota).

Cada receptor GPS que integra la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua en las 7 Estaciones de Referencia, recoge las observaciones puntuales en archivos en formato *Leica* y en formato RINEX a cada segundo, en archivos individuales que contienen la información a cada hora de registro. Descargando los archivos coincidentes con las horas de observación de los datos recogidos por nuestro receptor móvil, y utilizando el correspondiente software es posible mejorar la precisión de los datos recogidos efectuando el postprocesamiento de estos. Para comodidad de los usuarios que dispongan de un conexión a Internet también está disponible la misma información mediante una herramienta precargada en el servidor de publicación de datos vía web sin necesidad de tener una licencia exprofeso.

Esta enorme ventaja que presentan los equipos instalados en cada Estación de Referencia GPS se lleva a cabo mediante un software de administración centralizada y permite controlar remotamente las secuencias y parámetros de operación de estas Estaciones Fijas.

VI.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA HERRAMIENTA DE ADMINISTRACIÓN.

La aplicación que permite administrar la Red de Estaciones de Referencia GPS consta del siguiente esquema de funcionamiento.

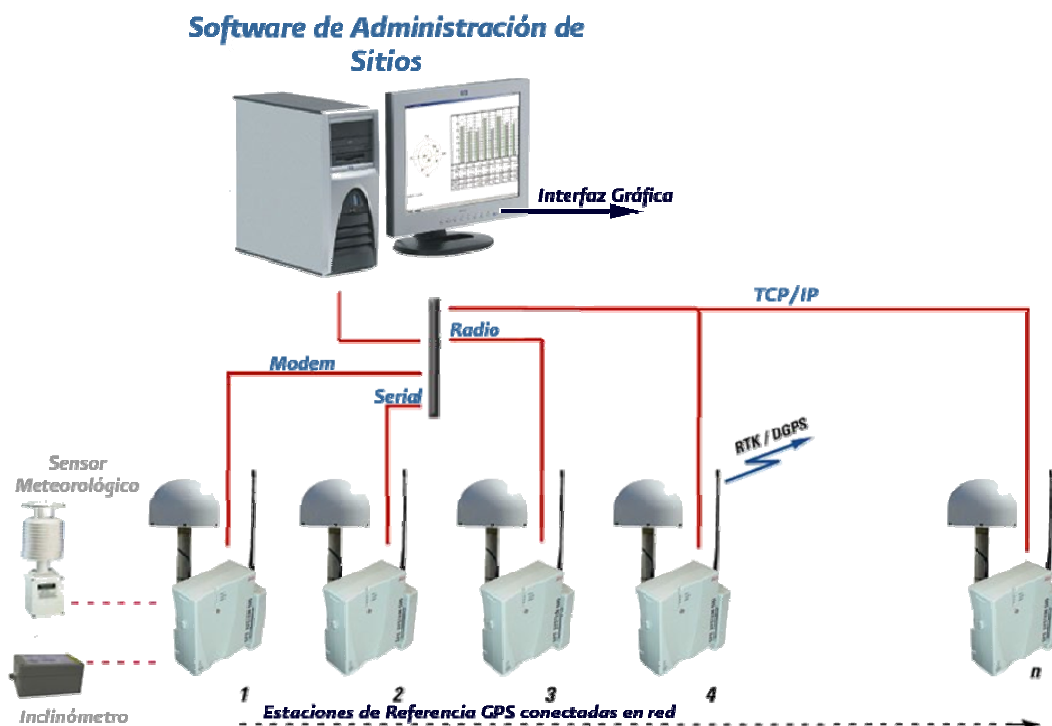


Figura VI.1. Esquema de funcionamiento del software de administración de Estaciones GPS. Modificado de Leica-Geosystems (www.leica-geosystems.com)

En términos generales, el software de administración de sitios GPS se utiliza para:

- Configurar e iniciar cada receptor GPS.
- Monitorear automáticamente los equipos GPS y los trenes de datos.
- Administrar datos Crudos GPS y en formato RINEX.
- Calcular coordenadas de Estación en Tiempo Real para aplicaciones de monitoreo de grandes estructuras (Monitoreo de Presas).
- Procesar correcciones de la Red GPS en tiempo real.
- Generar y distribuir correcciones RTK estándares y de Red en varios formatos³⁸.
- Administrar y monitorear usuarios móviles RTK³⁹, generar bitácoras para contabilizar y facturar los servicios ofrecidos de carga/descarga de datos y procesamiento en línea.

La Conexión al receptor se puede realizar por diferentes tipos de canales de comunicación:

- Puerto serial directo
- Modem: análogo o ISDN
- TCP/IP (Red LAN, Internet, NTRIP)

De igual forma, a través del uso del software de administración, el usuario administrador puede tener:

- Acceso Remoto siempre posible.
- Acceso simultáneo para múltiples usuarios.
- Acceso a configuración vía remota (privilegios de Administrador).
- Mantener los datos actualizados en cualquier momento.

En este mismo sentido, el software proporciona servicios varios, entre los que destaca la notificación de eventos presentados durante la operación:

- Verificación de datos GPS Leica Sistema 500/1200.
- Verificación de todos los trenes de datos GPS entrantes.
- Bitácora de estado y eventos Sistema GPS y Servidor GPS Spider.
- Notificación de saltos en Datos GPS registrados o de trenes de datos.
- Notificación en eventos seleccionables vía e-mail y mensajería de red.

Lo último es de subrayarse porque el sistema emite cualquier alerta que el Administrador designe como tal para que envíe un correo electrónico a una cuenta existente o incluso un mensaje tipo Pop-up a un equipo de cómputo conectado a la red interna de la Comisión Nacional del Agua.

En cuanto al manejo de los datos, estos también son proporcionados en diferentes tipos disponibles:

- *Leica binary* (datos crudos propios de Leica Geosystems)
- RINEX (trenes de datos)
- Hatanaka (formato RINEX compacto)

³⁸ Actualmente no se cuenta con este servicio de correcciones en tiempo real en esta Red Geodésica, pero tanto el software como cada una de las Estaciones están preparadas para brindar el servicio.

³⁹ *ibidem*

De igual forma, la versatilidad del uso de esta herramienta permite la verificación de calidad de la información directamente en línea.

Como una forma de supervisión permanente, se muestra el *status* de los Datos Crudos en línea.

El Acceso a Archivos de Datos se puede obtener mediante:

- Acceso Local en PC
- Vía Intranet (Red Privada Virtual⁴⁰)
- Internet Global, Por protocolo FTP

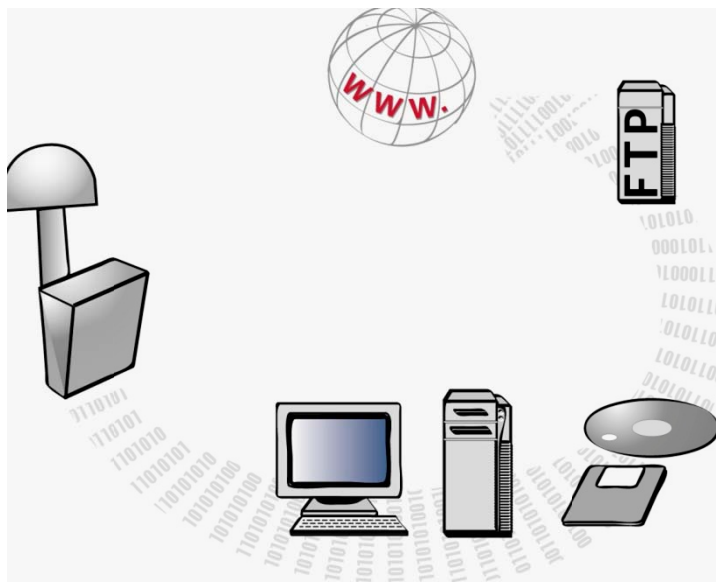


Figura VI.2. Distribución de los datos de posición de la Red de Estaciones de Referencia GPS.

VI.2. CONFIGURACIÓN DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA.

Para llevar a cabo la conexión a cada una de las Estaciones de Referencia GPS instaladas a lo largo y ancho del territorio nacional, es necesario llevar a cabo la preparación en los equipos GPS para la introducción de parámetros necesarios que permitan el establecimiento de comunicación biunívoca entre el software y la Estación correspondiente.

VI.2.1. REQUISITOS PARA LA CONFIGURACIÓN DEL GRX1200 Pro.

A continuación se describe la información, accesorios y componentes necesarios para configurar los puertos de red del receptor *Leica Geosystems* GRX1200 Pro:

- Fuente de poder del GRX1200 Pro

⁴⁰ Servicio proporcionado por los administradores de la Red Nacional de Datos de la Comisión Nacional del Agua, principalmente a usuarios internos y, en ocasiones, a externos.

- Terminal RX1210 o RX1220
- Tarjeta de memoria CF del GRX1200 Pro
- Al menos una dirección IP fija para el Control del Receptor mediante el software de Administración.
- Máscara de subred
- Puerta de enlace de la red
- Un puerto de ruteo, cuidando que no exista colisión o conflicto con otras aplicaciones en la red.



Figura VI.3. Terminal (libreta electrónica) acoplada a la Estación de Referencia GPS y Tarjeta de Memoria tipo Compact Flash

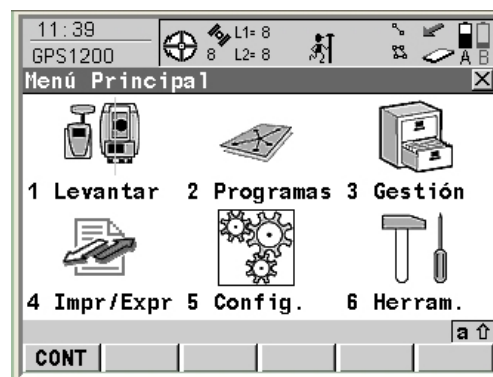
VI.2.2. CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RED.

Para iniciar la configuración de los parámetros del adaptador de red del GRX1200 Pro es necesario contar con los componentes e información de la red solicitados en el inciso anterior.

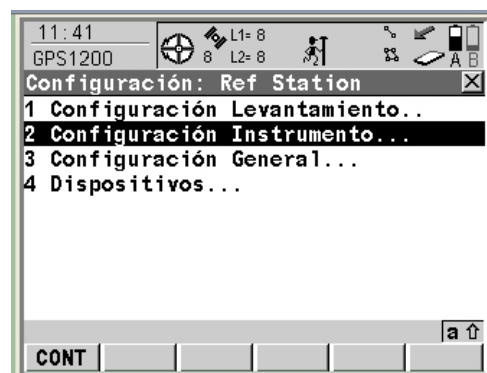
1. Conecte el receptor a la fuente de poder, acople la terminal RX1210 al receptor e inserte la tarjeta *Compact Flash* destinada a operar con el GRX1200Pro. Encienda el receptor.

Configurar los Parámetros IP

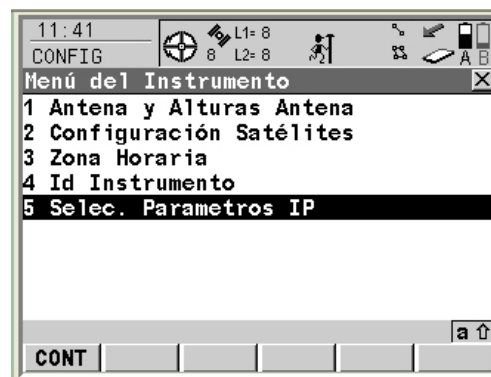
2. Seleccione en forma gráfica o numérica la opción: “5 Configuración”



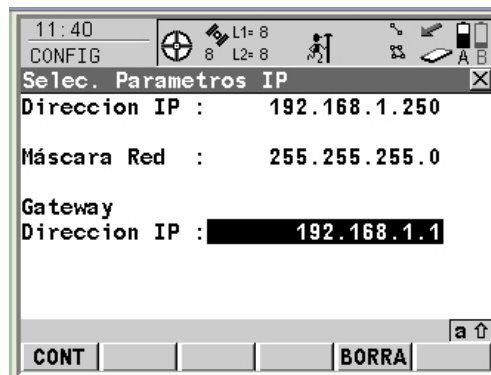
3. Seleccione la opción “2 Configuración del instrumento”



4. Seleccione la opción “5 Seleccionar Parámetros IP”

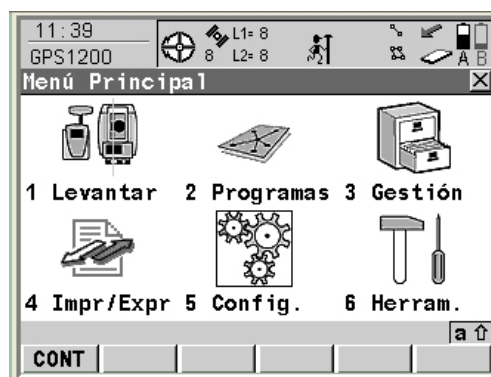


- Ingrese manualmente seleccionando cada campo: "Dirección IP", "Máscara Red", "Gateway Dirección IP". Al terminar oprima **F1 "CONT"** y esto lo regresará al menú principal.



Configuración del Puerto de Red

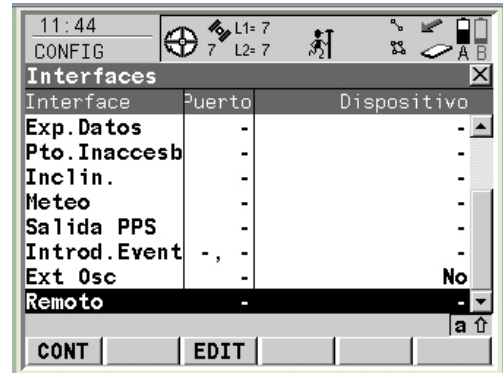
- Seleccione en forma gráfica o numérica la opción: "**5 Configuración**"



- Seleccione la opción "**4 Dispositivos**"



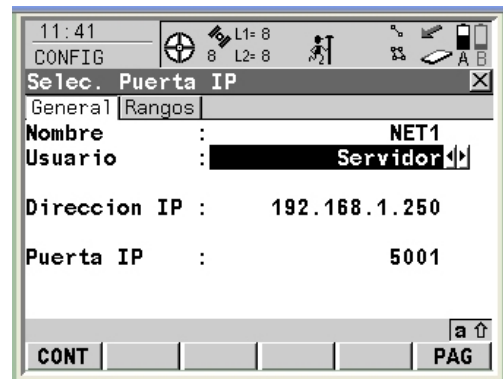
8. Seleccione la opción **“Remoto”** desplazando hacia abajo el cursor a la última línea en pantalla. Posteriormente elija el botón **“EDIT”** gráficamente u oprimiendo **“F3”**



9. Seleccione la opción **“NET1”** Posteriormente elija el botón **“CTRL”** gráficamente u oprimiendo **“F4”**



10. Seleccione el Usuario **“Servidor”** e ingrese manualmente: la **“Direccion IP”** y la **“Puerta IP”** asignadas al GRX1200Pro. Una vez ingresados los valores oprima **“F1”** **“CONT”** hasta regresar al menú principal.



Ahora el receptor está listo para conectarse a la Red y ser controlado por el Servidor Leica GPS Spider

VI.2.3. CONFIGURACIÓN MEDIANTE LA INTERFAZ WEB.

Una de las características principales que hacen único a este tipo de equipos, en comparación con otros existentes en el mercado, que proporcionan versatilidad y desempeño al usuario es la capacidad de conexión a través de una página web por medio de un firmware o microprogramación que se carga previamente vía la tarjeta de memoria externa *CompactFlash*. Simplemente se cargan los directorios correspondientes en una tarjeta vacía en el equipo GPS y al encenderlo detecta automáticamente las rutinas programadas para que el usuario pueda acceder a él en una interfaz gráfica amigable para la administración remota en caso de presentar dificultades con el software de administración centralizada.

The screenshot shows a web browser window with the URL `http://172.29.72.250/config/um/ethernet.asp`. The page features the Leica Geosystems logo and a status bar with navigation links: Home, Status, Configuration, Help, Support, and Logout Admin. Below the navigation bar, the device model `GRX1200 Pro` is displayed. A sidebar on the left lists configuration categories: General, Site Name & Coordinates, Tracking, Wake-up sessions, Antenna, Antenna & Antenna Height, Antenna Management, Start Up & Power Down, Internet, Ethernet, DynDNS, Web Interface, FTP, User Management, Access Management, Change Password, Interfaces, Firmware upgrades, and Tools. The main content area is titled "Ethernet" and contains a form for "Ethernet settings". The form fields are: IP address (172.29.72.250), MAC address (00:c0:1b:06:47:e0), Network mask (255.255.255.0), and Gateway (172.29.72.254). A "Submit" button is located at the bottom of the form. Above the form, a status table displays the following information:

Instrument ID:	AMOX	Uptime:	96 days 03:21 h	Logging:	On	GPS:	SBAS
Receiver type:	GRX1200 Pro	Memory:	83% (203.86 MB)	RTK:	Off	GLONASS:	Oscillator
IP address:	172.29.72.250	Power:	71%	Ring buffer:	Off	GALILEO:	18:21:56 2010-07-20

Figura VI.4. Configuración mediante la interfaz Web vía dirección IP fija de la Estación de Referencia GPS.

VI.3. CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR DE ESTACIONES.

Ahora que ya hemos configurado la Estación de Referencia, básicamente con los parámetros de comunicación (dirección IP fija, puerto, máscara de subred y puerta de enlace) tenemos que lograr la comunicación a través del software de Administración. Es prácticamente el mismo procedimiento que seguimos en los equipos GPS, sólo que ahora es a través de la herramienta instalada en el servidor de Estaciones de Referencia GPS.

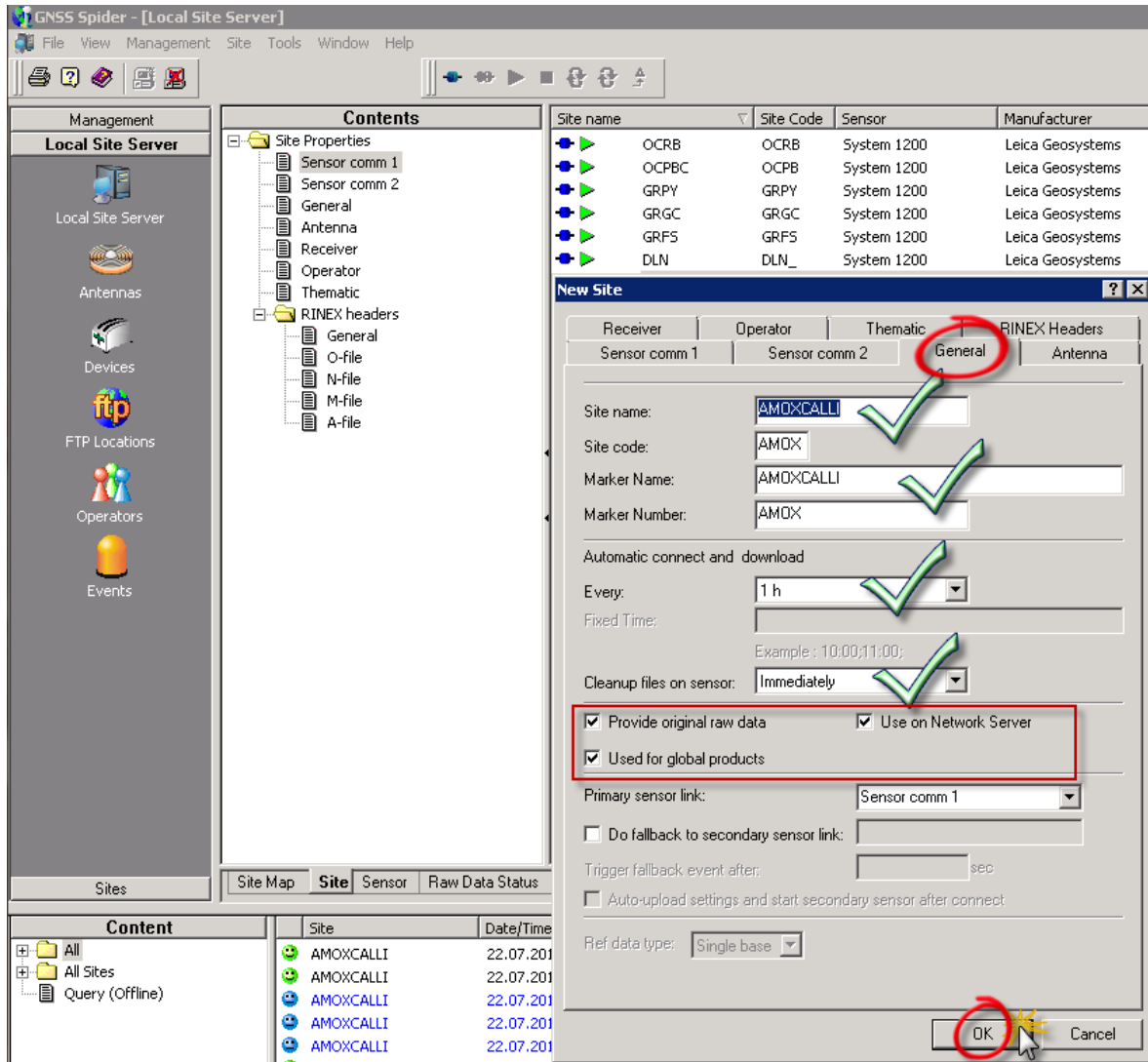
VI.3.1. Sensor comm 1. La configuración inicia en crear un sitio nuevo o Estación de Referencia GPS conectada al Servidor Central de Estaciones GPS:

The screenshot shows the GNSS Spider software interface. The 'New Site' dialog box is open, displaying configuration options for a new site. The 'Host name' field is set to 172.29.72.250, the 'Port number' is 5101, and the 'Sensor' is set to System 1200. The 'Streaming data rate' is set to 1s. The 'Site' tab is selected in the bottom navigation bar.

Site name	Site Code	Sensor	Manufacturer
OCRB	OCRB	System 1200	Leica Geosystems
OCPCB	OCPCB	System 1200	Leica Geosystems
GRPY	GRPY	System 1200	Leica Geosystems
GRGC	GRGC	System 1200	Leica Geosystems
GRFS	GRFS	System 1200	Leica Geosystems
DLN_	DLN_	System 1200	Leica Geosystems

Los primeros parámetros a introducir tienen que ver con la dirección IP fija asignada a la Estación, así como el puerto libre y único por los cuales se conectará al servidor. De igual forma, tenemos que elegir la tasa de registro de datos. En nuestro caso, todas las Estaciones registran a cada segundo.

VI.3.2. General. En la pestaña General, debemos asignar un nombre descriptivo al sitio, un código de identificación de cuatro caracteres. Por lo general, el nombre del sitio y el nombre de la marca permanente son los mismos y no debemos cambiarlos, así como el código del sitio y número asignado a la marca.



Otro parámetro que debemos definir es el intervalo de tiempo de la descarga de los datos del receptor al servidor. El estándar en nuestro caso es que se descarguen a cada hora.



Si queremos ahorrar espacio en disco sobre la memoria Compact Flash del receptor, podemos elegir que se haga un borrado de archivos de esa tarjeta externa una vez que ya se haya hecho la descarga de datos hacia el servidor (*Cleanup files on sensor*).

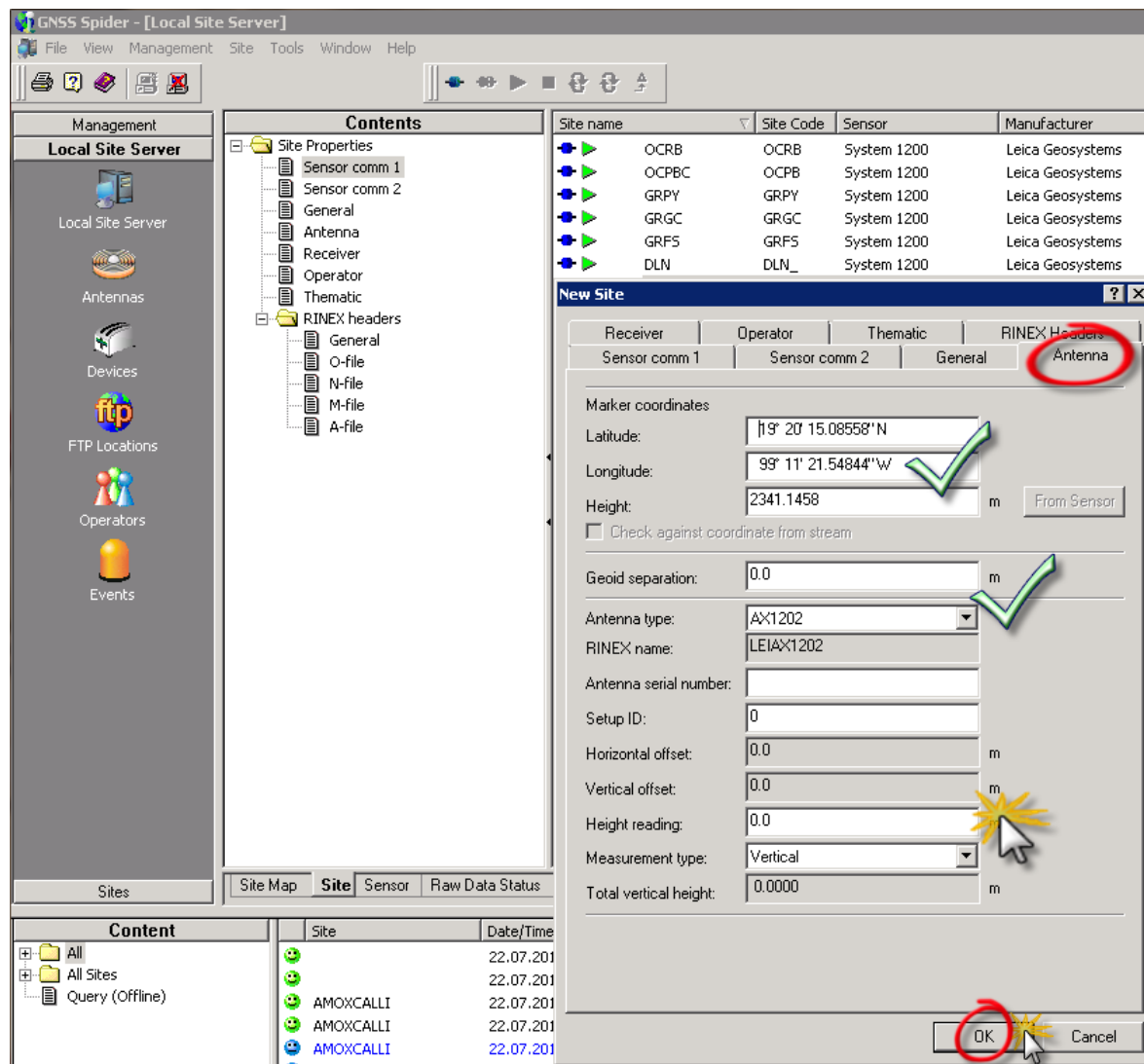


Las siguientes opciones marcadas en el rectángulo rojo, se refieren a lo siguiente:



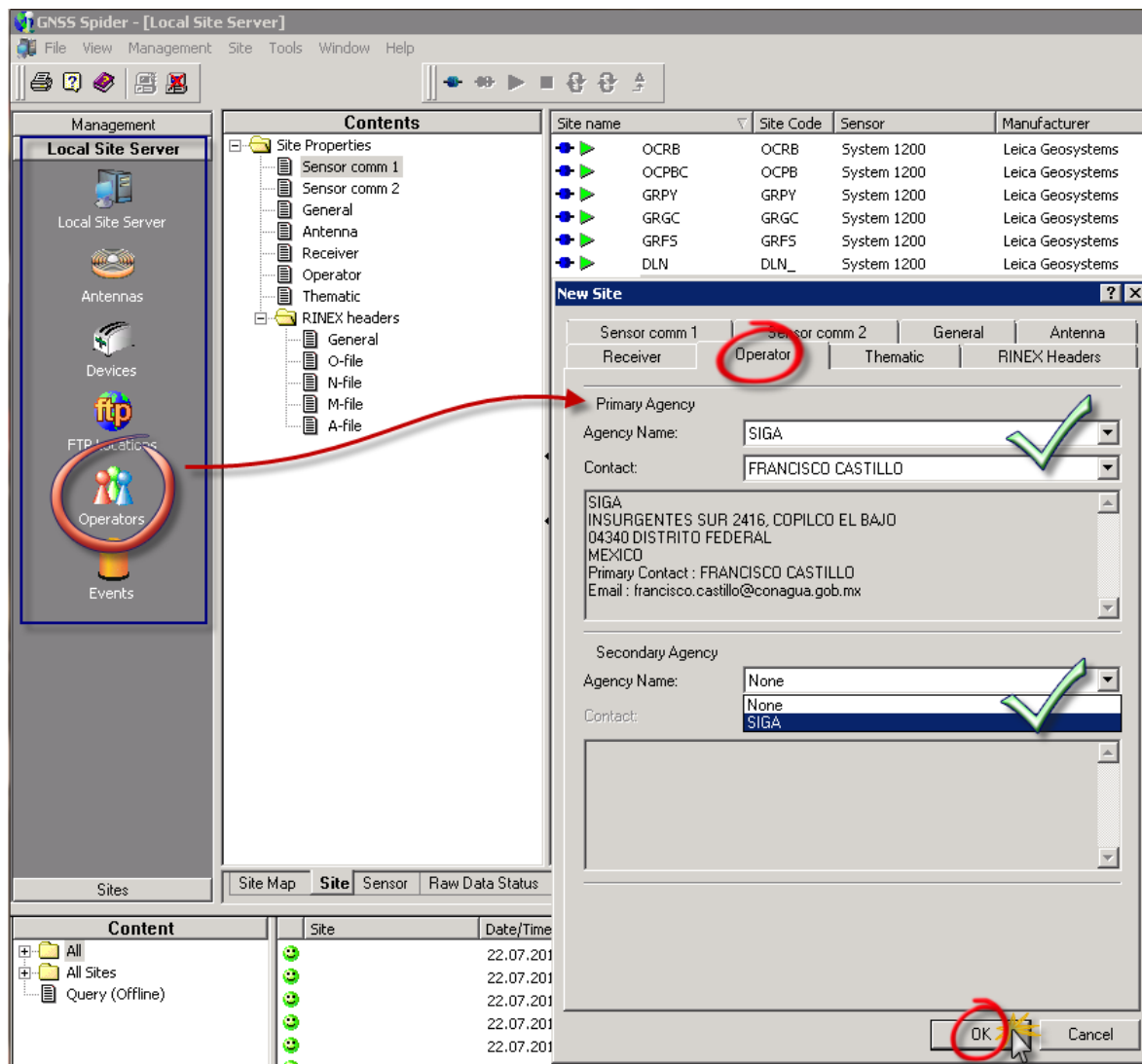
- *Provide original raw data*: Que el equipo genere los datos crudos originales
- *Use on Network Server*: Si contamos con más de un servidor de estaciones, que los datos estén disponibles en red.
- *Used for global products*: Que esta configuración se utilice para todos los productos generados para todas las demás Estaciones de Referencia GPS conectadas.

VI.3.3. Antenna. La configuración de la antena conectada al equipo GPS se debe realizar con el mayor cuidado, ya que de este dispositivo depende en gran parte la calidad de la información.



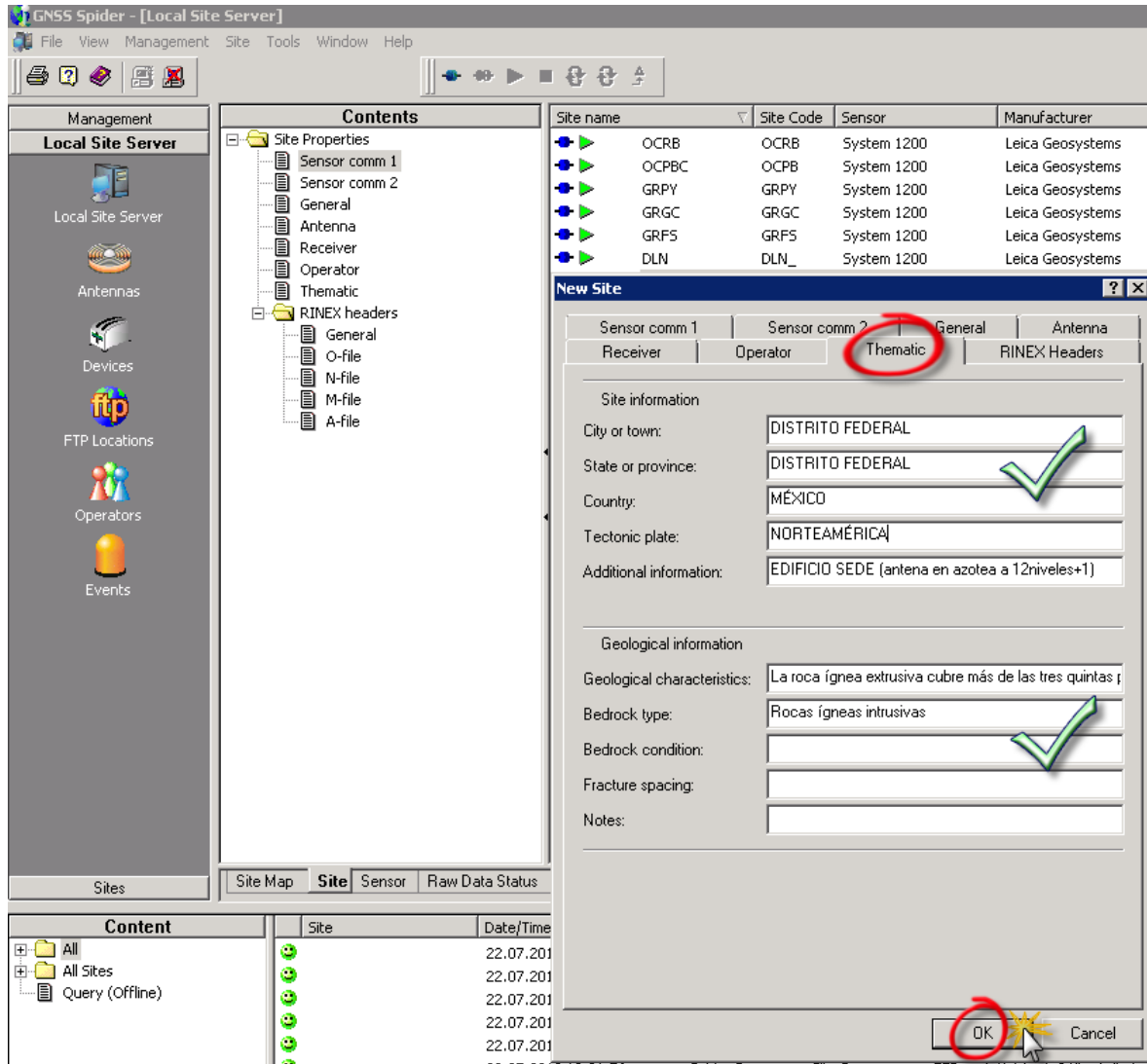
En primera instancia, debemos introducir unas coordenadas aproximadas del sitio, no deben ser precisamente sobre las que está el monumento. De igual forma, el tipo de antena, que en nuestro caso es una antena externa Leica AX1202. El tipo de medición de la antena es Vertical.

VI.3.4. Operator. En esta pestaña de configuración, es importante definir quién será el operador principal de la Estación para poder localizarlo en caso de cualquier eventualidad presentada.




Se debe declarar un nombre de Agencia, previamente definido en el Menú **Operator**, ubicado en el margen izquierdo de la aplicación, bajo la opción **Local Site Server**. Ahí se deberán anotar los datos generales del operador para localizarlo en caso necesario.

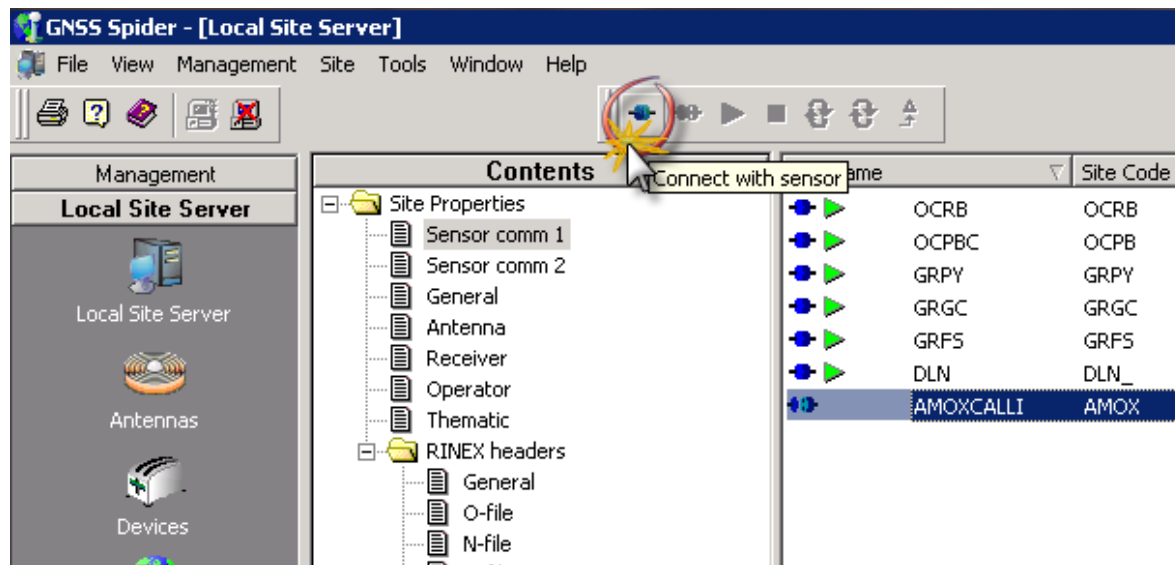
VI.3.5. Thematic. Este apartado es también información general del sitio sobre el que está asentado nuestro monumento o marca permanente y tiene que ver con las características geológicas del entorno.




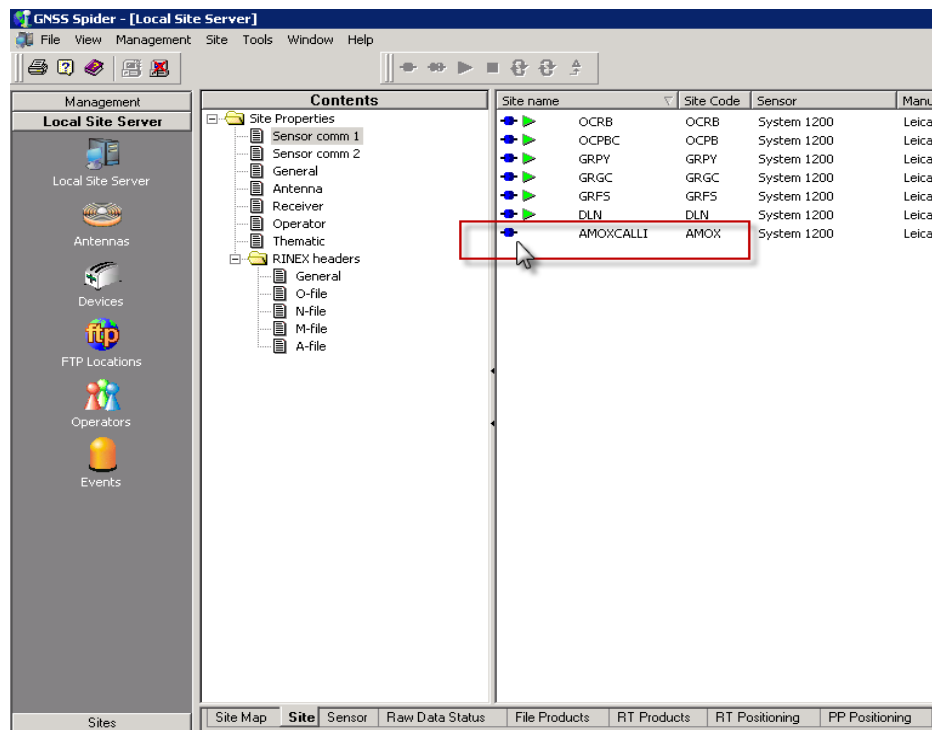
De igual forma, se solicitan los datos de la Ciudad, Estado, País, Placa tectónica y tipo de roca sobre la que se encuentra la Estación correspondiente, los datos geológicos se obtuvieron del portal de Internet del Servicio Geológico Mexicano, de su carta escala 1:250,000.


VI.3.6. CONEXIÓN E INICIO DE REGISTRO DE DATOS.

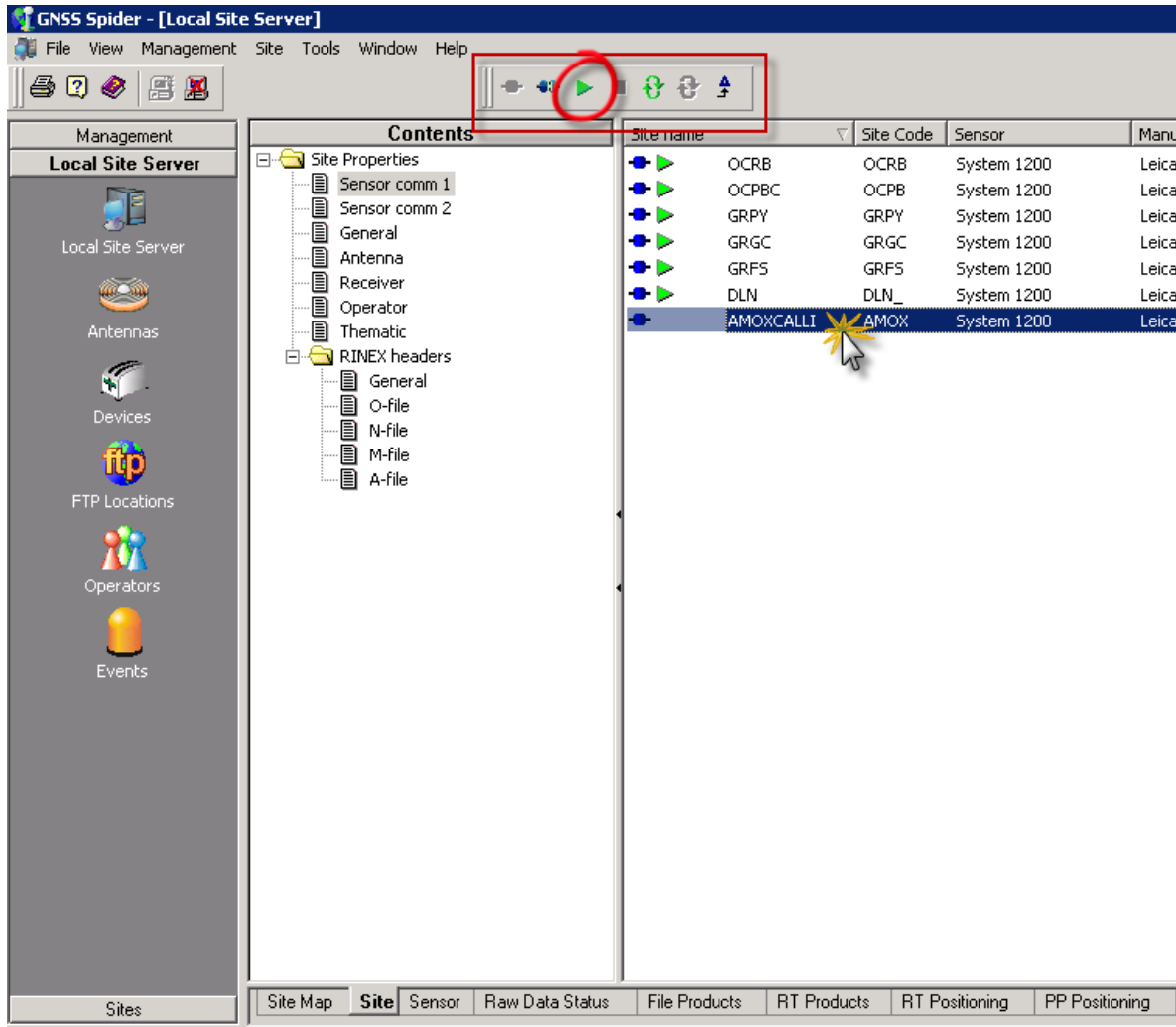
Ya tenemos configurada la Estación de Referencia con los parámetros necesarios para comenzar a publicar datos vía Intranet. En el listado de Estaciones, en la parte central de la aplicación aparece nuestra Estación AMOXCALLI sólo con un ícono que representa un contacto desconectado en color azul ().



En la parte central, se encuentra una serie de íconos, uno de ellos es el de Conectar Sensor (*Connect with sensor* ) , damos clic sobre el ícono para lograr la conexión y deberá aparecer la Estación con el ícono de los contactos en uno solo.



El siguiente procedimiento es iniciar el Registro de los datos en la Estación. Damos clic sobre el nombre de la Estación AMOXCALLI y se activará la barra de íconos en la parte superior central de la aplicación. A la derecha del ícono de Conexión/Desconexión de la Estación se encuentra el ícono  (Start Logging) que es el que inicia el Registro.



Damos clic sobre él y la Estación muestra tanto el ícono azul como el verde a la izquierda del nombre:



En la parte inferior, se encuentra la bitácora de eventos registrados de las Estaciones conectadas. Ahí aparece el procedimiento de inicio de registro de datos:

Site	Date/Time	User	Category	Text
AMOXCALLI	22.07.2010 13:10:21	Spider Server	Sensor	Site AMOXCALLI: Start finished.
AMOXCALLI	22.07.2010 13:10:21	Spider Server	Sensor	Site AMOXCALLI Log message: 2010-07-22 18:10:36 Sensor started

En este momento, el equipo está conectado al Servidor Central de Estaciones de Referencia GPS de la Comisión Nacional del Agua y puede ser controlado de manera remota desde el Distrito Federal, Edificio Sede.

VI.3.7. ARCHIVOS DE DATOS PRODUCTO DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA (*FILE PRODUCTS*).

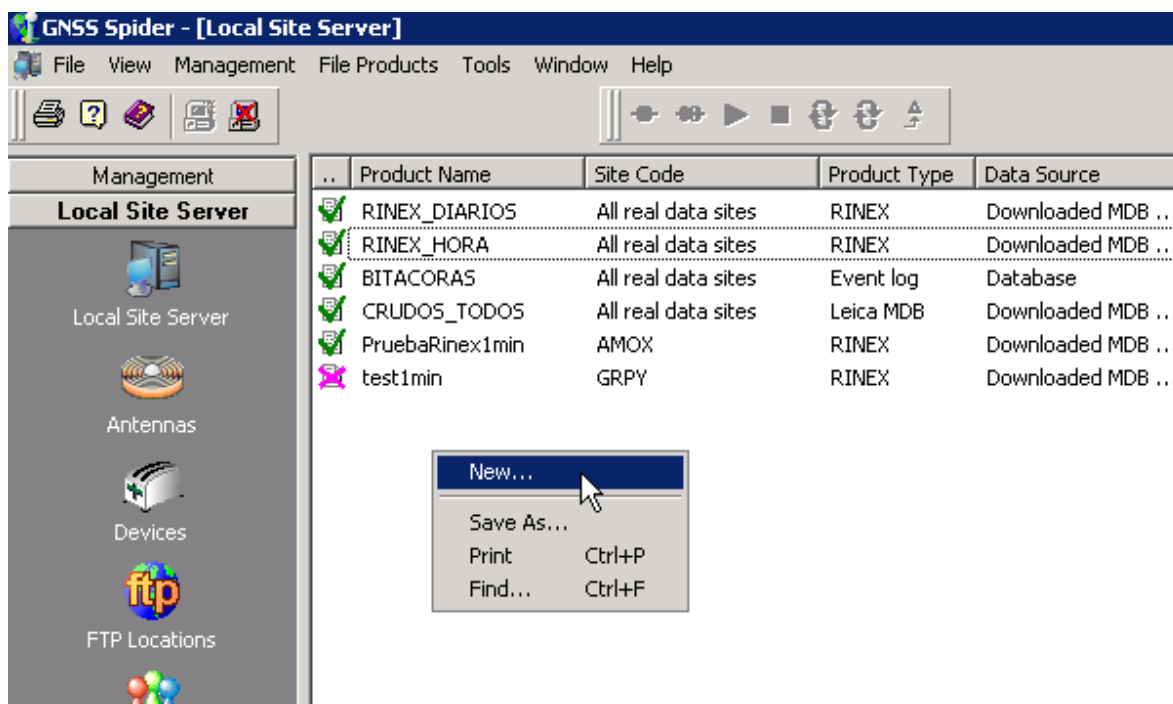
Una vez que hemos conseguido conectar la Estación e Iniciar el Registro de Datos a través del software de administración centralizada, debemos definir qué archivos de datos generará la Estación.

Por convención y de acuerdo a la comunicación que mantenemos con nuestros usuarios de los receptores GPS diferenciales en las Direcciones Locales y Organismos de Cuenca, el intervalo de registro de los datos será a cada segundo, los archivos serán del tipo RINEX y se generarán archivos a cada hora de registro y archivos por día. Todos ellos, estarán disponibles en el Servidor de Estaciones por un lapso máximo de 90 días a partir de la fecha en que fueron generados. Posterior a este periodo, se lleva a cabo un procedimiento de respaldo de la información en Oficinas Centrales por si se solicitan datos históricos por parte de nuestros usuarios.

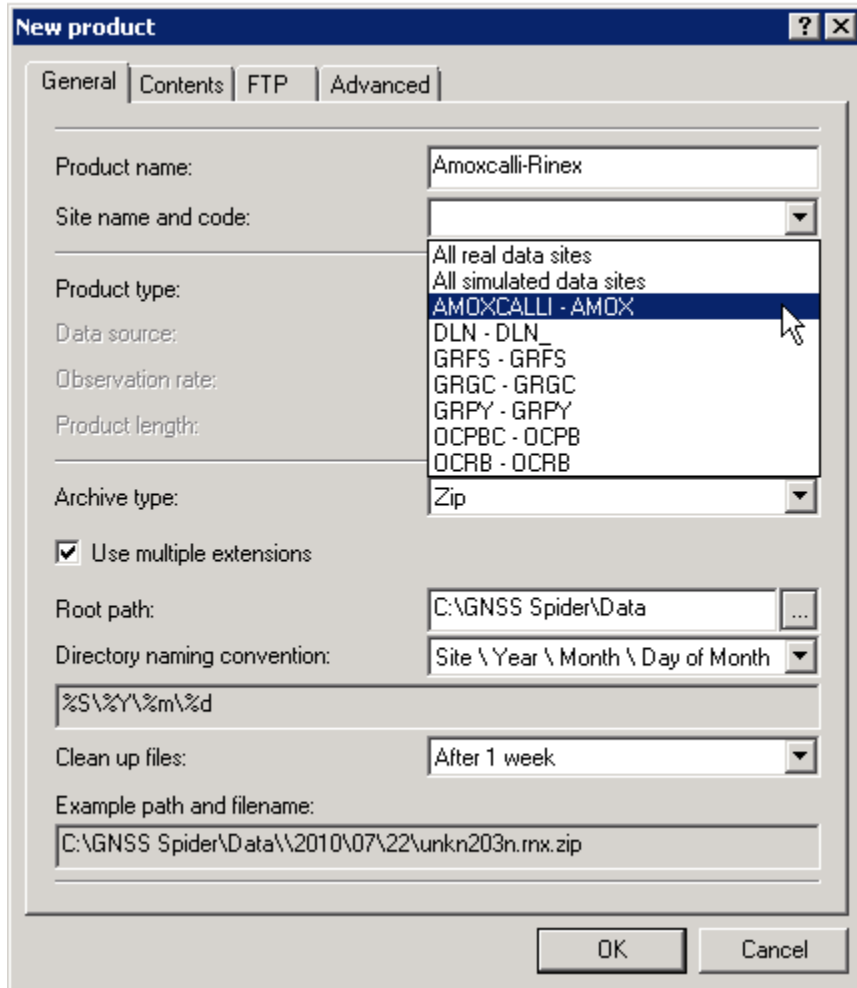
En la parte central del menú existen diferentes pestañas que tienen que ver con el Servidor Local de Sitios (*Local Site Server*). Una de ellas es *File Products*. En esta opción damos clic y nos muestra todos y cada uno de los archivos producto de las Estaciones, es decir, los archivos que vamos a generar para cada Estación.

Cabe mencionar que podemos generar productos individuales para cada Estación o productos globales para todas las Estaciones conectadas. Esto quiere decir que si quiero generar archivos en formato RINEX de la Estación AMOXCALLI y para no tener que repetir la misma configuración para archivos RINEX de Mexicali, sólo bastará con que se lo indique a la herramienta para que genere en automático ese mismo producto.

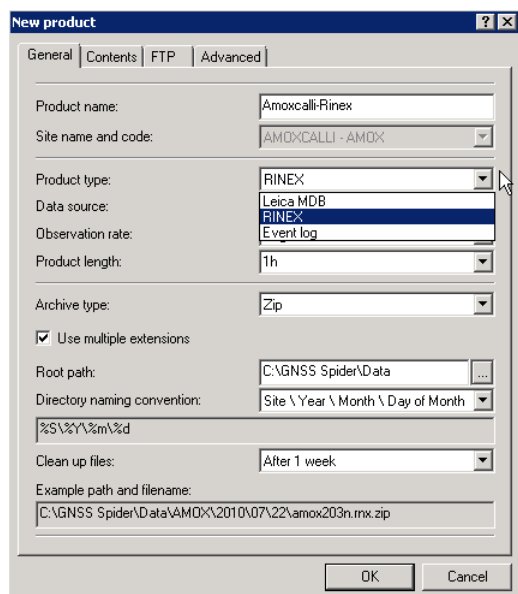
Para dar de alta un producto nuevo, debemos dar un clic derecho sobre la zona blanca central y aparecerá un menú de cortina con la opción **New**:



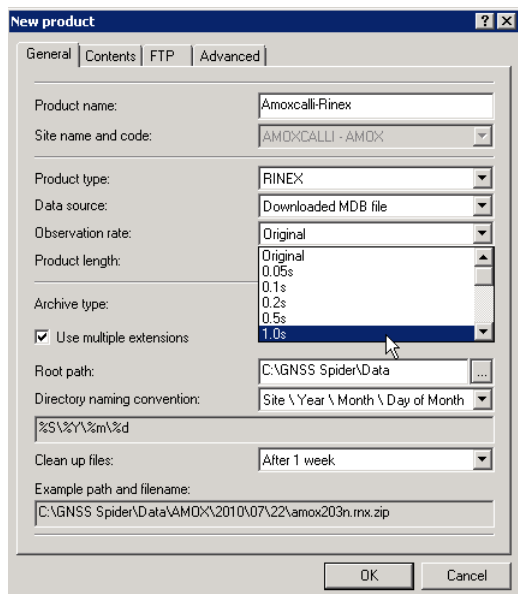
Damos un nombre al producto, en este caso se llamará “Amoxcalli-Rinex” y elegimos el sitio creado AMOXCALLI:



Ahora, debemos definir el tipo de archivos, Leica MDB (archivos formato Leica), RINEX o Event log (bitácora de eventos):

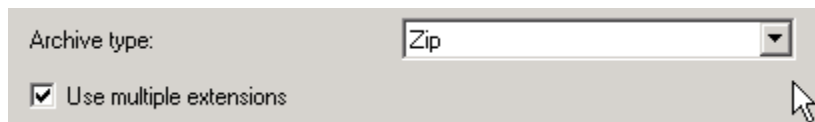


La tasa de observación o intervalo de registro será a cada segundo:

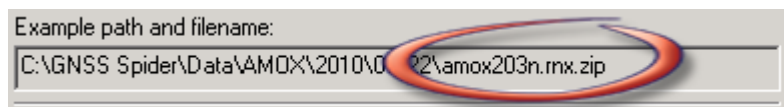


Desde luego que si elegimos la opción "**Original**", el software generará los datos basado en el valor de la tasa de observación configurada en el equipo (ver sección VI.3.1, *Streaming. data rate*).

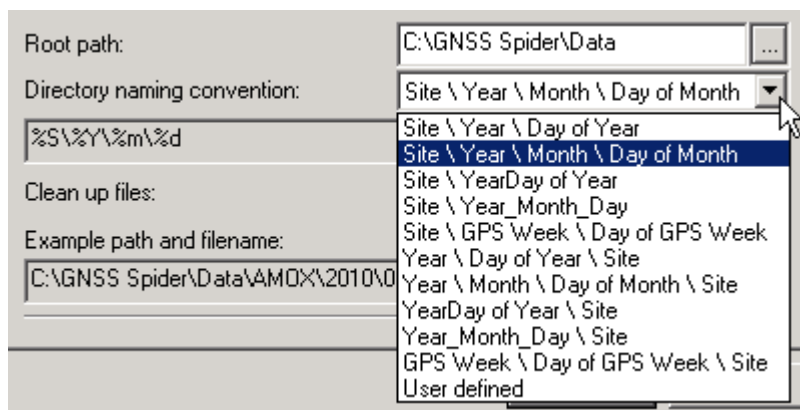
La opción **Archive type** se refiere al tipo de archivo en el que se guardará cada dato. En esta ocasión elegiremos los archivos compactados tipo ***.ZIP** para ahorrar espacio en disco.



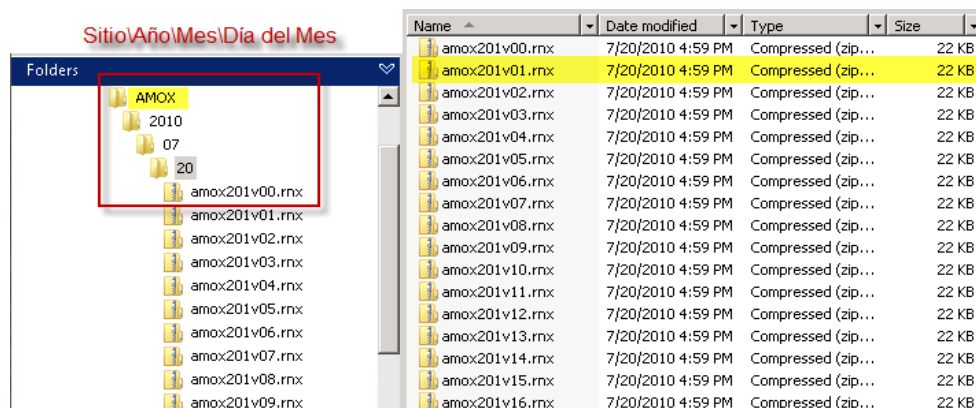
Damos clic en Use **multiple extensions** para que en cada archivo de datos se agregue la extensión del tipo de archivo guardado. En nuestro caso, como elegimos archivos tipo **ZIP** y además pertenecen a los tipo RINEX, entonces se generará un archivo con doble extensión ***.rnx.zip**.



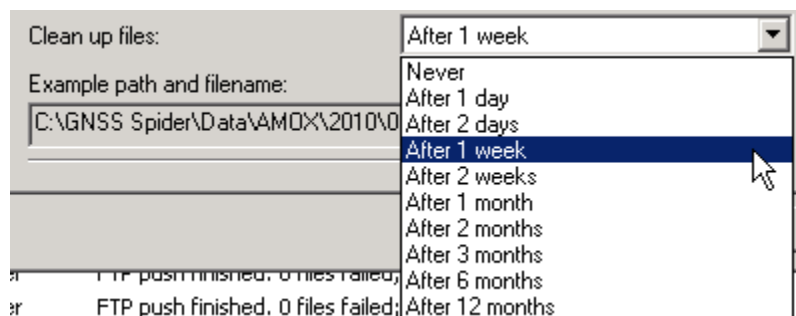
Al generar los datos en el Servidor de Estaciones, se crearán carpetas que identifican claramente cada Estación, así como el año, mes y día que corresponden a los archivos depositados. En este sentido, es necesario elegir una nomenclatura para la estructura de cada uno de los archivos generados, tal y como se muestra en la siguiente imagen con los tipos de sintaxis:



Por default, elegimos la opción Site\Year\Month\Day of Month para que quede de la siguiente forma organizada nuestra información:

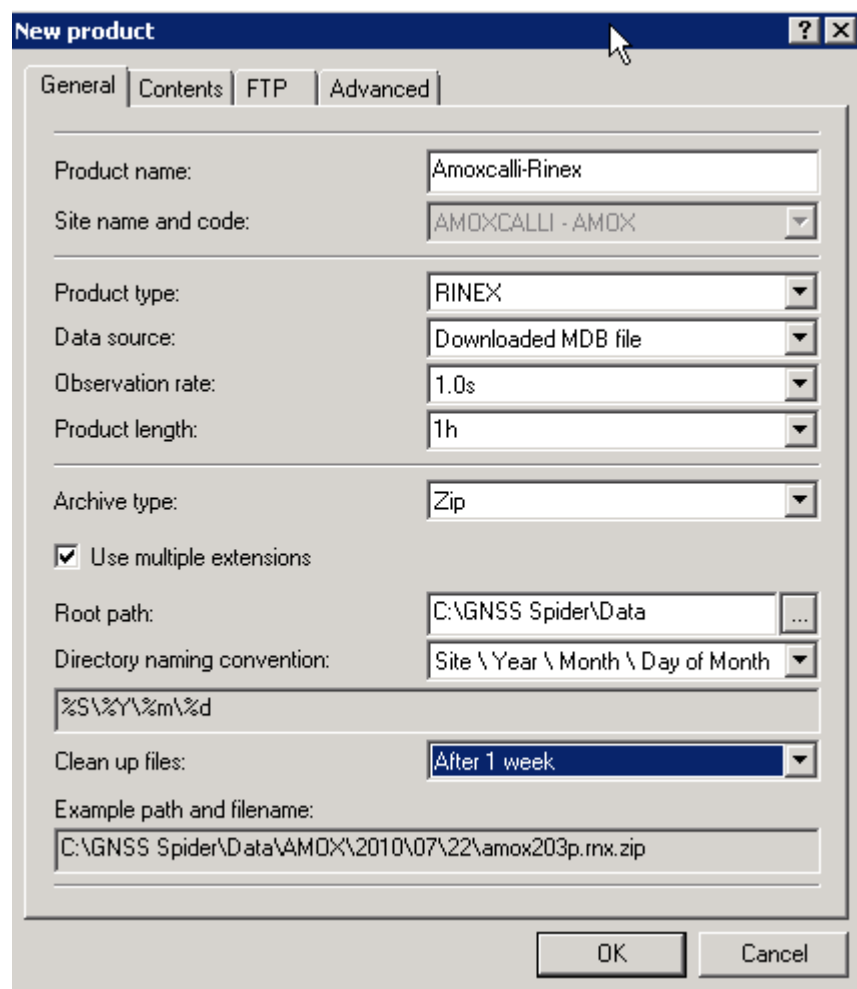


De igual forma como se configuró en la Estación de Referencia GPS, la opción **CleanUp Files**, que se refiere al tiempo en que deben permanecer en el Servidor de Estaciones los archivos generados; aquí también debemos establecer el tiempo que consideremos para liberar espacio en disco:



En este caso elegimos que los archivos se borren automáticamente después de 1 semana del Servidor.

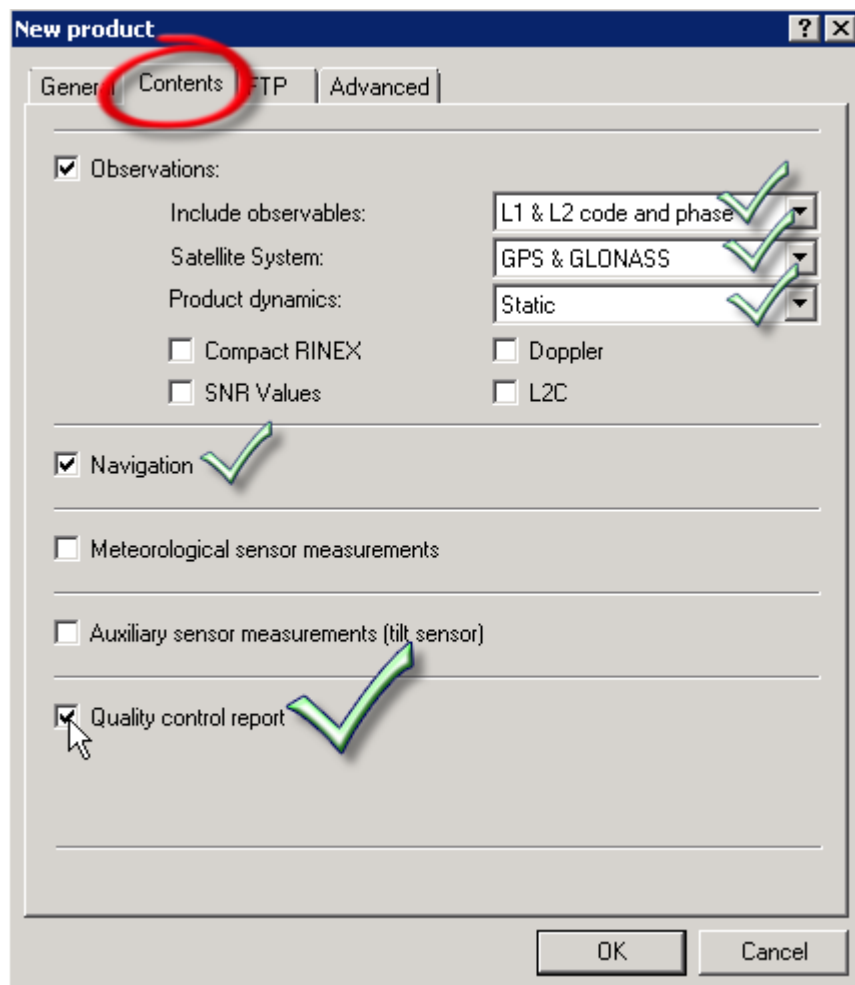
Nota: no quiere decir que se borrarán los archivos registrados en las carpetas de consulta, sino que se borrarán del área de archivos temporales y los RINEX denominados como archivos producto permanecerán con control hasta 90 días después de su fecha de creación.



Ahora pasamos a la opción **Contents**, en donde se configura el contenido de los archivos de observación. En **Observations** se escogen las opciones que incluyan las observables L1/L2 en código y fase. El sistema de satélites nativo *GPS* y *GLONASS* (si se cuenta con la microprogramación en las Estaciones correspondiente, en nuestro caso no cuentan con esta opción, sólo observarán *GPS*).

En **Product dynamics** se elige *Static*. Esta opción es para monitoreo de estructuras.

Que también se generen los datos de Navegación (**Navigation**), así como también algo muy importante para llevar el seguimiento puntual de lo que ocurre con el funcionamiento de nuestra Estación: la Bitácora del Reporte de Control de Calidad de los Datos (**Quality control report**).



Cabe hacer mención que este producto es un archivo de texto plano, que contiene un reporte pormenorizado de los eventos registrados en la Estación, relacionados con la calidad de los datos. En seguida se muestra un ejemplo de un reporte de calidad de los datos en la Estación AMOXCALLI correspondiente al 22 de julio del 2010.

Leica GNSS Spider QC v3.2 Quality Report

Program Run: 22/07/10 00:59:27

File Details:

Observation File: amox203a.10o
GPS Navigation File: amox203a.10n

Quality Testing: Pass

Station Details:

Marker Name/Number: AMOXCALLI AMOX
Observer/Agency: FRANCISCO CASTILLO SIGA

Receiver #/Type/Vers: 452731 LEICA GRX1200PRO 7.53/2.125
Antenna #/Type: LEIAX1202
Antenna Offsets (HEN): 0.000 0.000 0.000
Approx Position (XYZ): -961812.740 -5945433.587 2099415.020
Approx Position (plh): 19° 20' 15.08558" N -99° 11' 21.54844" W 2341.146m
Diff. Est-Header: 0.2 dX -3.568 dY 1.318 dZ
Diff. Est-Header: 3.8 m (3600 estimates)

Session Summary:

Time of first obs: 22-07-2010 00:00:00 GPS
Time of last obs: 22-07-2010 01:00:00 GPS
Session length: 59.98 minutes
GPS week: 1593, day 4

Num SVs with obs: 9
Num SVs with nav: 31

SVs with obs: G2 G4 G7 G8 G9 G17 G26 G27 G28
SVs without obs: G1 G3 G5 G6 G10 G11 G12 G13 G14 G15 G16 G18 G19 G20 G21
G22 G23 G24 G25 G29 G30 G31 G32

SVs with nav: G1 G2 G3 G4 G5 G6 G7 G8 G9 G10 G11 G12 G13 G14 G15
G16 G17 G18 G19 G20 G21 G22 G23 G24 G26 G27 G28 G29 G30 G31
G32
SVs without nav: G25

Total GPS orbits: 41
Obs interval: 1.00 seconds

Quality Indicators:

Num epochs w/ data: 3600
Num epochs w/o data: 0

Num obs > 0°: 25155
Num possible obs > 0°: 33697
Num obs w/ invalid nav: 0
Num obs w/o nav: 0
Num obs to unhealthy SV: 0
Num obs w/ WLF change: 0

Num obs > 15°: 25122 (99.7 % complete)
Num obs SBAS: 0

Num possible obs > 15°: 25187
Num complete obs > 15°: 25122 (99.7 % complete)
Obs L2 : Obs L1: 1.000
Obs L5 : Obs L1: 0.000

Data Gaps: 0.00 seconds
PDOP min, max, av: 3.3 5.7 4.3
GDOP min, max, av: 4.0 6.9 5.2

Average # SV: 7.0
Epochs w/ < 5 SV > 15°: 0 (100.0 %)
Epochs w/ all SV > 15°: 3535 (98.2 %)
Epochs w/ full data > 15°: 3535 (98.2 %)

Points MP Moving Av.: 50
Overall MP1 RMS: 0.030 m
Overall MP2 RMS: 0.023 m
Overall MP5 RMS: 0.000 m

IOD Slips > 15°: 0

Total LLI L1 : Obs L1: 0.0000
Total LLI L2 : Obs L2: 0.0001
Total Cycle Slips > 15°: 3 (0.012% of complete obs, 8374 obs/cycle slip)
Total Outliers > 15°: 0
Clock Slips > 15°: 0
Max RX clock offset: 0.000023 ms (at 22/07/10 00:03:17)
Num of RX clock resets: 0
Total clock drift: +0.000000 ms
Rate of clock drift: +0.000 ms/hr
Av time between resets: 0.000 minute(s)

Data Gaps (-):
Start Time End Time Duration
None

Satellites Above Mask With No Observations (+^):
SV Time (min) Epoch Range Elevation Range Azimuth Range
None

Quality Testing:

Cycle Slips (GPS): Pass (Value 3 slips, Threshold 50 slips)
Multipath (GPS): Pass (Value 0.03m MP1 / 0.02m MP2 / 0.00m MP5, Threshold 0.5 m)
Data Completeness (GPS): Pass (Value 99.7 %, Threshold 95.0 %)
Epochs With Data: Pass (Value 100.0 %, Threshold 99.0 %)
Navigation Data (GPS): Pass
Format: Pass
RX Clock: Pass
Other: Pass

Obs File Error Messages:

GPS Nav File Error Messages:

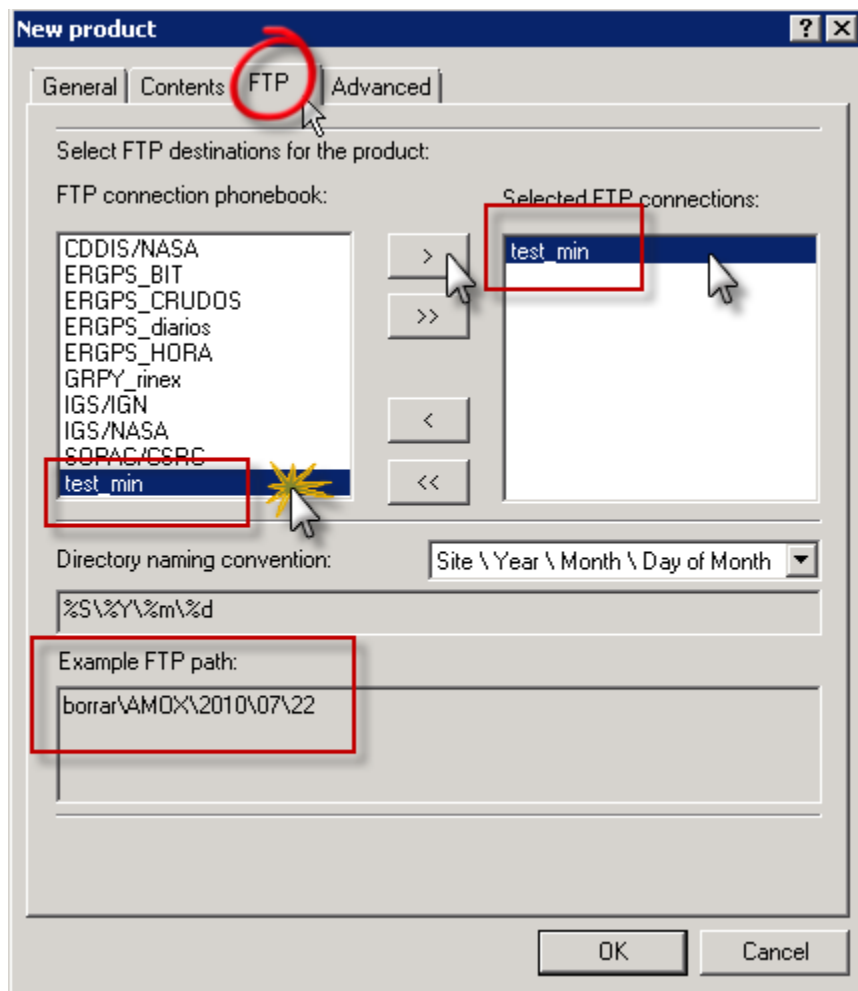
General Error Messages:

Notes:

(+) indicates value refers to healthy SV above the elevation mask of 15 degrees
(*) signal strength is mapped between 1 (worst) and 9 (best), 5 is the threshold for good SNR, 0 indicates value is unknown
(#) a complete observation contains complete C1 or P1), _T(L1 measurements with a SNR of at least 0
(-) the minimum duration of a data gap to be reported is 5 seconds
(^) a satellite has to be above the mask with no observations recorded for at least 120 seconds to be reported
- Abbreviations: Av=Average, IOD=Ionospheric delay, Num=Number, Obs=Observations, MP=Multipath, SV=Satellite vehicle, Slips=Cycle slips
- it took 0.4 seconds to process this file
- this file was processed using build 2.2.0.07

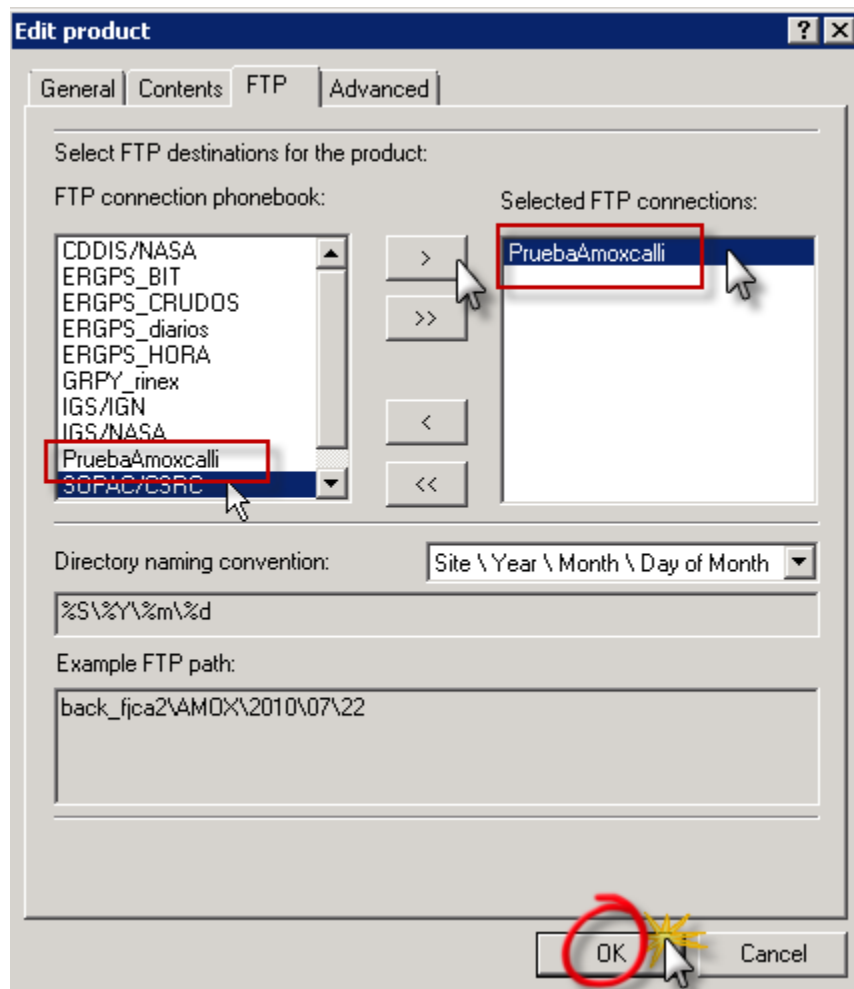
En la pestaña **FTP**, introduciremos los datos necesarios para que la información se deposite en un sitio FTP (*File Transfer Protocol*) para que queden almacenados los datos RINEX y disponibles a nuestros usuarios de los equipos GPS diferenciales. Aquí es donde permanecerán los 90 días que hemos mencionado a partir de la fecha de creación.

Este sitio FTP es una carpeta única donde el software se depositarán los archivos que envían las Estaciones de Referencia a cada hora y conservan la misma estructura de archivos que la de los datos que recibe la herramienta cuando descarga los datos de cada Estación; es decir, Sitio\Año\Mes\Día del Mes



En nuestro caso, es sólo un ejemplo y aparece la carpeta 'back_fjca2', pero en seguida se muestra que se depositarán los archivos en AMOX\2010\07\22 de acuerdo al día del año en que se generó este sitio FTP.

El sitio FTP se da de alta en la opción FTP del margen izquierdo y corresponde al menú Local Site Server. Se introduce la dirección del equipo que alberga este servicio de transferencia de archivos, el usuario y la contraseña para el depósito de los datos con permisos correspondientes de lectura/escritura.



Con esto, hemos dado las instrucciones al software de Administración de Estaciones GPS para que se generen y se publiquen vía FTP los datos RINEX de la Estación AMOXCALLI a cada hora, con una tasa de observación a 1 segundo.

VI.4. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA HERRAMIENTA DE ADMINISTRACIÓN.

De aquí en adelante y con la finalidad de mostrar de manera ágil el funcionamiento del software de administración, se hará mención de los componentes tal y como aparecen en el software procurando traducir *al vuelo* lo menos posible, ya que la mayoría de los componentes no tienen traducción sintética y objetiva al español y podría producir contrariedad al lector.

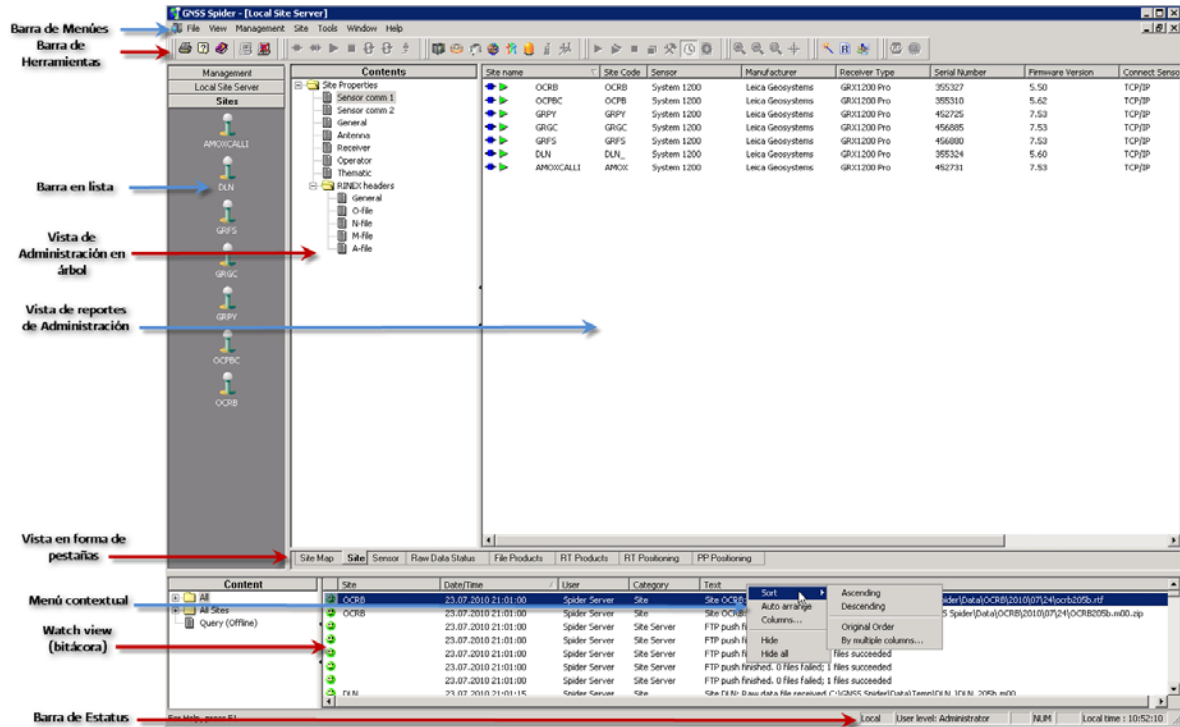


Figura VI.5. Interfase gráfica de la Herramienta de Administración de Estaciones de Referencia GPS en la Comisión Nacional del Agua

VI.4.1. Componentes de GNSS Spider

El cliente de Spider consiste de varios módulos de administración y herramientas integradas.

VI.4.2. Server Management



Este módulo permite al usuario crear nuevas conexiones y configurar las ya existentes hacia otros servidores de Estaciones. La vista de reportes permite dar un vistazo a las propiedades de conexión para todas las Estaciones conectadas al servidor. Desde el Server Management se pueden abrir y cerrar las conexiones al servidor.

Este módulo siempre está disponible.

VI.4.3. Site Server

Server view:



La opción *Server view* es una pestaña. Es el componente principal del usuario para visualizar y modificar el sitio local de Estaciones de Referencia GPS. A su vez, consta de las siguientes pestañas:

- *Site Map*: Vista Gráfica de la ubicación de los sitios y su *status*.
- *Site Properties*: Muestra las propiedades de los sitios, tales como siglas del sitio, información de la antena, sus coordenadas, descarga de datos, conexión del sensor, usuario/operador correspondiente e información temática adicional relacionada con el equipo conectado.
- *Sensor Properties*: Las propiedades del sensor, tales como parámetros de configuración para el rastreo, registro de satélites, opciones de tiempo real, sensores externos conectados al equipo (meteorológicos y de inclinometría), datos crudos y PPS.
- *Raw Data Status*: Vista numérica y gráficas de los trenes de datos crudos recibidos en las últimas dos semanas.
- *File Products*: Configuración de archivos tipo Leica MDB, RINEX o de Control de Calidad (*QC files*), así como de bitácora de eventos (*event logs*).

Nota: Las opciones marcadas como RT (*Real Time* o Tiempo Real) están presentes en cada uno de los equipos, sin embargo, no contamos con radiotransmisores para prestar dicho servicio.

La configuración de los metadatos de cada Estación GPS administrada por el Servidor se configura a través de esta vista. De igual forma, la opción *Server view* proporciona los comandos apropiados para conectar/desconectar cualquier receptor GNSS, cargar opciones nuevas de configuración de datos; así como iniciar o detener cualquier secuencia del sensor.

Antenna Management:



La administración de antenas permite al usuario configurar para su uso la antena conectada a los equipos GPS. Una antena tipo GNSS deberá configurarse para cada sitio y deberá estar disponible su tipo en esta sección. Todas las antenas de la marca Leica se encuentran predefinidas en el software, por lo tanto, no se permite la modificación de sus parámetros. Sin embargo, mediante *Antenna Management*, se pueden crear y configurar nuevos tipos de antenas e incluso, importar sus datos de configuración desde archivos de calibración del fabricante correspondiente.

Toda la información de las antenas se almacena en la base de datos global. Cuando una antena es configurada para un sitio, sus parámetros los envía el servidor directamente al receptor GPS mediante el comando "cargar datos" (*upload settings command*).

Device Management:



Esta opción permite administrar los dispositivos de comunicación conectados a las Estaciones de Referencia GPS. Comúnmente a través de esta opción se pueden conectar los radiotransmisores de publicación de correcciones en tiempo real (RTK), tales como módems, radios, teléfonos celulares, entre otros. Aunque la herramienta cuenta con un sin número de dispositivos ya cargados y configurados previamente, el usuario puede acceder a reprogramar esos parámetros para personalizarlos en determinado dispositivo.

Así como con las antenas, los parámetros de cada dispositivo dados de alta en el software son enviados al receptor GNSS mediante el comando de carga de parámetros mencionado arriba (*upload settings command*).

Site Status:



La pantalla correspondiente a *Site Status* también se encuentra bajo una pestaña. Proporciona información general y específica sobre el funcionamiento de cada equipo GPS instalado. Consta de las siguientes dos pantallas a manera de pestañas:

- Sensor (Estado numérico de la operación del sensor)
- Tracking (Rastreo numérico y gráfico de satélites)

La información mostrada en *Site Status* sólo es actualizada durante una conexión “en vivo” al sensor. La línea de tiempo (barra verde) indica la validez de la información recibida.

VI.4.4. Site server y Network Server

FTP Management (opcional):



La opción FTP permite administrar los sitios de transferencia de archivos generados por cada Estación de Referencia. Un sitio FTP contiene los datos necesarios para acceder al servidor de datos de transferencia de archivos denominado por sus siglas en inglés FTP (*File Transfer Protocol*), tales como nombre del usuario y password para realizar el depósito en un sitio remoto dentro de una red interna o externa. Esta opción de administración de sitio FTP se encuentra disponible tanto en *Site/Network Server*.

En *Site Server*, la administración de sitios FTP proporciona la ubicación específica de un servidor de datos FTP en el cual queremos acceder para el almacenamiento de los datos proporcionados por las Estaciones de Referencia GPS de manera automática. Los usuarios avanzados pueden sacar mejor partida de esta opción ya que pueden utilizar comandos estándar de FTP para un mejor control de la información depositada. Se pueden generar un sinnúmero de sitios FTP, así como también se permiten conexiones simples o múltiples a servidores FTP independientes del tipo de producto de archivo generado.

En *Network Server*, FTP es utilizado para bajar de forma automática efemérides precisas para usarlas en el procesamiento de redes. Las efemérides precisas son calculadas por organismos, tales como el IGS

(Servicio Internacional GNSS, antes GPS) y la AUIB (Universidad de Berna, Suiza), quienes las hacen públicas mediante servidores FTP en tiempo real. Se puede configurar tanto una fuente FTP primaria como una secundaria.



Operator Management:

La administración de operadores le permite administrar los usuarios y agencias. Aquí se especifica la información pertinente sobre el apoyo de agencias y operadores responsables del mantenimiento del servidor local de Spider o sitios individuales. Las propiedades incluyen mensajería, detalles de la conexión, información de la dirección de correo electrónico o nombre de equipo de red para la notificación automática por el servidor de Spider.

De igual forma, se pueden establecer uno o varios operadores por cada Estación GPS. Con esta información se documentan los archivos RINEX producidos de manera tal que en el encabezado de cada archivo RINEX aparecerá el operador principal y los datos generales introducidos.



Event Management (optional):

Permite configurar aquellos eventos que se presenten de forma determinada en cada Estación GPS. Un evento es un suceso relevante que queremos que se notifique al momento de presentarse en cada Estación de Referencia. Por ejemplo, podemos pedirle al sistema que nos notifique vía correo electrónico o por mensajería de la Red Local si la Estación ubicada en Mexicali se apagó de manera abrupta.

De forma adicional a los mensajes estándar del servidor de Estaciones que se aprecian en la bitácora de *Spider Site Server*, el usuario puede escoger de una lista de eventos predefinidos aquellos que quiera que le sean notificados al momento de producirse e incluso que sea replicado a todos y cada uno de los operadores dados de alta en la sección Operadores, para que estén enterados de las condiciones de error encontradas.

VI.4.5. Views (Vistas)

La sección *Watch view* se refiere al componente de visualización de información de eventos generados por el Servidor de Estaciones o por el cliente mismo. Permite ver, buscar, ordenar en forma ascendente/descendente e imprimir los contenidos de la bitácora en tiempo real. Esta sección siempre está visible y situada en la parte inferior de la interfase gráfica. De igual forma, tiene un árbol de tres posibles vistas, es decir, tres niveles de tipos de eventos con codificación distinta en colores e íconos diferentes para identificar de manera fácil aquellos eventos críticos presentados de los sólo informativos o de advertencia misma.

Site	Date/Time	User	Category	Text
	26.07.2010 16:02:15	Spider Server	Site Server	FTP push finished. 0 files failed; 1 files succeeded
	26.07.2010 16:02:15	Spider Server	Site Server	FTP push finished. 0 files failed; 1 files succeeded
	26.07.2010 16:02:15	Spider Server	Site Server	FTP push finished. 0 files failed; 1 files succeeded
	26.07.2010 16:02:15	Spider Server	Site Server	FTP push finished. 0 files failed; 1 files succeeded
OCPBC	26.07.2010 16:02:14	Spider Server	Site	Site OCPBC: Create product CRUDOS_TODOS finalized
OCPBC	26.07.2010 16:02:14	Spider Server	Site	Site OCPBC: Create product RINEX_HORA finalized : C'
OCPBC	26.07.2010 16:02:14	Spider Server	Site	Site OCPBC: Create product RINEX_HORA finalized : C'
OCPBC	26.07.2010 16:02:14	Spider Server	Site	Site OCPBC: Create product RINEX_HORA finalized : C'

Sección *Watch View* de la interfaz gráfica de administración de Estaciones GPS

VI.4.6. *Tools* (Herramientas)

Convertidor Manual de datos RINEX (*Manual RINEX converter*):

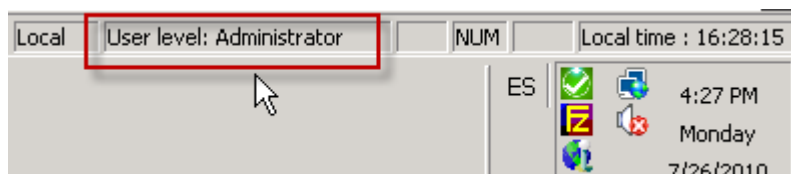
La herramienta de conversión de datos RINEX es una utilidad para llevar a cabo ese procedimiento sobre archivos de equipos GPS de la serie 500 y 1200 de la marca Leica para obtener sus correspondientes archivos RINEX. Si un producto RINEX ha sido definido a través de las propiedades del producto de archivos, esta conversión se realiza de manera automática después de descargar los datos del equipo.

Sin embargo, a pesar de que esta conversión se hace automáticamente, el usuario puede obtener los datos RINEX en cualquier momento que desee hacerlo, teniendo como datos fuente los datos crudos en formato binario. Incluso, si el usuario quiere obtener los RINEX de un dato binario a una tasa de observación de 1 segundo de registro y no a 10 segundos como fue descargado del equipo GPS, lo puede realizar sin dificultad.

Este convertidor siempre estará disponible incluso estando el servidor sin registrar datos de las Estaciones de Referencia GPS y sin candado de seguridad de software.

Manage Computer Users:

Desde la opción "*Manage Computer Users*" se pueden definir a los usuarios que tendrán el acceso para el control del Servidor de Estaciones de Referencia GPS. Este es un acceso directo a las propiedades del Administrador de Usuarios del sistema operativo Windows de Microsoft. Esta interfase controla los privilegios de sólo usuario estándar (*Viewer*) o de Administrador para operar la herramienta.



Wizard:




Este configurador paso a paso es una herramienta que nos guía por diferentes etapas para configurar un sitio nuevo o Estación de Referencia GPS nueva. Las etapas son:

- Establecer comunicación con el receptor GPS.
- Proporcionar la información del sitio.
- Configurar los parámetros de operación del sensor (equipo GPS)
- Definir la creación de los productos de datos binarios o RINEX correspondientes.

Sensor Communication [?] [X]

Select the required sensor communication parameters.
NEXT will try to establish sensor communication.

Guía paso a paso para configurar un nuevo Sitio o Estación de Referencia GPS



Sensor:	System 1200
Sensor connected via:	
Data source path:	
Baud rate:	
Parity:	
Data bits:	
Stop bits:	
Flow control:	
Phone number of sensor:	
Network IP address:	
Port number:	0
Mount Point:	
User Name:	
Password:	
Streaming data rate:	1s

< Back Next > Cancel

VI.5. CONFIGURACIÓN DE LA HERRAMIENTA LLAVE-EN-MANO.

Como un complemento a la administración de Estaciones de Referencia GPS en la Comisión Nacional del Agua, el usuario cuenta con otra herramienta para la consulta y, en su caso, procesamiento de la información colectada en campo.

Esta herramienta también es del tipo **Web-enabled** (aplicación por Intra/Internet) y cuenta con una interfaz gráfica accesible para quien esté registrado como usuario en donde puede descargar los datos de cualquier Estación GPS conectada al Servidor Central. Con esta aplicación, cuyo acceso es a través de una página Web, el usuario decide la fecha y la(s) hora(s) correspondientes para efectuar el procesamiento diferencial de los datos recabados con los equipos móviles diferenciales GPS.



Figura VI.6. Página Web de acceso a la Herramienta Llave-en-Mano para la consulta de datos de las Estaciones de Referencia GPS de la Red Geodésica de la Comisión Nacional del Agua

Como se ha mencionado en otros apartados de este documento, cada día la tecnología y las herramientas de cómputo están al servicio de las ciencias de la información; y la topografía y la geodesia no están exentas de recibir los beneficios de este alcance.

Con la finalidad principal de mejorar las tareas realizadas en campo y de proporcionar un plus en el procesamiento de la información colectada en campo, esta Herramienta que hemos denominado *Llave-en-mano*, encierra el beneficio de no sólo la consulta interactiva de datos de las 7 Estaciones de Referencia GPS conectadas al Servidor Central de Estaciones, sino que le da la posibilidad al usuario de procesar sus datos directamente en línea.

La mejora principal del procesamiento de la información sobre los levantamientos GPS diferenciales impacta directamente en la calidad de las coordenadas de los elementos posicionados en campo. De

igual forma, el requerimiento básico es contar con el acceso a un equipo de cómputo conectado a la Red Nacional del Datos de nuestra institución para descargar o procesar la información (después de haber levantado los datos en campo con el receptor GPS diferencial).

VI.5.1. REGISTRO DE USUARIOS.

Una vez que el usuario ha realizado los levantamientos en campo con los equipos GPS diferenciales, lo que desea es descargar los datos de la(s) Estación(es) de Referencia GPS más cercana(s) para trabajar en gabinete y procesar las coordenadas correspondientes.

Para acceder a los datos (formato RINEX generalmente) es necesario que lleve a cabo el registro en la herramienta SpiderWeb que hemos instalado y configurado en otro servidor central de la Comisión Nacional del Agua, que es el que realiza las consultas al Servidor de Estaciones GPS sobre la disponibilidad de los datos requeridos.

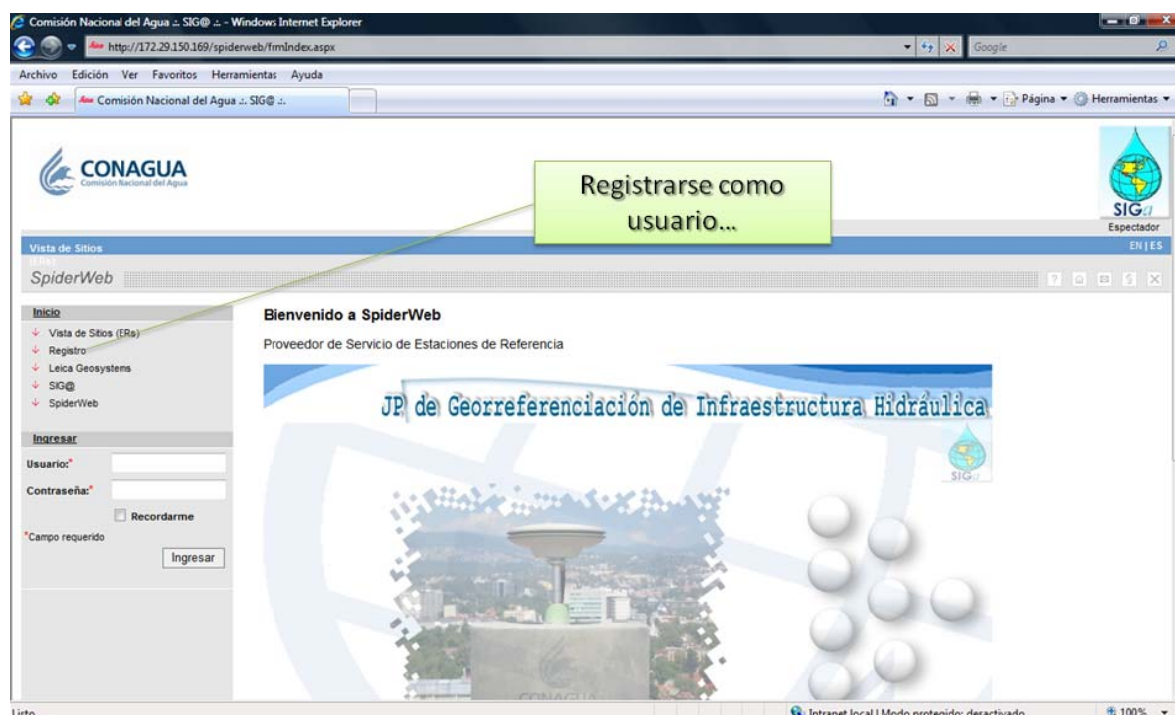


Figura VI.7. Opción de Registro de usuarios para la consulta de datos de las Estaciones GPS

En seguida, se le mostrará un formato para completar con los datos generales de quien utilizará el acceso:

Registrarse como usuario

Usuario:* fcastillo
Contraseña:* ●●●●●●
Confirmar contraseña:* ●●●●●●
Nombre:* Francisco
Apellido:* Castillo
E-Mail:* francisco.castillo@cna.gob.mx
Compañía:* CNA
Dirección:* Insurgentes Sur #2416, 8o piso, Ala poniente, Copilco El Bajo, Coyoacán, 04340, México DF
Ciudad:* México
C. P.º: 04340
País:* México
Tel: 55-51744526
Teléfono móvil: ---
Fax: ---
Comentarios al administrador: Dame de alta, please
Datos desde: Solo GPS

*Campo requerido

Entrar

Recibirá un e-mail, una vez validada la información de usuario.
No podrá ingresar, hastano recibir el e-mail.

Figura VI.8. Formato que completará el usuario para obtener su cuenta de acceso

Una vez que se han introducido los datos marcados con (*) y no faltar alguno (de lo contrario, el sistema indicará que falta información), damos clic en el botón **Entrar** para enviar la solicitud al Administrador del sistema y dé de alta o no el acceso.

Vía correo electrónico, recibirá la respuesta de la aceptación o no de su solicitud. Los datos de nombre de usuario y contraseña elegidos por el usuario deberán utilizarse una vez que se haya dado el alta correspondiente.

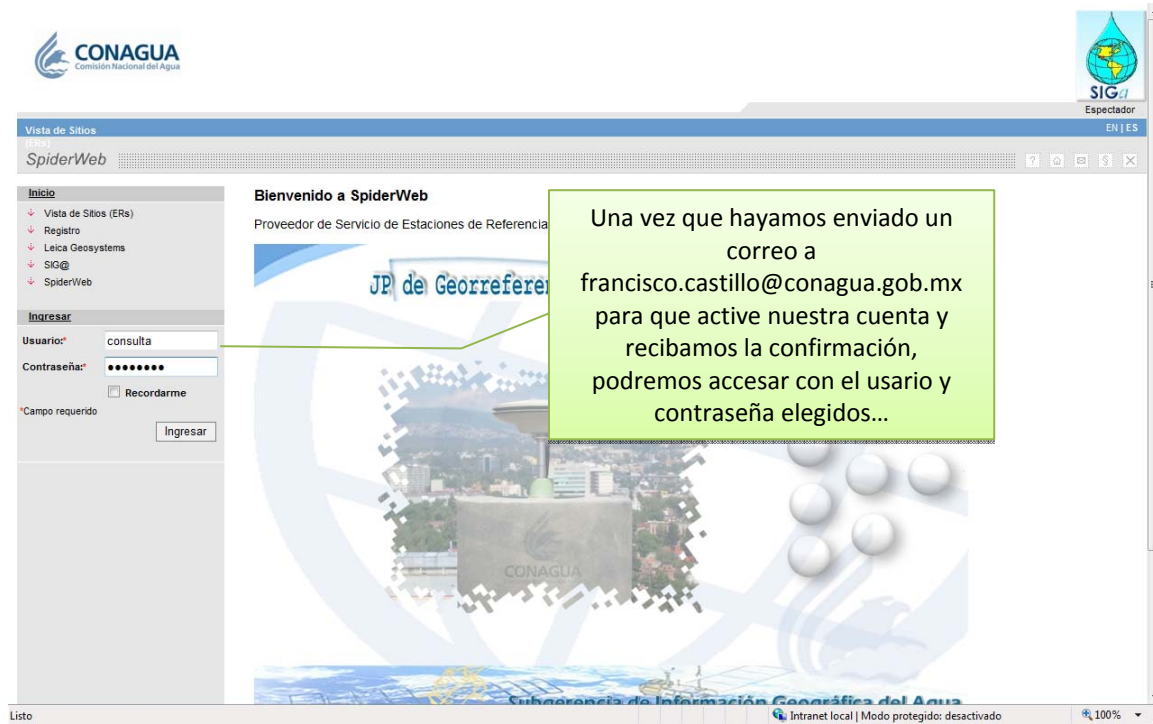


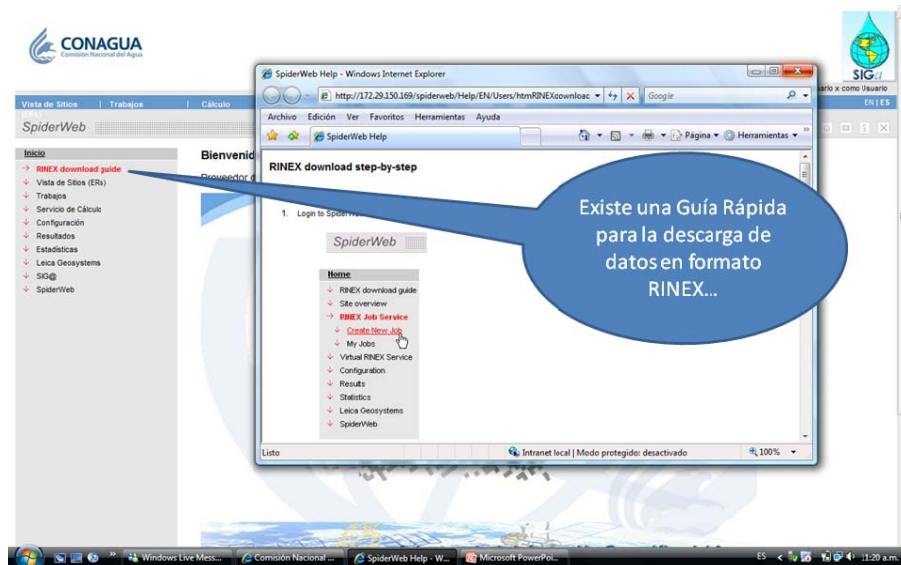
Figura VI.9. Pantalla de acceso con usuario y contraseña autorizadas

Al introducir los datos de nombre de usuario y contraseña, se nos muestra la página de acceso con un nuevo menú de opciones en el margen izquierdo:



Figura VI.10. Opciones para el usuario registrado.

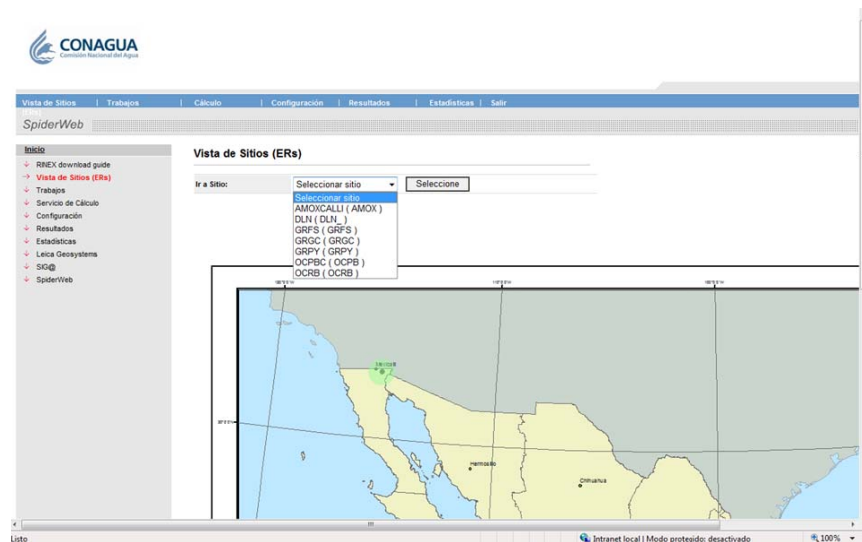
La primer opción **RINEX download guide** es una guía paso a paso para la descarga de archivos RINEX. Es recomendable que el usuario la tenga siempre visible para cualquier consulta sobre el funcionamiento de este sitio en todo momento.



http://172.29.150.169/spiderweb/Help/EN/Users/htmRINEXdownloadStep_by_Step.html

Figura VI.11. Acceso a la guía de descarga de datos RINEX paso a paso.

La opción **Vista de Sitios** muestra la información general de cada sitio conectado al servidor de Estaciones GPS:



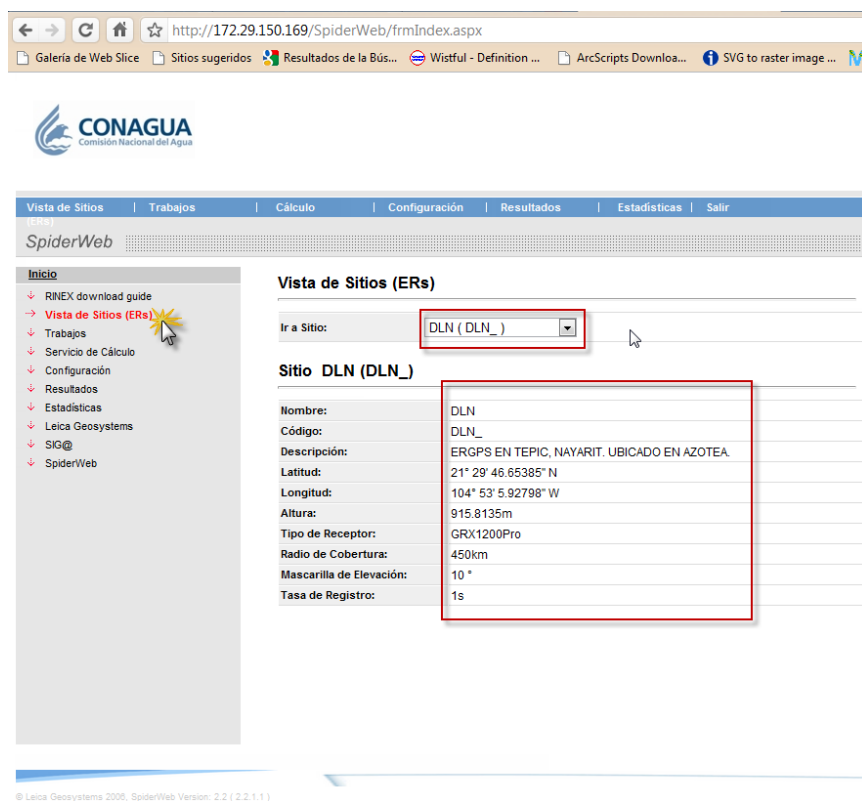


Figura VI.12. Detalles de una de las Estaciones de Referencia GPS en Tepic, Nayarit (DLN)

Como se puede apreciar, se muestra el nombre, Código, Descripción breve del sitio, coordenadas, tipo de equipo conectado, radio de cobertura, máscara de elevación y tasa de registro.

En **Trabajos** es donde hacemos el requerimiento de datos RINEX de un día determinado o se programan descargas automáticas de datos por semana o día.

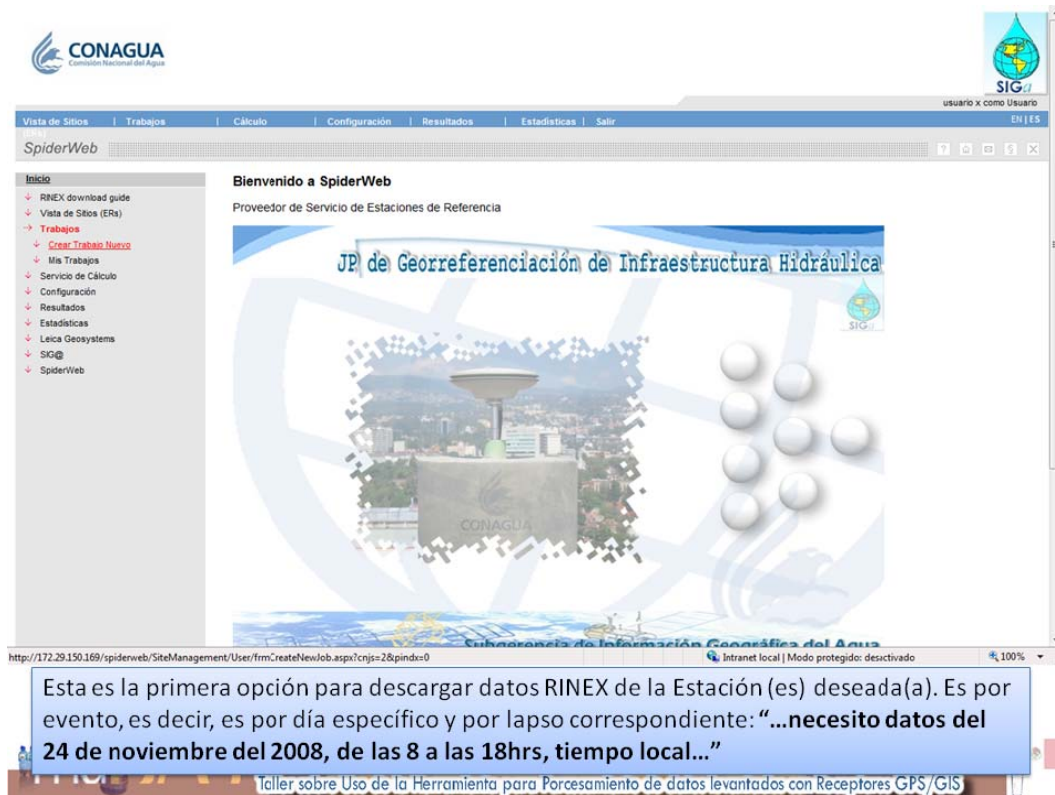


Figura VI.13. Configuración de un trabajo de solicitud de datos RINEX.

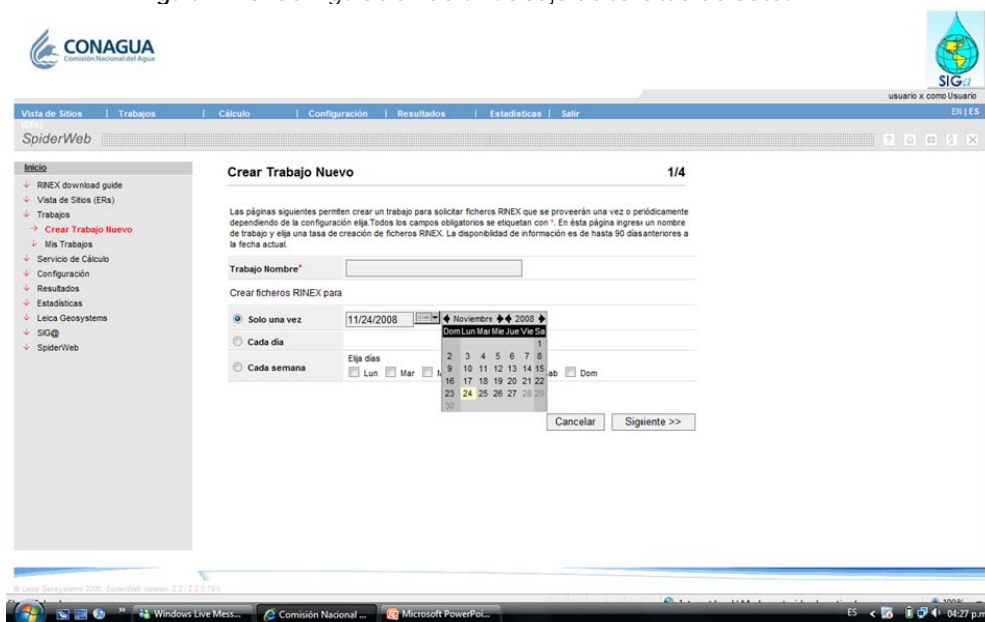


Figura VI.14. Selección de la fecha para la creación de un trabajo nuevo de solicitud de archivos.

Una vez que se ha elegido la fecha de datos correspondiente, elegimos el intervalo de tiempo necesario para procesar la información de campo⁴¹.

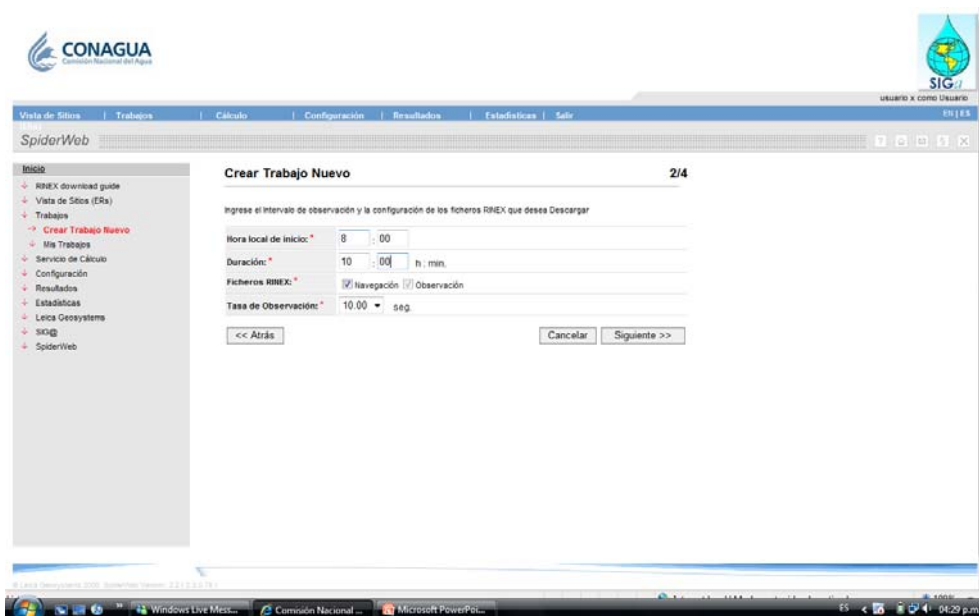


Figura VI.15. Introducción de la hora de inicio y la duración del intervalo de tiempo de los datos.

En seguida, tenemos que elegir la(s) Estación(es) de Referencia GPS más cercana(s) al sitio donde se efectuó el levantamiento con los receptores diferenciales:

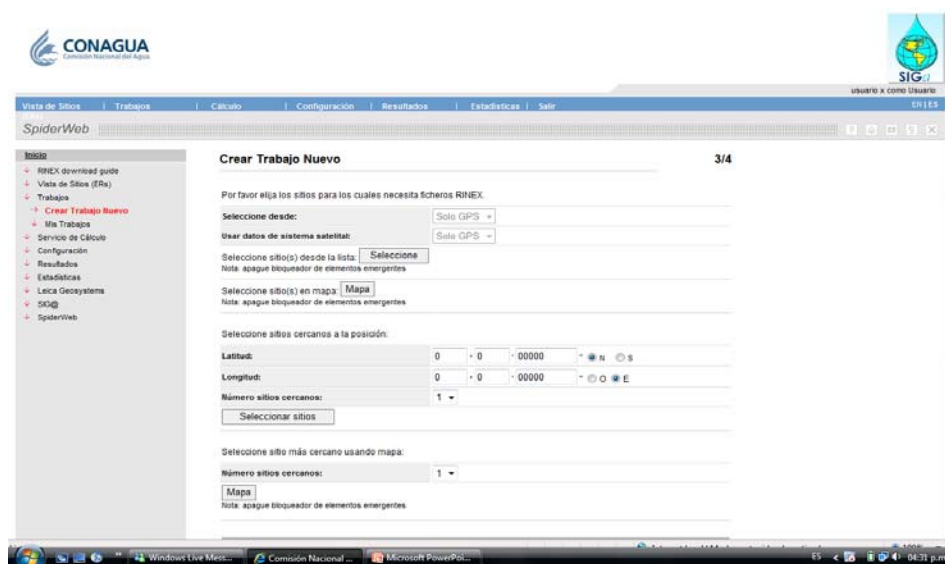


Figura VI.16. Selección de los sitios

⁴¹ Si iniciamos nuestro levantamiento a las 09:00hrs del día y terminamos las 18:00hrs, lo que se recomienda es elegir una hora antes y una hora después para incluir todas las observaciones registradas y no dejar alguna fuera del procesamiento.

Vamos a la opción **Seleccione sitio(s) desde la lista:** y damos clic en el botón **Seleccione** para mostrar el listado de las Estaciones GPS en una ventana nueva:

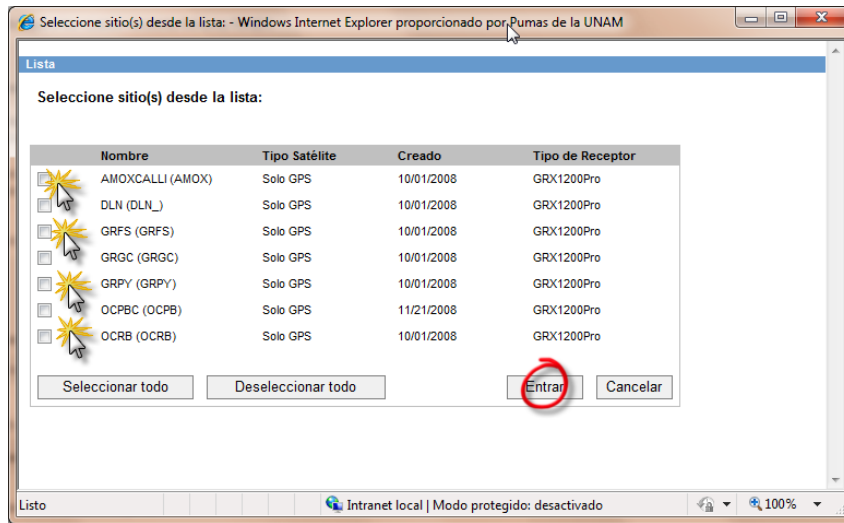


Figura VI.17. Selección de Estaciones de Referencia GPS

Ya que seleccionamos la Estación o Estaciones correspondientes, se despliega en la parte inferior el resultado de nuestra selección y damos clic en **Siguiente >>**:

Crear Trabajo Nuevo 3/4

Por favor elija los sitios para los cuales necesita ficheros RINEX.

Seleccione desde:

Usar datos de sistema satelital:

Seleccione sitio(s) desde la lista:

Nota: apague bloqueador de elementos emergentes

Seleccione sitio(s) en mapa:

Nota: apague bloqueador de elementos emergentes

Seleccione sitios cercanos a la posición:

Latitud: ° ′ ″ N S

Longitud: ° ′ ″ O E

Número sitios cercanos:

Seleccione sitio más cercano usando mapa:

Número sitios cercanos:

Nota: apague bloqueador de elementos emergentes

Sitios Elegidos	Código de Sitio	Tipo de Receptor	Tipo Satélite
AMOXCALLI	AMOX	GRX1200Pro	Solo GPS

Figura VI.18. Estación de Referencia GPS elegida.

Por último, en el paso 4/4 se muestra una ventana con la “cuota” por extracción de datos previamente establecida. Aunque en este momento no es la finalidad de la Comisión Nacional del Agua cobrar por este servicio, a la Subgerencia le es útil saber cuánto se estaría generando en recursos si se usara con fines de estimar el costo-beneficio. Esta aplicación permite la cuantificación de su uso, aunque en este caso es hipotético al momento.

The screenshot shows the SpiderWeb application interface. The header includes the CONAGUA logo and the SIG logo. The main content area is titled 'Crear Trabajo Nuevo' and shows step 4/4. A table displays the following data:

Sitios Elegidos	Inicio	Duración	Costo por descarga (\$)
AMOXCALLI(AMOX)	8:00 h	8:00 h	2680.00

Below the table, there is a note: 'Los costos calculados son estimados y pueden variar dependiendo de posibles ausencias de datos, etc.' and another note: 'Nota: Un Trabajo de una sola vez no será listado en la página Mis Trabajos. También un trabajo caducado será eliminado de la lista de trabajos.' At the bottom, there are buttons for '<< Atrás', 'Cancelar', and 'Entrar'.

Figura VI.19. Estimación del costo por descarga de datos RINEX.

Después dar clic en el botón **Entrar** para enviar la solicitud de archivos RINEX al Servidor Central.

Inmediatamente, se desplegará la pantalla de bienvenida al portal de la herramienta. Damos clic en la opción del margen izquierdo **Resultados** para consultar nuestra solicitud.

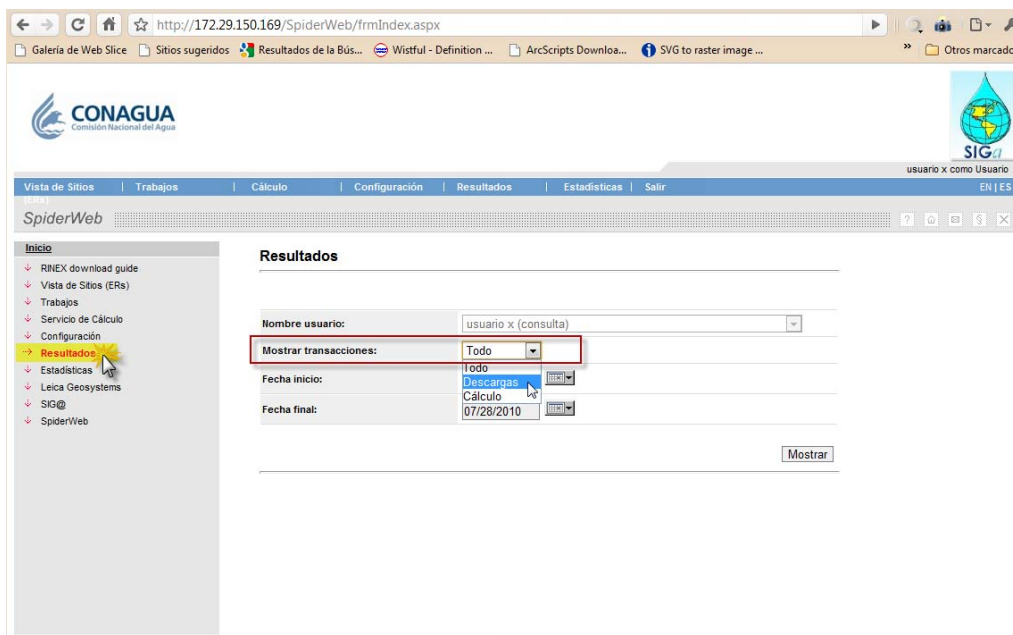


Figura VI.20. Pantalla de Resultados en la lista de transacciones.

Al elegir Descargas y dar clic en el botón **Mostrar**, se desplegará otra ventana con las Descargas de datos RINEX disponibles para nuestra cuenta de usuario:

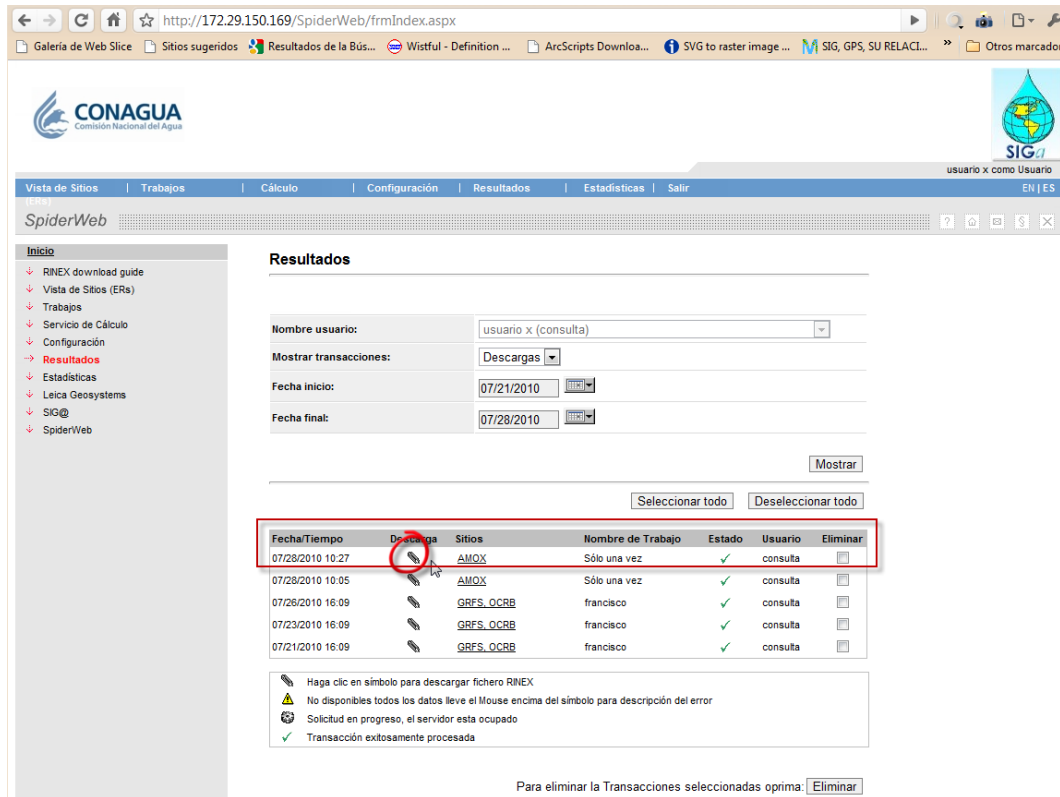


Figura VI.21. Trabajo concluido y disponible para su descarga.

Lo que realizamos a continuación es bajar los archivos de datos en formato ZIP (archivos compactados), damos clic en el ícono de archivos adjuntos

Descargar ficheros RINEX para usuario consulta

Haga clic en nombre del fichero para descargarlo. La disponibilidad de información es de hasta 90 días anteriores a la fecha actual.

Selection buttons:

Fecha RINEX	Hora RINEX	Sitio	Fichero	Costo	Tasa de Registro	Tamaño (kB)	Descargas	Eliminar
07/25/2010	13:00	AMOXCALL	amox206n00_102751.zip	2880.00 \$	1.00	5353.88	No	<input type="checkbox"/>

Download button:

Para eliminar fichero(s) RINEX seleccionados oprima:

Figura VI.22. Descargar datos en formato ZIP.

En el botón damos clic para iniciar la descarga:

Descarga

Descargando fichero 07_28_2010amox206n00_102751.zip (5038 kB) conteniendo

Nombre Fichero	Tamaño Fichero(kB)
amox206n00.10n	49
amox206n00.10o	15698

Descargar Archivo Atrás

Figura VI.23. Resumen de los datos por descargar con el tamaño de los archivos en kilobytes.

Y por último, descargamos los archivos en la carpeta de nuestra elección para finalizar el procedimiento:

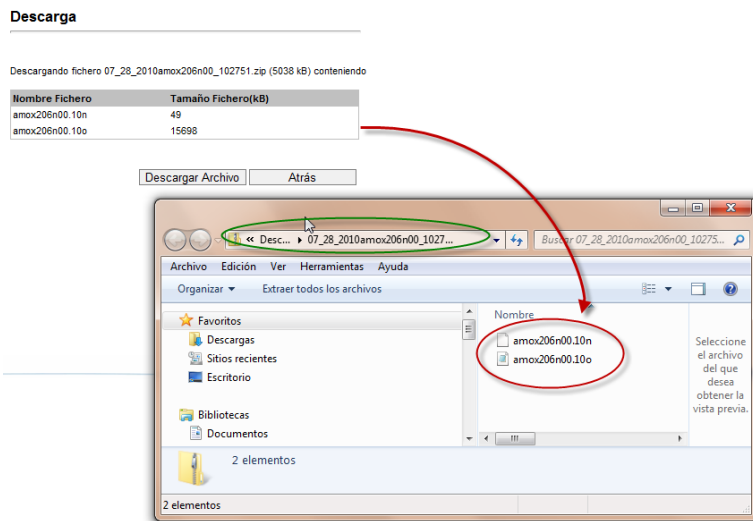


Figura VI.24. Depósito de los archivos en formato RINEX en la carpeta local de nuestro equipo de cómputo.

Con este conjunto de archivos RINEX se puede llevar a cabo el postprocesamiento diferencial, procedimiento que será explicado en la siguiente sección.

VI.6. CÁLCULO DE COORDENADAS CON EL SOFTWARE DE LOS RECEPTORES GPS Y LA HERRAMIENTA EN LINEA (LLAVE-EN-MANO).

Como se mencionado en la sección anterior, esta aplicación que corre en Web para la consulta de datos RINEX generados por las Estaciones de Referencia GPS de la Comisión Nacional del Agua permite efectuar el cálculo de coordenadas en línea de levantamientos realizados con equipos GPS diferenciales o geodésicos incluso.

El módulo instalado en la herramienta se llama Cálculo de Coordenadas y consiste en un software que se ejecuta en segundo plano (*Leica GeOffice LGO* en procesamiento *background*) en donde el usuario final no se entera de su existencia ya que de manera interactiva se le solicitan los archivos RINEX para su uso (subir los datos vía Internet).

El único requisito es tener los archivos del levantamiento en formato RINEX, esto se puede lograr con el software que viene incluido en los receptores diferenciales, marca Leica GS20, denominado GIS Data Pro.

Aquí presentamos un ejercicio del cálculo de coordenadas realizado tanto con el software GIS Data Pro y la opción Cálculo de Coordenadas de la herramienta en línea.

Cabe mencionar que el software para el procesamiento de datos está diseñado para equipos GPS para aplicaciones cartográficas (GIS) y el software que hace el procesamiento en línea es para equipos que manejan las dos bandas L1, L2 y Fase portadora por lo que se notará la diferencia y la aplicación de cada uno está orientado a la precisión de los equipos a los que están dedicados.

Por otra parte, el procesamiento en línea sólo nos mostrará el resultado en un archivo ASCII, es decir, en texto simple punto por punto, mientras que GIS Data Pro nos permitirá exportar los resultados tanto a texto simple como a archivos para trabajo en Sistemas de Información Geográfica (Formato *ShapeFile*).

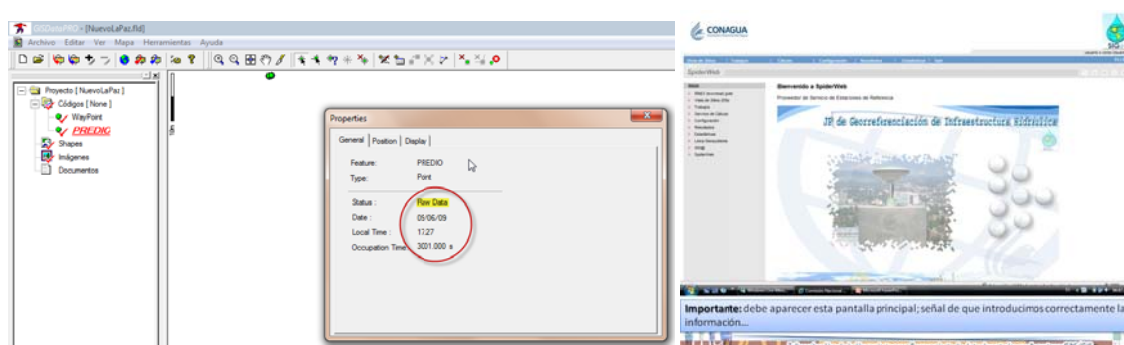


Figura VI.25. Software de procesamiento de datos de los receptores GPS diferenciales y Herramienta en línea (Llave-en-Mano)

VI.6.1. PROCESAMIENTO CON EL SOFTWARE GIS DATA PRO.

Después de efectuar los levantamientos con los equipos GPS diferenciales, se cargan los datos desde la tarjeta de almacenamiento del receptor directamente en el software:

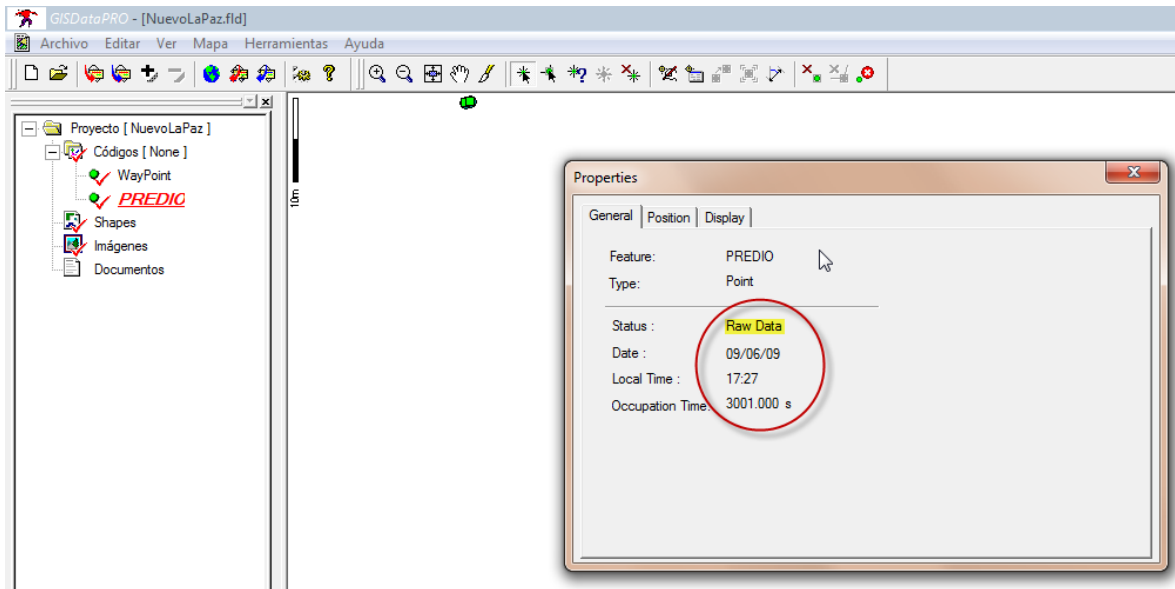


Figura VI.26. Levantamiento de puntos de control en La Paz, BCS.

En este caso, el levantamiento se efectuó en un predio de La Paz, BCS con la finalidad de propagar las coordenadas de una poligonal de apoyo para la delimitación de una zona federal en esa entidad.

Como se aprecia en la Figura VI.26 se trata de datos crudos sin procesamiento, con un tiempo de ocupación de 3001 segundos de duración del pasado 6 de septiembre del 2009.

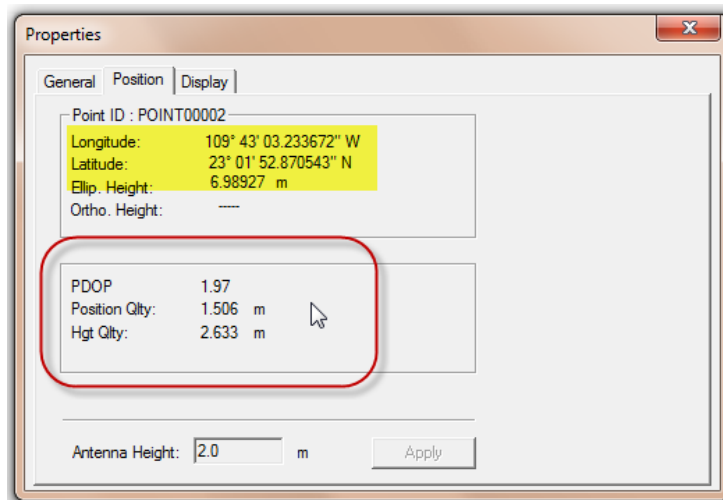


Figura VI.27. Parámetros de calidad de los datos crudos del levantamiento (posición instantánea obtenida).

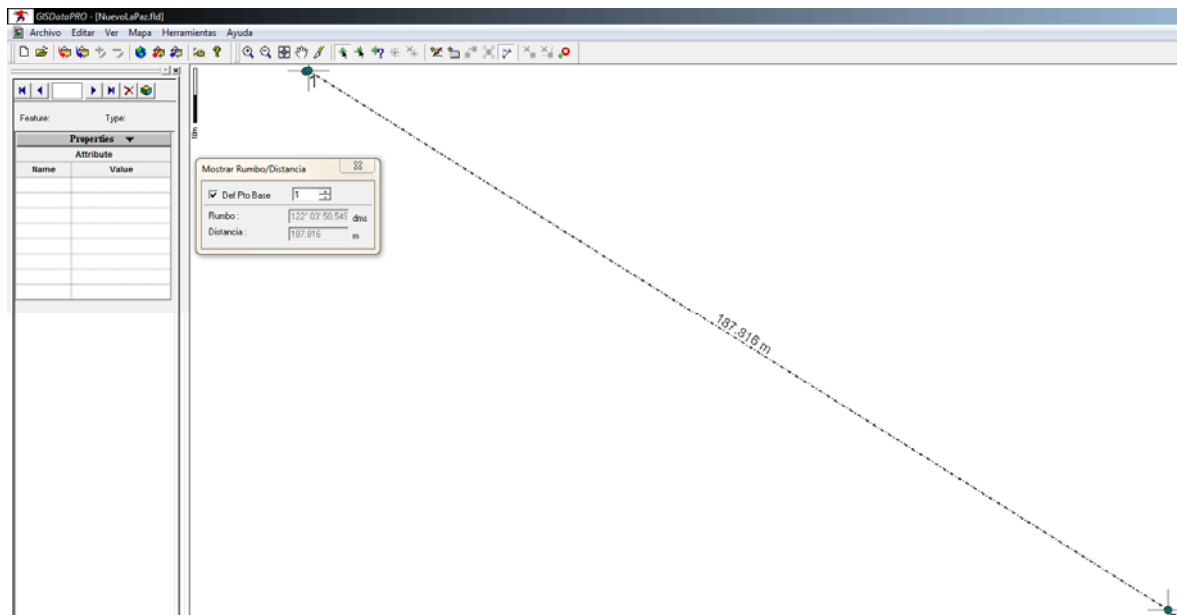



Figura VI.28. Distancia máxima entre los 3 vértices levantados.

Para iniciar el procesamiento diferencial, debemos dar clic en el ícono del globo verde/azul de la barra de herramientas .

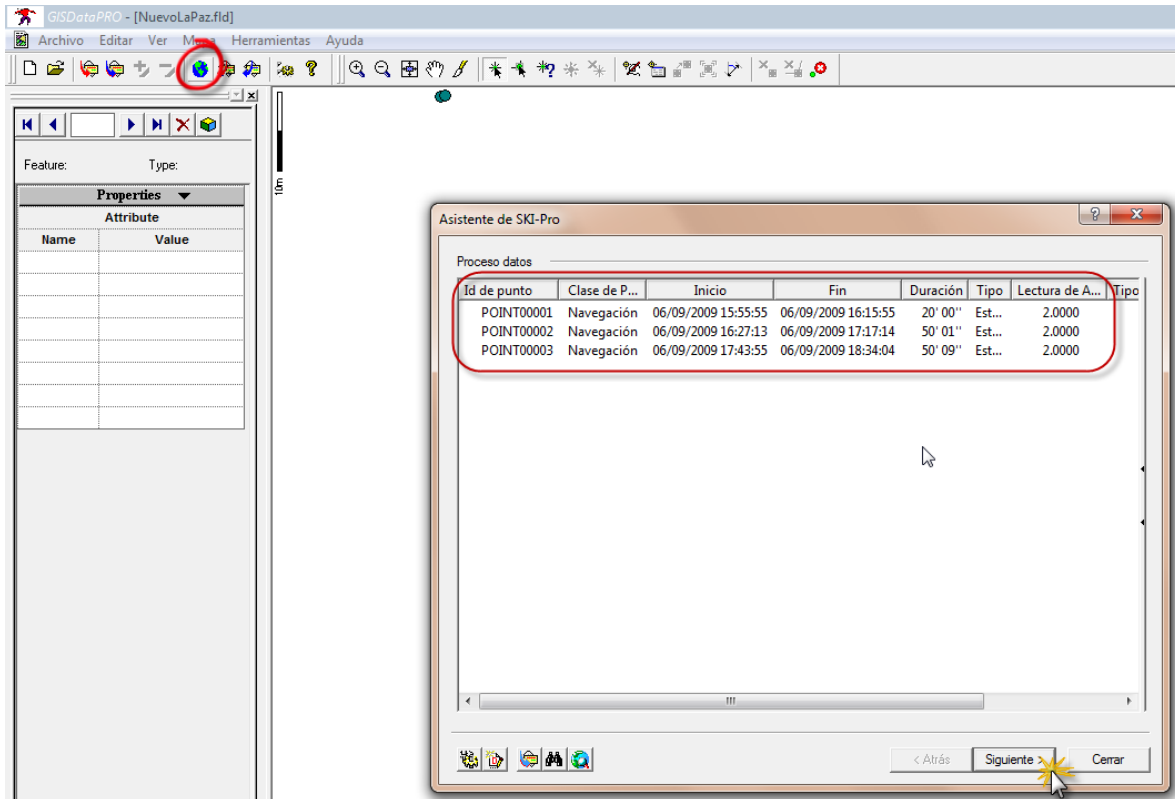
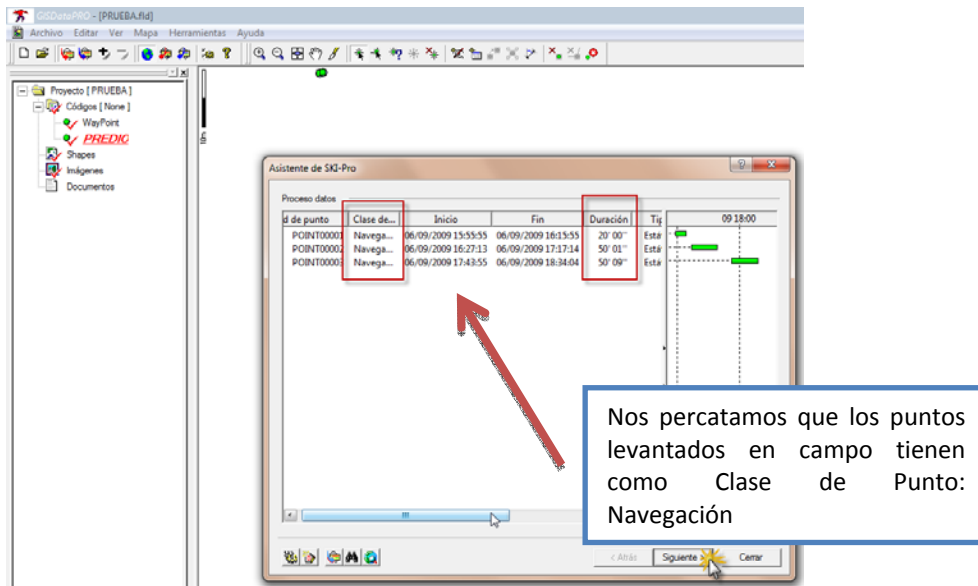
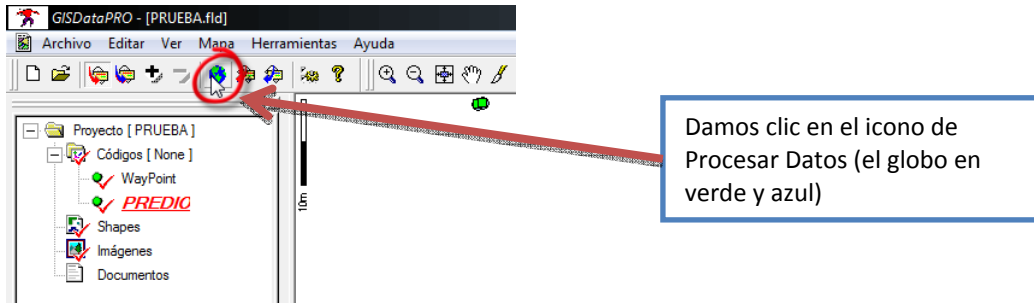



Figura VI.29. Resumen de los datos de los tres puntos del levantamiento.

En seguida, observamos que los tres vértices son del tipo **Navegación**, según se aprecia en la columna *Clase de punto...*



Ahora, agregaremos los datos de posición de las Estaciones de Referencia GPS LPAZ (La Paz, BCS) y CULC (Culiacán, Sin.), ambas propiedad del INEGI; damos clic en el ícono  **Importar datos GPS**:

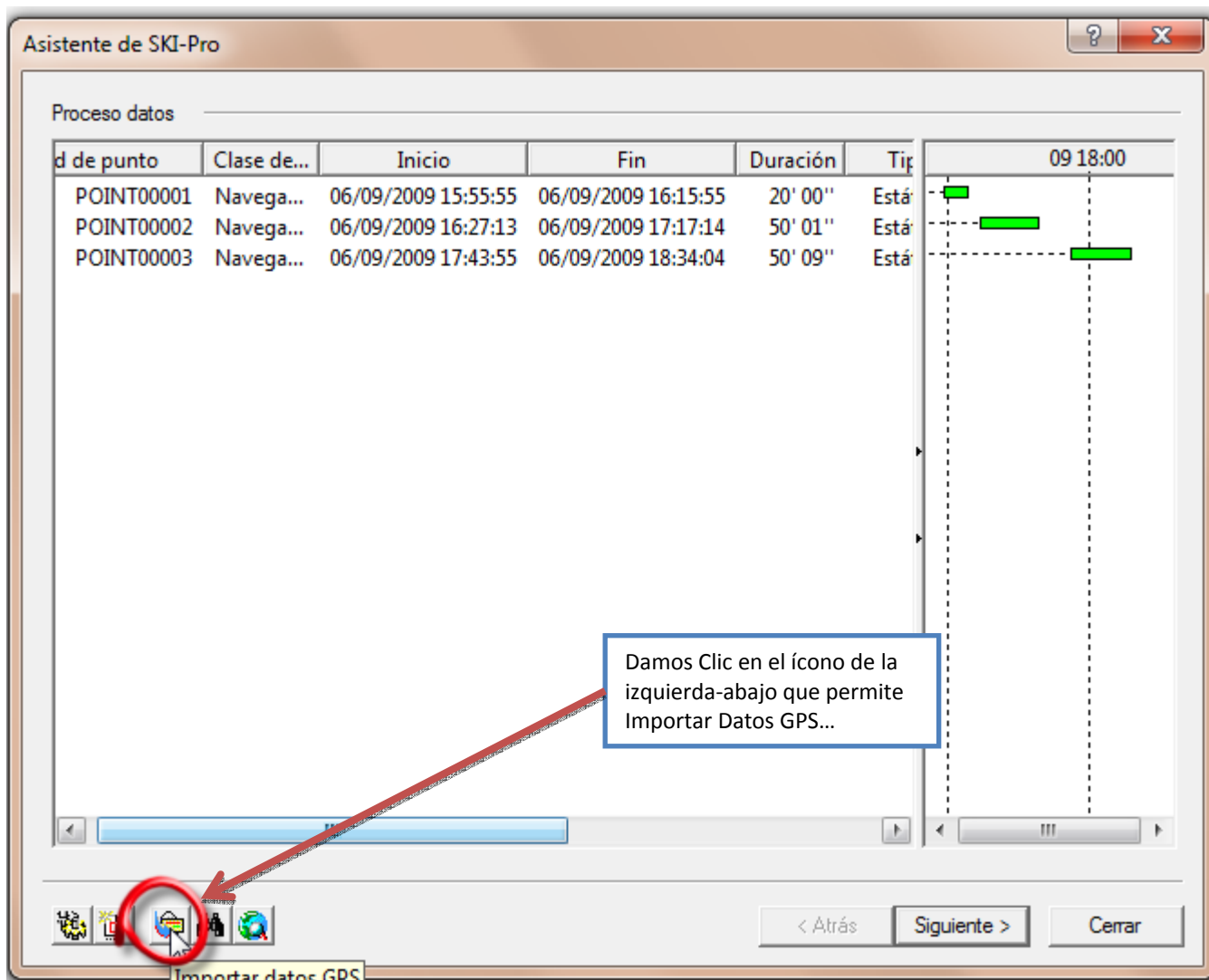


Figura VI.30. Importación de datos de la Estación de Referencia GPS "La Paz" del INEGI.

Como hemos mencionado anteriormente, las Estaciones del INEGI registran los datos de posición a cada 15 segundos. Sin embargo, esta es la única Estación lo más cercana del lugar del levantamiento y hay una necesidad de utilizar lo que esté a nuestro alcance.

Nos damos cuenta que las Estaciones Culiacán y La Paz se añaden a la lista de datos por procesar. Sólo que en la Columna **Clase de Punto** aparecen como **Navegación**. Tenemos que cambiar este parámetro porque serán puntos de **Control** o fijos.

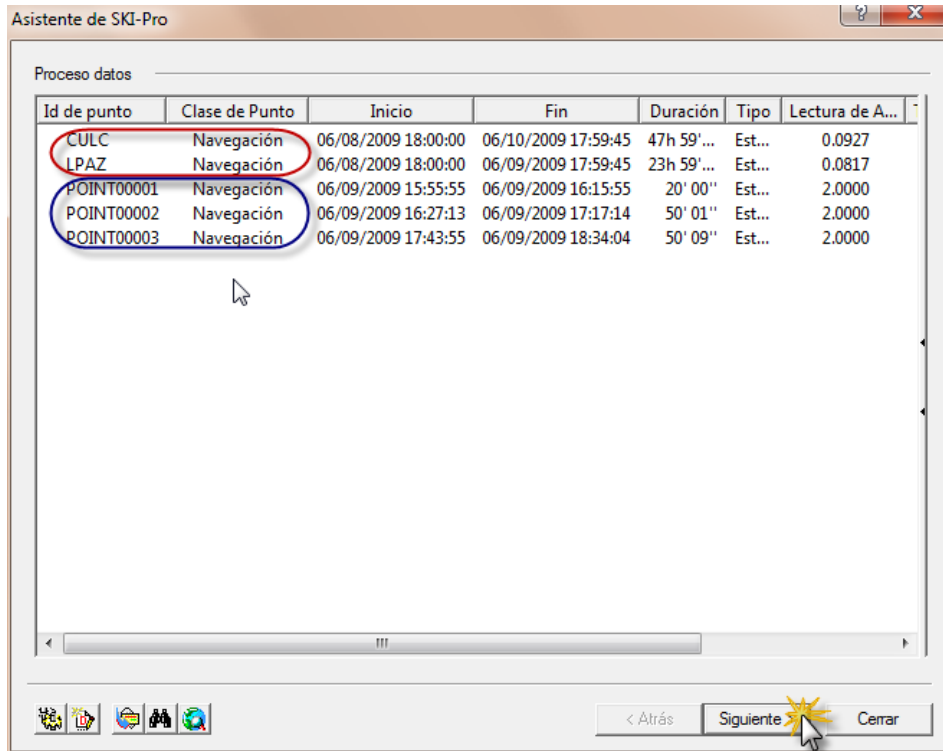


Figura VI.31. Los 3 vértices del levantamiento y las 2 Estaciones del INEGI (LPAZ y CULC).

Para efectuar el cambio de la Clase de Punto a las Estaciones de Referencia GPS, seleccionamos cualquiera de ellas y con clic de la derecha aparece un menú contextual. Seleccionamos **Editar Punto...**

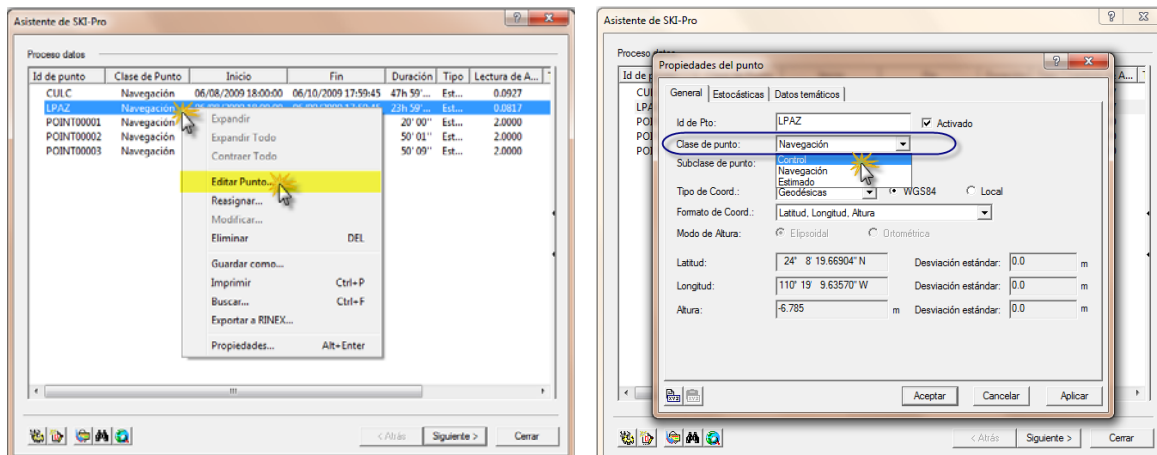


Figura VI.32. Cambio de Clase de Punto de la Estación de Referencia LPAZ (Punto de Control).

Este mismo procedimiento lo repetimos para la Estación CULC para tener dos puntos de Control.

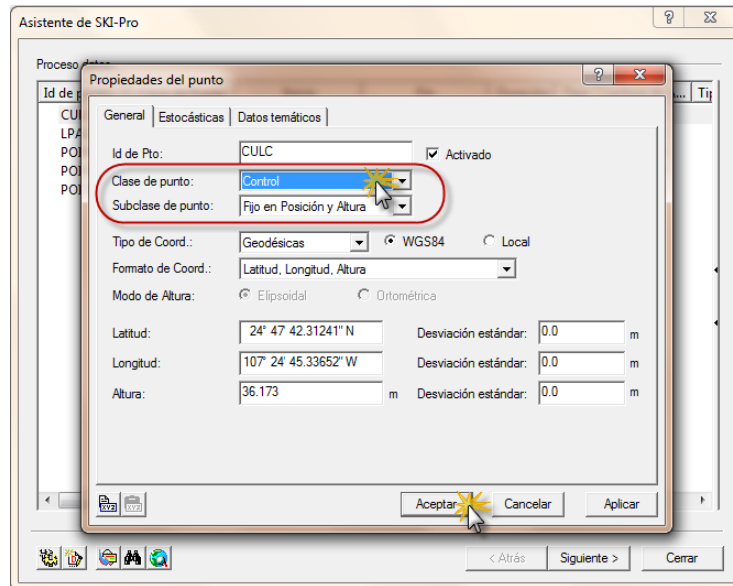


Figura VI.33. Punto de Control CULC (Culiacán, Sin.)

Ahora, tenemos que configurar los parámetros del procesamiento diferencial, al dar clic en el ícono que corresponde a **Parámetro de proceso de datos** 

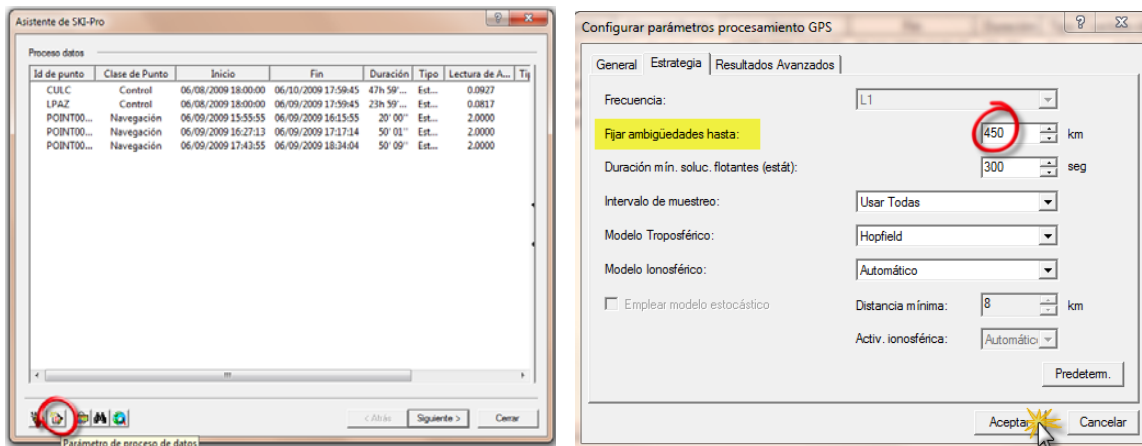


Figura VI.34. Configuración de parámetros para el procesamiento diferencial.

Cambiamos a la pestaña **Estrategia**. Anotamos el valor de 450km para el dato de **Fijar ambigüedades hasta:** y dejamos los demás campos sin cambio.

Lo anterior, con la finalidad de que el software reconozca todas aquellas líneas base que se produzcan en el cálculo iguales o menores a 450km.

De igual forma, cambiamos a **Resultados Avanzados** para activar la opción **Residuales**. Damos clic en Aceptar para continuar.

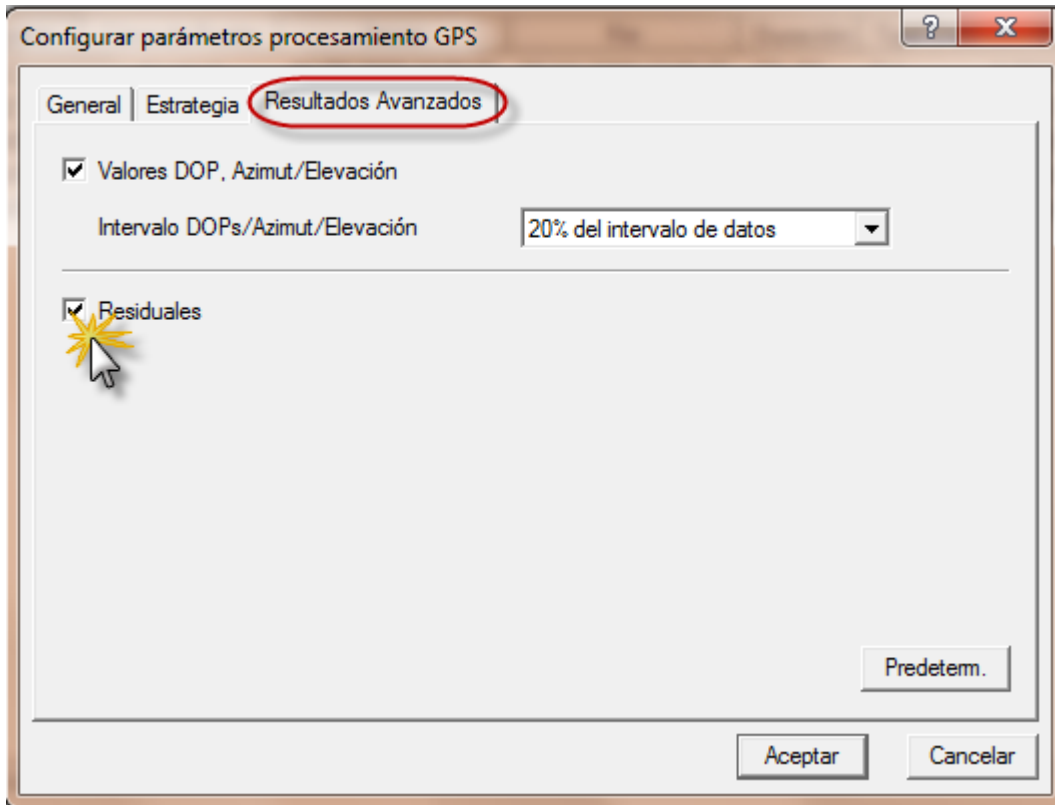


Figura VI.35. Cálculo de residuales en el procesamiento diferencial.

Regresamos a la pantalla **Asistente de SKI-Pro** para dar clic en el ícono Procesar Datos GPS

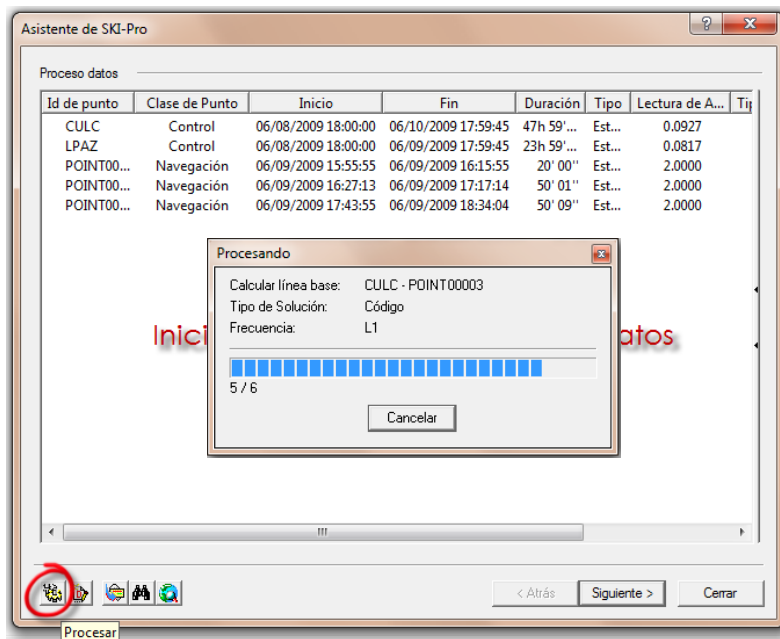


Figura VI.36. Procesamiento diferencial de los datos.

Una vez concluido el proceso de cálculo, revisamos las pantallas resultantes:

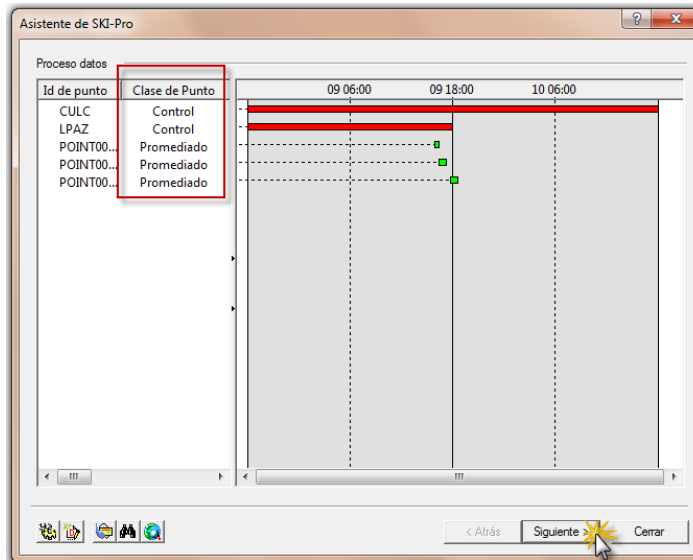


Figura VI.37. Cálculo de los promedios de las coordenadas de los 3 vértices.

Como se aprecia, el valor asignado en la columna **Clase de Punto** para los 3 vértices procesados cambió a **Promediado**. Revisaremos entonces los parámetros de calidad que resultaron del cálculo.

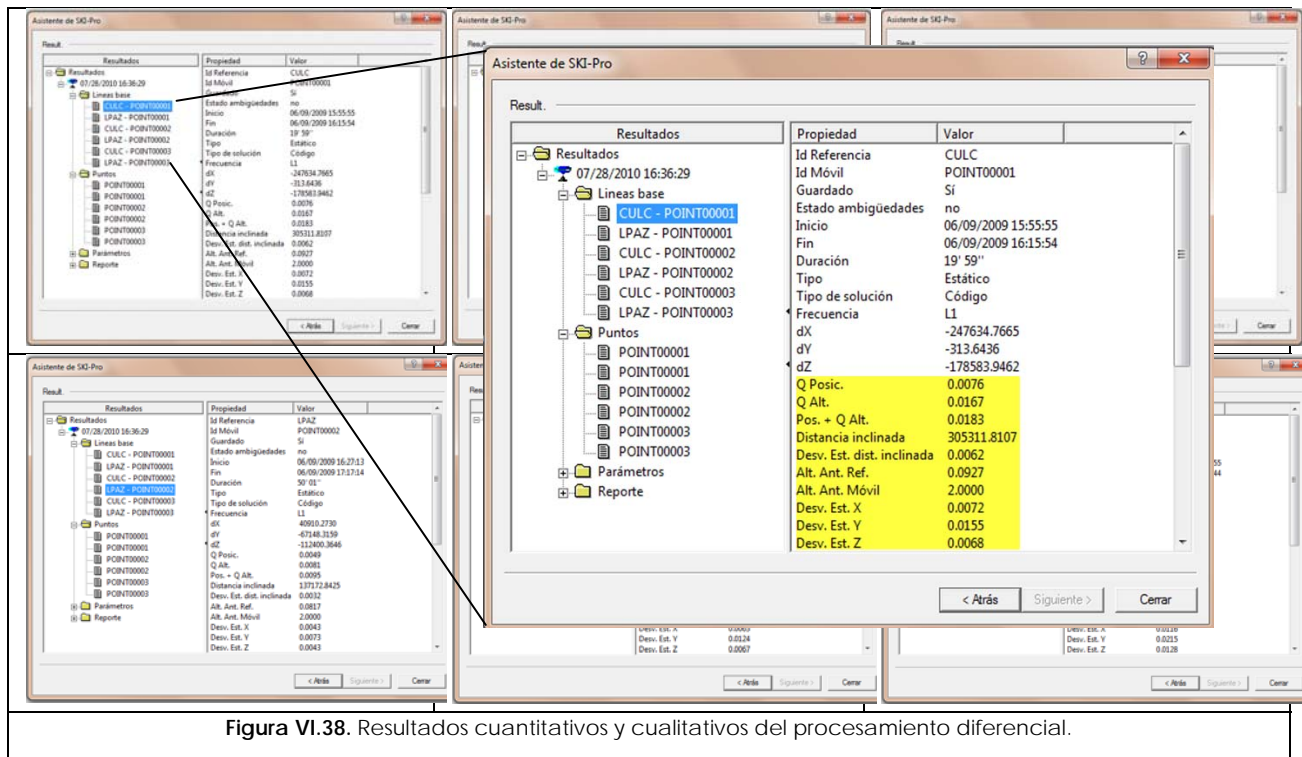


Figura VI.38. Resultados cuantitativos y cualitativos del procesamiento diferencial.

En el **Anexo G** se muestra a mayor detalle el Reporte por línea base y por punto de las coordenadas finales, así como el control de calidad utilizado en el proceso diferencial.

En seguida, se muestra el ejemplo de reporte obtenido para el cálculo de la línea base **LPAZ-POINT00001**:

Resultados-Línea base (Software GIS Data Pro v.3.18)

LPAZ- POINT00001

Información del Proyecto

Nombre del Proyecto:	NuevoLaPaz
Fecha de creación:	07/28/2010 12:30:05
Huso horario:	-6h 00'
Sistema de coordenadas:	WGS 1984
Programa de aplicación:	Leica GIS DataPro
Kernel de Procesamiento:	PSI-Pro1 .0
Procesado:	07/28/2010 16:36:29

Información de punto

	Referencia: LPAZ	Móvil: POINT00001
Tipo de receptor/N/S:	TRIMBLE5700 / 0220294762	GS20 / 62003
Tipo de antena/N/S:	ZEPHYR GEODETIC / 12382816	AT501 Pole / -
Altura de antena:	0.0817 m	2.0000 m
Coordenadas iniciales:		
Latitud:	24 08'19.66904"N	23 01'52.87278"N
Longitud:	110°19'09.63570"W	109 43'03.21451"W
Alt Ortom.:	-	-

Parámetros de procesamiento

Parámetros	Selección	Usado	Comentario
Ángulo de elevación:	5°	5°	
Tipo de efemérides:	Transmitidas	Transmitidas	
Tipo de solución:	Código	Código	
Frecuencia:	Solo L1	Solo L1	
Fijar ambigüedades hasta:	450 km	450 km	
Duración mínima para solución flotante (estático):	5' 00"	5' 00"	
Intervalo de muestreo:	Usar Todas	1	

Modelo troposférico:	Hopfield	Hopfield
Modelo ionosférico:	Automático	Calculada
Emplear modelo estocástico:	No	No

Selección de satélites

Satélites inhabilitados manualmente:	Ninguno
--------------------------------------	---------

Modelo ionosférico calculado

Número de modelos calculados:	1
Intervalo de muestreo del modelo ionosférico:	30 seg
Altura de la capa individual:	350 km

Modelo1:

Origen del desarrollo:	Latitud:	24°08'19.66904"N		
	Longitud:	110°19'9.63570"W		
	Hora (UT):	06/09/2009 21:10:55		
Validez:	De época:	06/10/2009 03:10:55		
	A época:	06/10/2009 05:59:45		
Coeficientes:	Grados de Lat.	Grados de hora	Valor	<i>emc</i>
	0	0	-1.15269657	0.04886707
	0	1	-0.73132746	0.14232159
	0	2	0.49431941	0.08875171
	1	0	-1.02031145	0.05188290
	1	1	0.68952922	0.05493328

Información de antena

	Referencia:LPAZ	Móvil:POINT00001
Tipo de antena:	ZEPHYR GEODETIC	AT501 Pole
Número de serie:	12382816	-
Offset Horizontal:	0.0000 m	0.0000 m
Offset Vertical:	0.0000 m	0.0000 m
Correcciones adicionales:	Ninguno	Elevación y azimut

Offsets de centro de fase	L1 (Referencia)	L2 (Referencia)	L1 (Móvil)	L2 (Móvil)
Vertical:	0.0000 m	0.0000 m	0.0683 m	
Este:	0.0000 m	0.0000 m	0.0000 m	
Norte:	0.0000 m	0.0000 m	0.0000 m	

Estadísticas de observación

Número de épocas comunes:	1200
Número de observaciones empleadas (L1):	12219
Número de observaciones rechazadas (L1):	0

Estadísticas de saltos de ciclo

Número total de saltos de ciclo:	0
----------------------------------	---

Coordenadas finales

	Referencia: LPAZ	Móvil: POINT00001
Coordenadas:		
Latitud:	24°08'19.66904"N	23 01'52.81736"N
Longitud:	110°19'09.63570"W	109 43'03.19239"W
Alt Ortom.:	-	-
Tipo de solución:	Código	
Frecuencia:	Solo L1	
Ambigüedad:	No	
Calidad:	Desv. Est. Lat: 0.0048 m	Desv. Est. Lon: 0.0046 m
	Q Posic.: 0.0066 m	Desv. Est. Alt.: 0.0143 m
		Desv. Est. Inclínada: 0.0042 m

Como resumen, tenemos lo siguiente:

Id de punto	Clase de punto	Época	Latitud	Longitud	Alt. Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
POINT00001	Promediado	06/09/2009 15:55	23° 01' 52.81991" N	109° 43' 03.2	7.5021	0.3239	0.0963	0.338
POINT00002	Promediado	06/09/2009 16:27	23° 01' 52.81944" N	109° 43' 03.1	7.6746	0.3524	0.0861	0.3628
POINT00003	Promediado	06/09/2009 17:43	23° 01' 49.60813" N	109° 42' 58.0	-5.0496	0.2042	0.1257	0.2398

Es decir, después del procesamiento las coordenadas presentan un error menor a los 0.37m en las tres componentes (valor Pos. + Q Alt. en x,y,z)

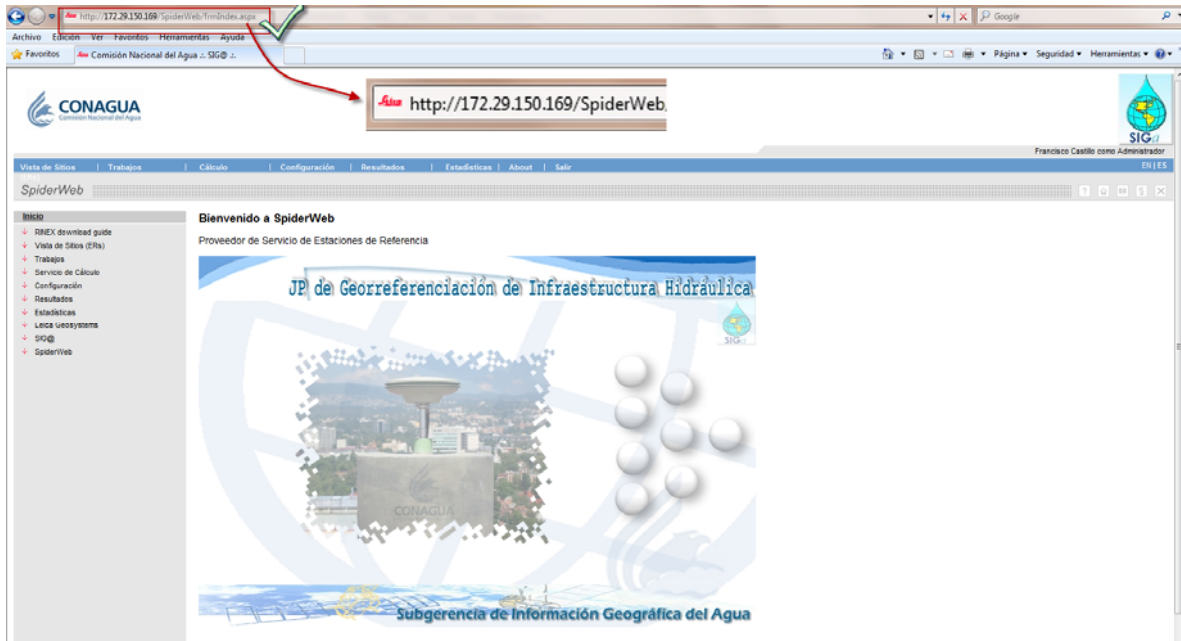


Figura VI-40. Página de inicio de la herramienta en línea para consulta/procesamiento de información colectada en campo con equipos GPS diferenciales.

En el menú del margen izquierdo, elegimos la opción **Servicio de Cálculo** para acceder a las opciones de envío de archivos al servidor central de procesamiento; inmediatamente, damos clic en **Seleccione sitio(s) desde la lista**:

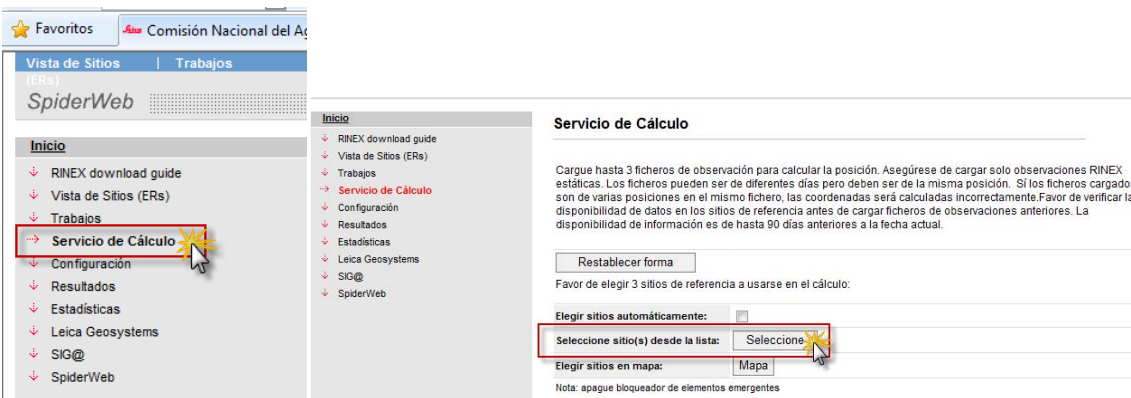


Figura VI-41. Selección de sitio(s) para el procesamiento de los datos.

El paso anterior se refiere a elegir la Estación de Referencia más cercana a la zona donde efectuamos el o los levantamientos. Cabe señalar que el radio de acción de cada Estación de Referencia está configurado en 500km.

En seguida, se muestra la lista con las Estaciones de Referencia disponibles y conectadas al Servidor Central de Administración de Estaciones; en este caso, seleccionamos AMOXCALLI, ubicado en el Distrito Federal, ya que el punto levantado corresponde a la Ciudad de Toluca, Estado de México ubicado dentro del radio de acción de los 500km como máximo:

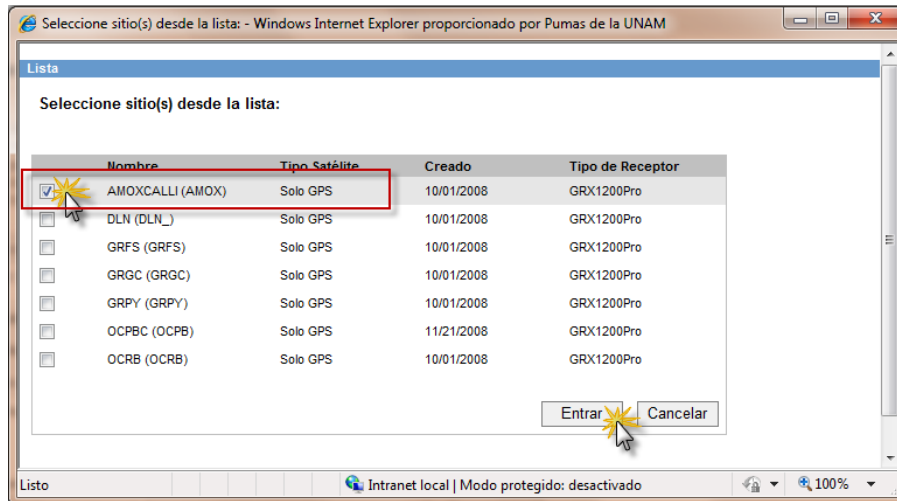


Figura VI-42. Selección de la Estación de Referencia GPS más cercana al sitio del levantamiento.

Una vez que está marcada la casilla de la izquierda de la Estación damos clic en Entrar para aceptar la selección.

Lo siguiente es subir los datos RINEX del levantamiento correspondiente, en este caso, el archivo TOL2126a. 10o como parte de las observaciones registradas en el receptor GPS móvil:

Servicio de Cálculo

Cargue hasta 3 ficheros de observación para calcular la posición. Asegúrese de cargar solo observaciones RINEX estáticas. Los ficheros pueden ser de diferentes días pero deben ser de la misma posición. Si los ficheros cargados son de varias posiciones en el mismo fichero, las coordenadas será calculadas incorrectamente. Favor de verificar la disponibilidad de datos en los sitios de referencia antes de cargar ficheros de observaciones anteriores. La disponibilidad de información es de hasta 90 días anteriores a la fecha actual.

Restablecer forma

Favor de elegir 3 sitios de referencia a usarse en el cálculo:

Elegir sitios automáticamente:

Seleccione sitio(s) desde la lista:

Elegir sitios en mapa:

Nota: apague bloqueador de elementos emergentes

Sitios elegidos para cálculo de posición:

Nombre	Código	Tipo de Receptor	Tipo Satélite
AMOXCALLI	AMOX	GRX1200Pro	Solo GPS

Por favor vea que la máxima distancia permitida entre la referencia y el rover (en metros) es 500000

Carga de Fichero Observaciones 1:

Carga de Fichero Observaciones 2:

Carga de Fichero Observaciones 3:

Elija precisión de cálculo:

Precisión de cálculo:

O Ingrese valores de cálculo de precisión manualmente:

Ingrese mm aquí:

Ingrese ppm aquí:

Los resultados calculados automáticamente son para usarse solo como referencia. El proveedor de datos y Leica Geosystems AG no garantizan que el cálculo automático sea correcto (ambos metodología y resultados) y no habrá responsabilidad por ninguna pérdida o daño (incluyendo pero no limitada a consecuentes pérdidas o daños) de cualquier forma causadas, las cuales puedan provenir directa o indirectamente del uso o aplicación de los resultados calculados. Por favor verifique los resultados automáticos antes de usarlos.

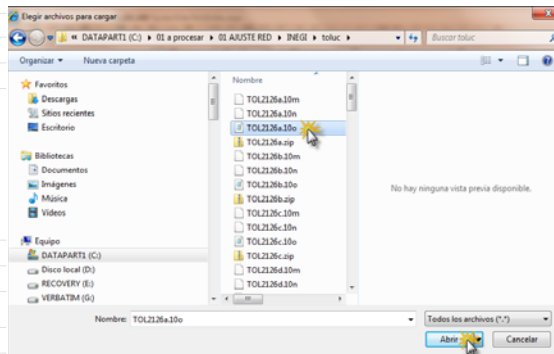


Figura VI-43. Carga de archivos de observaciones de levantamiento con receptor GPS diferencial.

Podemos cargar hasta 3 archivos de observaciones por sesión. De igual forma, podemos establecer en el apartado **Precisión de cálculo** el valor correspondiente, ya sea los valores que vienen por default o

ingresar manualmente los milímetros y partes por millón máximos esperados. Damos clic en **Entrar** para enviar la solicitud de cálculo al servidor:

Sitios elegidos para cálculo de posición:

Nombre	Código	Tipo de Receptor	Tipo Satélite
AMOXCALLI	AMOX	GRX1200Pro	Solo GPS

Por favor vea que la máxima distancia permitida entre la referencia y el rover (en metros) es 500000

Carga de Fichero Observaciones 1:

Carga de Fichero Observaciones 2:

Carga de Fichero Observaciones 3:

Elija precisión de cálculo:

Precisión de cálculo:	20mm+5ppm
O ingrese valores de cálculo de pre:	ingresar manualmente
Ingrese mm aquí:	10mm+3ppm
Ingrese ppm aquí:	20mm+5ppm

Los resultados calculados automáticamente son para usarse solo como referencia. El proveedor de datos y Leica Geosystems AG no garantizan que el cálculo automático sea correcto (ambos metodología y resultados) y no habrá responsabilidad por ninguna pérdida o daño (incluyendo pero no limitada a consecuentes pérdidas o daños) de cualquier forma causadas, las cuales puedan provenir directa o indirectamente del uso o aplicación de los resultados calculados. Por favor verifique los resultados automáticos antes de usarlos.

Figura VI-44. Parámetros de precisión del cálculo.

Ahora, la herramienta nos envía a la pantalla de inicio, por lo que debemos dar clic en el Menú de la izquierda llamado **Resultados** para mostrar el cálculo solicitado:

Inicio	
↓ RINEX download guide	
↓ Vista de Sitios (ERs)	
↓ Trabajos	
↓ Servicio de Cálculo	
↓ Configuración	
→ Resultados	
↓ Estadísticas	
↓ Leica Geosystems	
↓ SIG@	
↓ SpiderWeb	

Resultados	
Nombre usuario:	Francisco Castillo (fcastillo)
Mostrar transacciones:	Cálculo
Fecha inicio:	Todo
Fecha final:	Descargas
	Cálculo
	08/09/2010

Figura VI-45. Despliegue de los Resultados del cálculo de coordenadas.

En **Mostrar transacciones** seleccionamos *Cálculo* y damos clic en **Mostrar**.

Resultados

Nombre usuario: Francisco Castillo (fcastillo)







Mostrar transacciones: Cálculo

Fecha inicio: 08/02/2010

Fecha final: 08/09/2010

Mostrar

Seleccionar todo Deseleccionar todo

Fecha/Tiempo	Descarga	Sitios	Estado	Usuario	Eliminar
08/09/2010 16:39		Cálculo de Coordenadas		fcastillo	<input type="checkbox"/>
08/09/2010 16:22		Cálculo de Coordenadas	 completado	fcastillo	<input type="checkbox"/>
08/09/2010 16:22		Cálculo de Coordenadas		fcastillo	<input type="checkbox"/>
08/02/2010 13:45		Cálculo de Coordenadas		fcastillo	<input type="checkbox"/>

Haga clic en símbolo para descargar fichero RINEX

No disponibles todos los datos lleve el Mouse encima del símbolo para descripción del error

Solicitud en progreso, el servidor esta ocupado

Transacción exitosamente procesada

Para eliminar la Transacciones seleccionadas oprima: Eliminar

Figura VI-46. Listado de las solicitudes de cálculo enviadas al servidor.

En la columna **Estado** verificamos que exista el ícono de una paloma en verde como evidencia de que se efectuó sin contratiempos la solicitud y en la columna **Descarga** debe estar presente el ícono de un clip metálico como señal de que está disponible el cálculo para su consulta en pantalla.

Damos clic en el ícono de la columna Descarga para consultar el resumen del cálculo y las coordenadas procesadas diferencialmente.

En la siguiente página se muestra el informe del resultado del Cálculo en comento.

This e-mail is automatically generated on request of Francisco Castillo by the SpiderWeb GPS Data Computation Service of Comisión Nacional del Agua.

Please do not use the reply facility of your email to respond to the sender. Any queries or suggestions regarding this GPS Processing Service should be addressed to: spiderweb@anydomain.com.

Your data was processed on 8/9/2010 4:39:46 PM.

Your chosen computation precision is 20mm+5ppm.

Your uploaded file(s):
TOL2126a.10o

Permanent GPS reference stations used for this computation:
AMOXCALLI

Rejected GPS baseline(s) because of ambiguity unsolved:
none

Rejected GPS baseline(s) by comparison of repeated baselines:
none

Rejected GPS baseline(s) by detection of outliers:
none

Baseline summary

AMOXCALLI -- TOL2:

5/6/2010 12:00:00 AM 00:59:45 -47416.527 5924.0444 -4525.6483
47998.9878 yes

Results of TOL2

Total number of GPS baselines computed = 1
Total number of GPS baselines used for final computation (after baseline rejection) = 1

WGS 84 Geodetic Coordinates

Latitude = 19° 17' 35.66774 N Standard error = 12.059 mm
Longitude = 99° 38' 36.51362 W Standard error = 10.014 mm
Ellipsoidal Height = 2650.031 m Standard error = 21.619 mm

Max. residual of GPS baseline in latitude component = 0 mm
Max. residual of GPS baseline in longitude component = 0 mm
Max. residual of GPS baseline in ellipsoidal height component = 0 mm

Local Grid Coordinates (not configured)

Northing = -
Easting = -
Ellipsoidal Height = -
Orthometric Height = -

Disclaimer

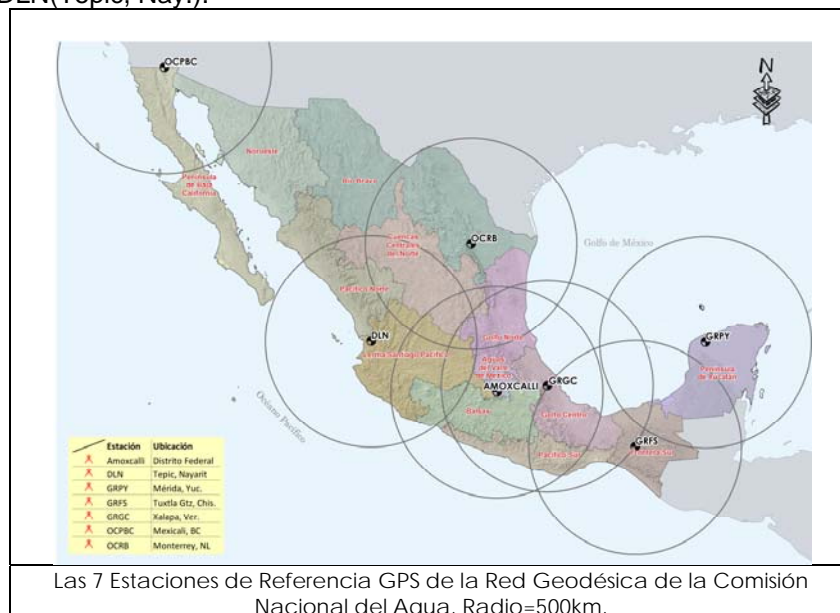
This automatic computation result is only for reference purposes. Comisión Nacional del Agua and Leica Geosystems provide no guarantee regarding the correctness of this automatic computation (both its methodology and result) and shall not be liable for any loss, damage or injury (including but not limited to consequential loss, damage or injury) however caused, which may arise directly or indirectly from the use or application of this automatic computation result. Please verify this automatic computation result before use.

Como se puede apreciar, el error estándar es de 12.059 mm en la latitud, de 10.014 mm en la longitud y de 21.619 mm en la altura sobre el elipsoide; es decir, son resultados más que satisfactorios en cuanto a la precisión esperada para un vértice levantado con un equipo de doble frecuencia tipo geodésico en levantamiento diferencial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como parte de las conclusiones a las que se ha llegado después de presentar el contenido de este documento, se pueden subrayar las siguientes:

1. Se propuso el diseño, instalación y puesta en marcha de la Red Geodésica de Estaciones de Referencia GPS en la Comisión Nacional del Agua, con la finalidad principal de proporcionar datos de posición de hitos a través de un sitio Web en la Red Interna de la propia Institución para mejorar la precisión de las coordenadas obtenidas en campo de las obras de infraestructura hidráulica en Organismos de Cuenca y/o Direcciones Locales. Con respecto a los aspectos técnicos atendidos:
 - a. La necesidad de contar con registros de posición a cada segundo en los intervalos de tiempo requeridos de cada Estación instalada, en tiempo casi real y en el radio de alcance se logró. Esto debido a que la Red Geodésica Nacional del INEGI, en ocasiones, no proporcionaba en tiempo y forma los datos correspondientes para efectuar el procesamiento diferencial. Ahora la Comisión Nacional del Agua cuenta con este y demás servicios orientados a sus usuarios internos que hacen uso de los receptores GPS diferenciales.
 - b. Se cumplió con la meta de instalar hasta antes de 2010 las 7 Estaciones de Referencia GRPY (Mérida, Yucatán), GRGC (Xalapa, Ver.), GRFS (Tuxtla Gutiérrez, Chis.), AMOXCALLI (Distrito Federal), OCPBC (Mexicali, BC), OCRB (Monterrey, NL) y DLN(Tepic, Nay.).



- c. Cada una de las Estaciones de Referencia GPS fueron instaladas con el debido cuidado para lograr la conexión biunívoca con el servidor de Estaciones Central y cada requerimiento fue gestionado y cubierto a cabalidad con la comunicación estrecha de los actores respectivos en Organismos de Cuenca/Direcciones Locales y Nivel Central.
- d. Los 7 equipos se encuentran operando al 100% y su uso es recurrente la infraestructura relativa a los temas como meteorología, climatología, hidrometría, administración del agua, uso Hidroagrícola, seguridad de presas, entre otros. Prácticamente no se han presentado situaciones de errores graves que ameriten más que mantenimiento preventivo esporádico en los equipos a lo largo de casi 5 años de operación continua.

- e. La Red Geodésica de la CONAGUA forma parte de una solución única en su tipo en la Administración Pública Federal de México.
 - f. La administración y configuración de cada Estación de Referencia se puede hacer desde la unidad central a través de la Red Nacional de Datos de la Comisión; este hecho genera un ahorro en materia de recursos humanos y su movilización ya que no se necesita la figura permanente de administrador en sitio, aún ante la mayoría de las situaciones normales de error en los equipos instalados. Luego entonces la supervisión es mínima.
 - g. Los usuarios pueden llevar a cabo la consulta, descarga y procesamiento de los datos de posición en cada una de las 7 Estaciones de Referencia instaladas, de una manera controlada a través de la herramienta en línea (*Llave-en-mano*) a la cual deben estar inscritos por el administrador central.
 - h. El sistema de seguimiento y control de las consultas y descargas de datos, permiten llevar a cabo un análisis costo-beneficio a la Institución, acorde al uso que se le da a través del tiempo.
 - i. Los usuarios de los receptores GPS diferenciales no tienen la necesidad de sacrificar un equipo en campo para colocarlo como base, en tanto que ya hacen uso de una o más marcas permanentes para propagar las coordenadas a los proyectos topográficos encomendados.
2. El cambio constante y vertiginoso de la tecnología también ha marcado la diferencia en los profesionales de cualquier carrera universitaria. Esto viene a colación porque parte de la evolución que tiene que ver con el Ingeniero Topógrafo Geodesta es la adopción de las herramientas tecnológicas que se le van presentando en el camino; y en la medida en que se tenga la apertura para adquirir nuevas habilidades y aplicarlas como herramientas de rutina y mejorar su desempeño laboral. En este sentido se concluye que:
- a. Ha sido de gran ayuda la adquisición de conocimientos en las tecnologías de la información y comunicaciones, factor determinante desde la implementación hasta la operación y administración de la Red de Estaciones de Referencia GPS. La principal aplicación de los conocimientos informáticos, aprendidos durante la vida profesional, es básicamente en el campo de la Georreferenciación; que se aprecia en las actividades de instalación y configuración de servidores de cómputo en los que se almacenan los datos de posición geográfica (segundo a segundo) de cada una de las 7 Estaciones de la Comisión Nacional del Agua.
 - b. Direcciones IP, cambio de dominio, servicio ftp, administrador de bases de datos, son conceptos y tareas que se deben dominar para la correcta operación de estos equipos de cómputo avanzados, ya que se interactúa cotidianamente y de cerca con el área de informática y telecomunicaciones para acordar las acciones de ejecución de servicios de índole informático. Son tareas que quizás se podrían delegar o subcontratar, sin embargo, la tendencia es que debido al adelgazamiento de las estructuras funcionales y el engrosamiento de las ocupacionales, cada vez es más imperativo realizar las actividades con la menor cantidad de recursos humanos y presupuestales, esto se ve agudizado en las áreas técnicas.
 - c. Por otra parte, la experiencia laboral conseguida a lo largo de los últimos 10 años, en especial en la Comisión Nacional del Agua, ha permitido desarrollar el sentido crítico y analítico de la Ingeniería, al participar activamente en proyectos de tal envergadura que actualmente son únicos en su tipo en la Administración Pública Federal.
 - d. Es cierto que el fundamento teórico-práctico de un Ingeniero Topógrafo Geodesta es determinante en las tareas de Georreferenciación de Infraestructura Hidráulica que administra la Comisión Nacional del Agua, sin embargo, como agente de cambio, la

actitud propositiva en la toma de decisiones, aunado a la capacidad negociadora, son fundamentales para llevar a buen puerto cualquier proyecto que se encomiende; y siempre con una marca de agua distintiva del profesional dedicado a describir la forma y figura de la Tierra.

- e. Esas habilidades interpersonales y directivas adquiridas también con el trabajo día a día, son también características de tipo catalítico para lograr las metas planteadas al inicio de cada actividad y su puesta en marcha implica necesariamente el *expertise* propio de los egresados de esta Facultad y que participan, como en este caso, en las dependencias gubernamentales.
3. Las aplicaciones atendidas a lo largo del tiempo en materia de Georreferenciación de Infraestructura Hidráulica han sido innumerables, sólo por mencionar algunas que fueron tema de este documento:
 - Delimitación de zonas federales.
 - Cuantificación de extracción de materiales pétreos en lechos de los ríos.
 - Batimetría en vasos de las presas.
 - Inventario de infraestructura meteorológica (estaciones climatológicas, hidrométricas, entre otras).
 - Redes de piezometría.
 - Seguimiento a programas de salud en la población usuaria de los sistemas de agua potable (Sistema de Información Geográfica de Agua Limpia).
 - Realización de campañas de detección de concesiones irregulares sobre aprovechamientos.

Como se puede apreciar, el campo es vasto para que los Ingenieros Topógrafos Geodestas exploren en cada tema y apliquen sus conocimientos; pero lo es más aún su conocimiento sobre la Forma de la Tierra. Su visión es clara y contundente, puede distinguir de manera natural los efectos de la curvatura de la Tierra cuando está de por medio localizar con precisión cualquier rasgo levantado con métodos tradicionales o modernos. El Ingeniero Topógrafo Geodesta ha marcado la pauta al proporcionar las bases teóricas que dieron origen a los marcos de referencia en los que se circunscribe la cartografía oficial del INEGI y la de las empresas generadoras de esos insumos.

Al participar directamente con grupos interdisciplinarios en los procesos sustantivos de la administración y preservación del recurso agua, también se ha tenido la oportunidad para palpar el grado de nivel académico y capacidad técnica y científica que se tiene con respecto a otros profesionistas afines a nuestra Carrera; no sólo en Comisión Nacional del Agua, incluso en el mismo Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), entre otras dependencias, en donde, sin temor a equivocarse, el Ingeniero Topógrafo Geodesta resalta entre los demás al demostrar con hechos que dichas capacidades le permiten proponer soluciones con el enfoque estratégico tipo ganar-ganar. Mientras que los egresados similares a esta Carrera, se quedan a la zaga y pocas veces cruzan la barrera hacia la zona de la toma de decisiones, proporcionando sólo apoyo operativo.

4. Esta modalidad de Titulación que ofrece la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), tiene una particular importancia para el que escribe este documento: la oportunidad de cerrar un ciclo académico mediante la exposición del trabajo realizado a través de la experiencia laboral adquirida en el campo de la Ingeniería Topográfica y Geodésica; de igual manera presentar ante la comunidad estudiantil que integra la matrícula de esta noble Carrera Universitaria, el alcance real que puede ejercer un egresado de la misma y el aporte directo hacia la sociedad como principal beneficiario. Es por ello que se resalta que las conclusiones en este sentido son:

- a. Al llegar a la Comisión Nacional del Agua, el INEGI inició la transformación de su cartografía digital del Datum NAD27 al ITRF92. Este cambio de sistema de referencia traería consecuencias en la sobreposición de cartas topográficas digitales en los Sistemas de Información Geográfica si no se aplicaban correctamente los parámetros y las figuras geométricas correspondientes. El Ingeniero Topógrafo Geodesta enseñó y demostró al personal de la Subgerencia de Información Geográfica del Agua dicha consecuencia, haciendo escuela en Geógrafos y profesionales afines con estas tareas para aplicar las transformaciones correspondientes.
- b. El Ingeniero Topógrafo Geodesta le proporciona a la parte geográfica, el enfoque de las 4 dimensiones para representar un punto sobre la Tierra: latitud, longitud, altitud y el tiempo; primicia indispensable para obtener la posición geográfica de cualquier rasgo en cualquier sistema de referencia que se le presente. En el campo de los Sistemas de Información Geográfica, el Ingeniero Topógrafo Geodesta se encuentra a la vanguardia por tener las bases de Cartografía, Geodesia, Geodesia por Satélite y Percepción Remota adquiridas en la vida universitaria.
- c. Estas disciplinas son aplicadas constantemente en el quehacer de la estandarización de la información geográfica que se usa como insumo para la elaboración de Productos GPS/SIG integrales; esto quiere decir que para lograr la representación de un fenómeno en particular, por ejemplo, un derrame producido por el rompimiento de un ducto de PEMEX, en la mayoría de las ocasiones se tienen que recopilar directamente en campo aquellos rasgos que puedan ser de utilidad para la elaboración de mapas, tales como localidades, pozos de agua potable, estaciones climatológicas, plantas potabilizadoras, presas, entre otros. Lo anterior, con la finalidad de lograr la estandarización en coordenadas y sistemas de referencia para que esos productos integrales, que partieron de cero en su elaboración, se puedan compartir con los involucrados para manejar la misma referencia geográfica y lograr la reproducibilidad de los datos en la toma de decisiones.
- d. Parte del compromiso no escrito de ser egresado de la Carrera de Topografía y Geodesia es el de enseñar a otros egresados de carreras que comparten el área de trabajo, que la Tierra se puede representar en figuras geométricas de acuerdo a la aplicación que se destine la información; y qué mejor que él para explicar y demostrar conceptos tales como el Datum, el elipsoide, el geoide, los paralelos y los meridianos de origen. Esto último es aprovechado por los profesionales de Topografía y Geodesia para aportar sus conocimientos en esta área de oportunidad en Instituciones como la Comisión Nacional del Agua

En cuanto a las **Recomendaciones**, tenemos las siguientes:

1. Es cierto que aún falta complementar la Red de Estaciones de Referencia GPS en 3 sitios: Chihuahua, Sonora y Baja California Sur. La recomendación es hacia las autoridades de la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua para patrocinar e impulsar como un compromiso ineludible el establecimiento de esas 3 Estaciones y alcanzar el 100% del cubrimiento del territorio nacional, sin dejar de lado la posibilidad de negociar con instituciones públicas y/o privadas para densificar la red.
 - a. Es decir, establecer convenios con Institutos de Investigación (como los Institutos de Geofísica e Ingeniería de la UNAM), Oficinas de Catastro Estatal o incluso con empresas que demuestren interés en los datos generados por las Estaciones con patrocinio o similar.
2. Por otra parte, lograr el vínculo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para trabajar más adelante en proyectos de Georreferenciación en común. Se han seguido las disposiciones y normas correspondientes para el establecimiento y operación de las Estaciones aquí comentadas y, aunque ni las Normas para Levantamientos Geodésicos ni Ley alguna

señalan que se deba pedir el visto bueno de la operación de esta Red de Estaciones, es del interés de la Comisión Nacional del Agua generar dicho vínculo formal e institucional con propósitos de generar un beneficio mutuo.

- a. Tal es el caso de la delimitación de las zonas federales en los cauces de los ríos principales, susceptibles a inundarse como parte de las acciones de protección y salvaguarda de la población en estos casos.
 - b. En este sentido, es necesario revisar la evaluación del uso de la Red Geodésica Nacional Activa del INEGI (RGNA), ya que si se pretende atacar uno de los tantos asuntos pendientes en la agenda nacional de los recursos naturales y disminuir una de las causas graves de las inundaciones, es la de iniciar de inmediato la delimitación de esas zonas federales para prevenir desgracias humanas en zonas identificadas como prioritarias o urgentes.
 - c. Derivado de lo anterior, cobra importancia relevante el intervalo de registro de la Red de Estaciones de la RGNA y que se encuentra configurado en 15 segundos en todos los equipos que la componen. Esto implica perder datos de observación muy importantes en equipos móviles de doble frecuencia para alcanzar la precisión centimétrica que requieren los trabajos de delimitación de zonas federales. Más aún, cuando se trabaja en zonas planas como en Villahermosa, Tabasco que ha sufrido recurrentemente de este tipo de desastres naturales. Será necesario que el INEGI cambie dicho parámetro para igualar dichas tasas de observación en los equipos móviles y fijos con la finalidad de garantizar ese nivel de precisión.
3. El INEGI debe considerar una segunda etapa en la RGNA, que deberá orientar su uso hacia las aplicaciones topográficas, aumentando la densificación de la red de estaciones e implementar la transmisión de correcciones diferenciales en tiempo real, ya sea vía celular o vía Internet. Cierto, esto requiere inversiones cuantiosas y una cuidadosa planeación, sin embargo, el análisis costo-beneficio debe considerar que la población no se verá afectada, este tipo de evaluación social en zonas de inundación será inmensamente redituable y rentable a la postre.
- a. Esto ya es una realidad en países como España, Francia, Alemania, Costa Rica incluso. En estos países los Gobiernos Estatales y Municipales han instalado su propia Red de Estaciones de Referencia GPS con servicios abiertos a la población para la realización de proyectos, garantizando precisiones submétricas y hasta centimétricas en tiempo real. Cabe mencionar el proyecto de transmisiones de correcciones por WASS (*Wide Area Augmentation System*), inicialmente dirigido a las embarcaciones en la región de los Grandes Lagos en Estados Unidos; ahora lo extienden a ciertas partes del mundo, incluido nuestro país, en donde se han realizado pruebas de precisión en equipos GPS que reciben esta señal con valores hasta de $\pm 2.5\text{m}$ de error en la horizontal (sobre el elipsoide).

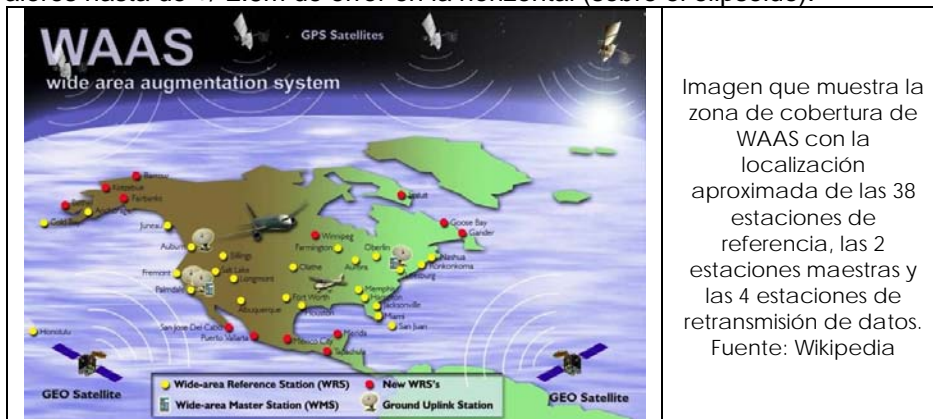


Imagen que muestra la zona de cobertura de WAAS con la localización aproximada de las 38 estaciones de referencia, las 2 estaciones maestras y las 4 estaciones de retransmisión de datos. Fuente: Wikipedia

- b. En determinado momento, si el INEGI no cuenta con la capacidad instalada para conseguir la realización de una idea así, podría entonces ser el convocante de instituciones o empresas que cuenten con Estaciones de Referencia Activas, para lograr ese bien común aplicado a diversos proyectos o Programas de Georreferenciación Nacionales, como es el caso de las Zonas Federales.
4. De igual forma, se recomienda efectuar una evaluación sintética del grado de uso de la Red de Estaciones de Referencia GPS de la CONAGUA y su impacto en las tareas sustantivas de Georreferenciación Regional que lleve a la priorización de proyectos GPS/SIG integrales y tangibles.
5. Continuar con el diseño e implementación de Talleres de Georreferenciación Regionales con la finalidad de captar aún más usuarios de receptores GPS y que puedan explotar el potencial de las Estaciones de Referencia GPS y los servicios en línea que ofrece la Subgerencia de Información Geográfica del Agua.
6. Para la Comisión Nacional del Agua: debido a que el profesional en Topografía y Geodesia ya ha adquirido, a través del tiempo laborado, la experiencia para lograr la realización del proyecto de la Red de Estaciones de Referencia GPS, necesariamente fundamentada en conocimientos técnicos ex profeso y habilidades administrativas, lleva a pensar en que se debe considerar un mecanismo para garantizar la permanencia del personal con este perfil dedicado a esas tareas, sin el temor de que algún día deje de pertenecer al proyecto y las tareas dejen de desarrollarse con normalidad.
7. La recomendación hacia la Facultad de Ingeniería es: fomentar más el acercamiento entre los maestros y alumnos y la vida laboral en la industria, la investigación y las tareas de preservación de los recursos naturales como el agua y, en general, propiciar ese acercamiento con los profesionistas egresados de Topografía y Geodesia que se encuentran laborando en áreas estratégicas como la Subgerencia de Información Geográfica del Agua. Lo anterior para conocer más a fondo la cartera de posibles nichos en donde puedan desarrollar sus habilidades y capacidades y que puedan aún más extender sus horizontes para dejar un legado a la sociedad que lo necesita.
8. Ya se ha mencionado que la premisa principal de este documento es cerrar el ciclo académico para lograr la Titulación Profesional correspondiente. Sin embargo, también centra su atención en que el trabajo desarrollado aquí llegue a la mayor cantidad de alumnos posible, disponible por los medios que destine la Facultad y la Universidad (medios magnéticos o escritos) y sirva para tener, dentro del amplio abanico de aplicaciones, una idea clara como posibilidad de acercamiento al concluir sus estudios universitarios. En este caso en particular, se recomienda:
 - a. Inducir en las organizaciones gubernamentales la existencia de personal con perfil de Ingeniero Topógrafo Geodesta en puestos clave que tienen relación con proyectos de administración y conservación de los recursos naturales. Su perspectiva hace falta en proyectos como el que aquí se presenta. Este profesionista debe trascender en este y otros campos del conocimiento de los recursos naturales. Una rápida revisión a la estructura orgánica de la CONAGUA nos permite observar que son cada vez menos los Ingenieros Topógrafos Geodestas o Geomáticos que se encuentran trabajando en el ramo de los recursos naturales (sólo 1 en la actualidad en la Subgerencia de Información Geográfica del Agua a nivel nacional).
 - b. Hace falta involucrar aún más a los alumnos de los últimos semestres de la Carrera con la vida laboral, ya que la filosofía aplicada en el ejercicio de esta Carrera universitaria en la actualidad es la misma que siguieron los profesionales que sentaron las bases de la

representación del relieve de los rasgos en la superficie de la Tierra; lo que ha cambiado es la *praxis*, aunado a la necesidad de habilitarlos en el manejo y dominio de las nuevas metodologías y tecnologías empleadas para resolver las situaciones como la que aquí se presenta.

- c. Lo anterior es importante porque mientras un técnico en Topografía no sabe qué hacer si se queda sin su equipo GPS para obtener las coordenadas de su proyecto, el Ingeniero Topógrafo Geodesta echará mano en esa situación de sus conocimientos y habilidades para llevar a cabo, por ejemplo, metodologías para obtener la latitud y la longitud de una línea base a través de observaciones al Sol y las estrellas con ayuda de la Astronomía de Posición, Teoría de los Errores y Ajustes.
 - d. Las herramientas de trabajo han cambiado, mas no así la filosofía de acción y realización ¿de qué va a depender que usen una u otra forma de levantamiento tradicional o moderno? Simplemente de la capacidad de abstracción de la realidad. El Ingeniero Topógrafo Geodesta sabe distinguir entre la conveniencia y el desempeño de una tarea. De igual forma, deja de lado el atavismo para reemplazar o desdeñar *per sé* el método tradicional o el moderno y viceversa (tal es el caso de los levantamientos con estación total vs GPS).
 - e. Se prioriza en la tarea y si requiere desempeño, sabrá usar las herramientas que tenga a la mano para lograr las metas planteadas sin discriminar la tecnología, al contrario, únicamente aplicando el criterio ecuánime para presentar los resultados solicitados y complementando incluso con métodos tradicionales.
9. De igual manera, es recomendable crear, desarrollar y dar seguimiento a una red de tipo social de los egresados de la Carrera para iniciar ciclos de conferencias orientados a los alumnos de la misma, congresos, pláticas de divulgación, visitas y todo lo necesario para estar comunicados y no perder de vista las distintas aplicaciones que tiene la Topografía y la Geodesia en los diversos sectores con impacto sustantivo a la sociedad.

En el fondo, la Red Geodésica de Estaciones de Referencia GPS de la Comisión Nacional del Agua, habla de todo lo anterior; habla de las capacidades para lograr el movimiento de voluntades que tuvo que iniciar con el Ingeniero Topógrafo Geodesta y las personas involucradas; y cuyas acciones se han visto reflejadas en resultados palpables al haber puesto en marcha los equipos instalados a lo largo y ancho del territorio nacional, con el fin de lograr el bien común de sus usuarios (Oficinas Centrales, Organismos de Cuenca y Direcciones Locales) e incluso Gobiernos Estatales, como la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán).

Los profesionistas logran sus metas, el Ingeniero Topógrafo Geodesta logra la trascendencia.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Map Projections. Georeferencing spatial data.**
Environmental Systems Research Institute, Inc. 1994.
- 2.- Basic Geodesy. An Introduction to the History and Concepts of Modern Geodesy Without Mathematics.**
J.R. Smith. Landmark Enterprises. August, 1988.
- 3.- Interferometría de Muy Larga Base.**
Pablo de Vicente. Centro Astronómico de Yebes. Instituto Geográfico Nacional. España. 1991.
- 4.- Semblanza histórica del Agua en México.**
Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. 2009.
Atlas del Agua en México 2009. Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. 2009.
- 5.- Estadísticas del Agua en México.**
Edición 2008. Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. 2008.
- 6.- Sistema de Posicionamiento Global (GPS): descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro.**
Instituto de Automática Industrial. A. Pozo-Ruz, A. Ribeiro, M. C. García-Alegre, L. García, D. Guinea, F. Sandoval. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 28500 Arganda. Madrid. 2002.
- 7.- El Agua en México: Retos y oportunidades.**
Marín, Luis.
Academia Mexicana de Ciencias.
México, Edición digital 2005.
- 8.- The Shape Of The Earth. Part I.**
J. Donald Fernie. American Scientist, Volume 29, March-April, 1991.
- 9.- The Shape Of The Earth. Part II.**
J. Donald Fernie. American Scientist, Volume 29, September-October, 1991.
- 10.- Las Técnicas GPS como herramientas de gestión ambiental.**
Roberto Rodríguez Solano y Santiago Mancebo Quintana. Observatorio Mediambiental, 1999, número 2, 267-286 pp.
- 11.- Instalación de una antena GPS de Referencia con acceso vía Internet, radio y GPRS.**
Internacional Conjunto XIII INGEGRAF-XV ADM en Sevilla. Seneta Olivan, Alfredo; *et al.*

12.- Apuntes de la clase de Geodesia por Satélite.

Físico Víctor Ramos. Facultad de Ingeniería, UNAM.

13.- Compendio Estadístico de Administración del Agua (CEAA).

Edición 2009. Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. 2009.

14.- GPS Theory and Practice

B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger and J. Collins.

ISBN 3-211-82839-7 Springer Verlag.

15.- GPS Satellite Surveying -

Alfred Leick.

ISBN 0471306266 John Wiley and Sons.

16.- Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications -

Günter Seeber.

ISBN 3110127539 Walter De Gruyter.

Understanding GPS: Principles and Applications

Elliot D. Kaplan (Ed.).

ISBN 0890067937 Artech House.

17.- The Global Positioning System: Theory and Applications

Bradford W. Parkinson and James J. Spilker (Eds.).

ISBN 9997863348 American Institute of Aeronautics and

Astronautics.

18.- Introducción al Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

Leica Geosystems. GPS Book. Versión 1.0. Español.

www.leica-geosystems.com

19.- Global Positioning System: Standard positioning service performance standard.

Department of Defense, USA & GPS NAVSTAR Global Positioning System.

Integrity – Service - Excellence⁴th Edition, September, 2008.

20.- Metodología para la determinación de la superficie catastral rústica. Aplicación a un caso concreto.

Tesis Doctoral. Integración de Ortofotografía Digital en Sistemas de Información Geográfica y su Aplicación a la Revisión de la Superficie Catastral Rústica.

Universidad Pública de Navarra, España. 2004.

- 21.- Sistema de Información Geográfica de Agua Limpia (SIGAL).**
Primer Encuentro de Investigación Científica y Tecnológica del Sistema Hidrológico de Yucatán.
Luna Pérez, José Luis. *et al.*
Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT y Gobierno del Estado de Yucatán.
México, 2008.
- 22.- Global Positioning System: Theory and Applications.**
Parkinson, Bradford, W., James, Spilker; *et al.* 1996.
2 vols. Washington DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc
- 23.- Sistema de Posicionamiento Global (GPS): descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro.**
A.Pozo-Ruz*, *et al.* Instituto de Automática Industrial.
Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
28500 Arganda. Madrid. 2002.
- 24.- Large-Scale Aquitard Consolidation near Mexico City.**
Adrián Ortega Guerrero, *et al.*
Waterloo Centre of Groundwater Research, University of Waterloo, Ontario, Canada, N2L, 3G1.
Vol. 31, No. 5. GROUND WATER. September-October 1993.
- 25.- El Panorama del Agua en México.**
Arreguín, Felipe; *et al.*
Memoria del 42º Congreso Nacional: Hacia la Calidad, Necesidad para el Próximo Milenio.
México, 2003.
- 26.- La red de monitoreo piezométrico en México: Condición actual y perspectivas.**
Lara, Fernando. Comisión Nacional del Agua.
Congress XXXIII IAH - 7º ALHSUD GROUNDWATER FLOW UNDERSTANDING, from local to regional scales.
Zacatecas City, Mexico. 11th to 15th October, 2004
- 27.- Bases de Cartografía y Geodesia.**
Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Documento Interno.
México, 2006.
- 28.- Los conflictos por agua en México. Diagnóstico y análisis.**
Mariana Becerra Pérez, Jaime Sáinz Santamaría y Carlos Muñoz Piña.
Instituto Nacional de Ecología.
Gestión y Política Pública. VOLUMEN XV. NÚMERO 1. I SEMESTRE DE 2006. PP. 111-143

29.- El geoide para el área mexicana y sus aplicaciones.

David Ávalos Naranjo.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Revista NOTAS, Revista de Información y Análisis. No. 20. 2002.

30.- Geodesy: The Concepts. Segunda edición corregida.

Petr Vanicek y Edward J. Krakiwsky.

North Holland, Amsterdam,

Elsevier, 1986.

31.- Geodesy. Tercera edición

Torge, Wolfgang.

revisada y extendida. Berlín, Alemania,

Walter de Gruyter, 2001.

32.- Modelo Geoidal en México y sus aplicaciones.

Ávalos, David, Muñoz, Raúl.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía

Mexico, 2007.

33.- Levantamiento y Carteo Geológico I: GPS- Método de Posicionamiento Diferencial

UNSJ – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Departamento de Geología -

Cátedra “Levantamiento y Carteo Geológico I “ ciclo 2002.

34.- How Does GPS Works?

NOAA/UNAVCO, 20th October, 2006.

www.unavco.org

35.- Agenda Estadística.

Edición 2009.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

México, 2009.

36.- Study of a Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays.

Hans-Jürgen Euler, Ryan Keenan, Benedikt Zebhauser.

Published in Proceedings of ION GPS 2001 Salt Lake City, Utah, September 11–14, 2001, Best Presentation Award Winner (Session D1).

Leica Geosystems.

37.- Instrucciones Técnicas para Trabajos en Campo: Mediciones GPS.

Instituto Geográfico Militar. División Geodesia.

Fascículo 10. Buenos Aires, Argentina. 2004.

- 38.- El Agua en México vista desde la Academia.**
Blanca Jiménez y Luis Marín (Ed).
Dante Morán, Óscar Escolero y Javier Alcocer (Coord).
Academia Mexicana de Ciencias.
México, Edición digital 2005.
- 39.- El Agua en México y su Perspectiva Científica y Tecnológica, en El Agua en México: una vista desde la Academia.**
Arreguín Cortés, F.I., P. Martínez Austria, V. Trueba, 2004, B. Jiménez Cisneros, L.E. Marín, O. Escolero Fuentes, y J. Alcocer (Eds.), Academia Mexicana de Ciencias, México, D.F., México, 403 p.
- 40.- Administración de Derechos del Agua: de regularización a eje de la gestión de los recursos hidráulicos, en El Agua en México: una vista desde la academia.**
Cantú, M. y H. Garduño, 2004, , B. Jiménez Cisneros, L.E. Marín, O. Escolero Fuentes, y J. Alcocer (Eds.), Academia Mexicana de Ciencias, México, D.F., México, 403 p.
- 41.- Programa Nacional Hidráulico 2001-2006.**
Comisión Nacional del Agua.
México, 2001.
- 42.- Compendio Básico del Agua en México.**
Comisión Nacional del Agua.
México, 2002.
- 43.- Diario Oficial de la Federación.**
Ley de Aguas Nacionales.
México, diciembre, 1992
- 44.- Diario Oficial de la Federación.**
Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.
México, enero, 1994.
- 45.- La Geodesia al alcance de todos.**
Burkard, Richard K.
Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH).
Comisión de Cartografía, 1962, pp. 77. Núm. 291.
Buenos Aires, Argentina.
- 46.- Entidades de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México propensas a la contaminación de agua subterránea.**
Soto Galera, E., Mazari Hiriart, M., Bojórquez Tapia, L.A.
Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.
Núm. 43, pp. 60-75.
México, 2000.

Anexo A. Funcionamiento del Sistema DECCA Navigator.

Para poder determinar exactamente la posición de un móvil en el espacio el Sistema DECCA necesita usar al menos tres estaciones transmisoras en tierra, aunque en casi todos los casos se disponen de cuatro estaciones. Este conjunto de estaciones transmisoras son lo que conocemos como "*DECCA Chain*", o como lo llamaremos de aquí en adelante "*Cadena DECCA*".

Cada cadena dispone de una estación Master y de tres, en algunos casos dos, estaciones Esclavas, a las que se denominan correspondientemente con los nombres de Roja, Verde y Púrpura. Entre la estación Master y cada estación Esclava se crea un patrón o haz hiperbólico. Las hipérbolas no son más que la representación gráfica de las diferencias de fase existentes entre las emisiones de cada par de estaciones transmisoras. (Master-Esclava Roja, Master-Esclava Verde y Master-Esclava Púrpura). De este modo un aparato Receptor que reciba las emisiones de las estaciones puede hallar y mostrar de forma exacta la posición de cualquier móvil en un momento determinado, ya que la posición será el punto de intersección de, al menos, un par de hipérbolas.

Para que esto suceda primero debemos crear un [patrón o haz hiperbólico](#) (Figura I-2a) entre la estación Master y cada una de las Esclavas.

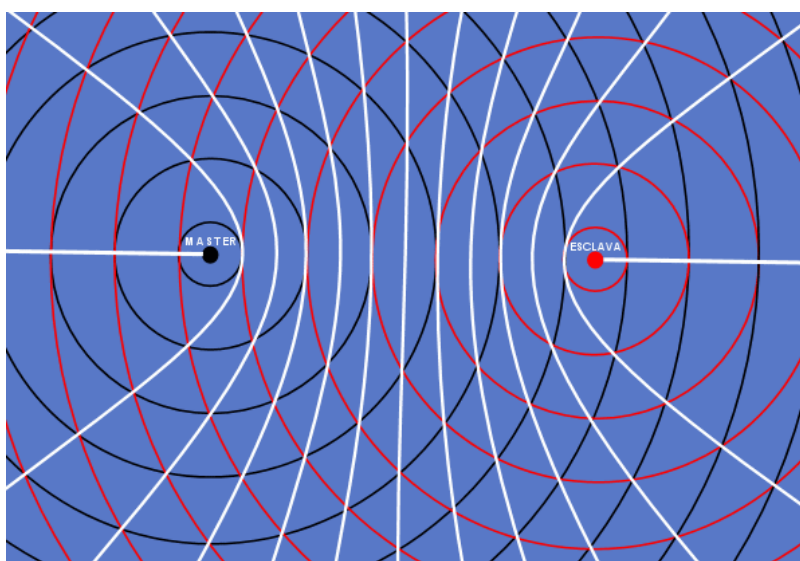


Figura I-2a. Haz hiperbólico creado por dos estaciones emitiendo de forma sincronizada en fase y en frecuencia. Los círculos concéntricos representan las longitudes de onda sucesivas.

El sistema hace uso de frecuencias diferentes para cada una de las estaciones transmisoras, pero todas ellas están armónicamente relacionadas (son proporcionales), es lo que conocemos como armónicos.

Toda Cadena DECCA dispone de una frecuencia fundamental no modulada (que no es transmitida) conocida como "*f*". Esta frecuencia se encuentra en la banda de los 14 kHz. La estación Master transmite seis veces esta frecuencia, es decir **6f** (Entre los 84 y 86 kHz), la Esclava Roja emite a **8f** (112 - 115 kHz), la Esclava Verde lo hace a **9f** (126 - 129 kHz) y la Esclava Púrpura a **5f** (70 - 72 kHz). Al ser señales de onda continua es suficiente espaciarlas 150Hz para evitar interferencias.

Para crear el patrón o haz hiperbólico entre un par Master-Esclava las estaciones deben estar sincronizadas en fase y en frecuencia. Las estaciones esclavas disponen de un conjunto de

pequeñas antenas receptoras (Figura I-3a) asociadas a una **Unidad de Control de Fase** que recoge la transmisión 6f de la Master y mantiene la sincronización en fase mediante continuas correcciones.

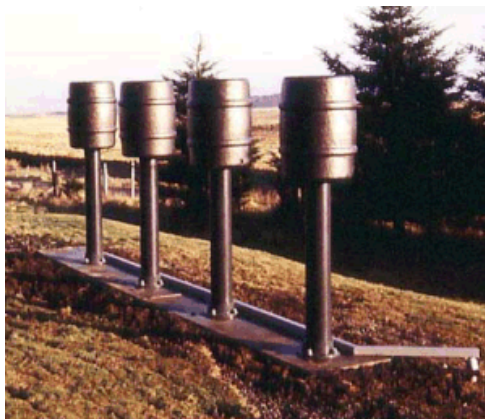


Figura I-3a. En la fotografía podemos observar un grupo de antenas receptoras en una estación esclava inglesa. Las antenas estaban protegidas por una carcasa plástica recubierta de grafito y conectada a tierra para evitar las cargas estáticas de las partículas de lluvia. Fuente: *Decca Navigator*, España, 2005.

Aunque las estaciones no emiten a la misma frecuencia (el Receptor no sería capaz de distinguir entre las señales de las Esclavas y de la Master), todas emiten en múltiplos de la frecuencia fundamental. Para crear el patrón o haz hiperbólico necesitamos que las ondas emitidas sean de la misma frecuencia, esto lo conseguimos “virtualmente” en el Receptor ya que después de multiplicar convenientemente cada frecuencia, se comparan siempre a una misma frecuencia final (**24f** para el par Master–Roja, **18f** para el par Master–Verde y **30f** para el par Master–Púrpura). El resultado final es que el Receptor calcula las diferencias de fase como si cada estación emitiese a la misma frecuencia.

Una vez creado el patrón o haz de hipérbolas en cada par Master-Eslava el Receptor DECCA puede determinar la posición al comparar la diferencia de fases entre cada par Master y Esclava. Es como si averiguase la hipérbola en la que nos encontramos. Las diferencias de fase medidas en el Receptor se representan en los **decómetros** (Figura I-4a). Las lecturas de los decómetros son trasladadas manualmente a una Carta de navegación DECCA donde están representadas gráficamente las hipérbolas, cada una con su color correspondiente (Rojo, Verde y Púrpura).

El punto de intersección de al menos dos hipérbolas (tres para conseguir mayor exactitud) nos da nuestra posición.

A partir de la década de los 80 los Receptores DECCA contaban ya con tecnología suficiente para, mediante el uso de microprocesadores, mostrar la posición en grados de latitud y longitud.



Figura I-4a. Un decómetro es una esfera indicadora similar a un reloj en la que se indica la Zona, Calle y Centésimas de Calle en la que uno se encuentra. La intersección de las líneas indicadas en sus correspondientes decómetros (hay uno por cada estación esclava) nos da nuestra posición.

Veamos ahora como funciona un Receptor DECCA en su versión más simple. En el [diagrama de bloques](#) (Figura I-5) podemos ver los filtros, multiplicadores y discriminadores que hacen posible las lecturas de los decómetros. Los Receptores filtran la señal procedente de cada Esclava y de la Master. Estas señales son multiplicadas convenientemente para poder compararlas a la misma frecuencia en los discriminadores (virtualmente es como si las estaciones emitiesen a la misma frecuencia). Estos cálculos son los que se representan en los decómetros.

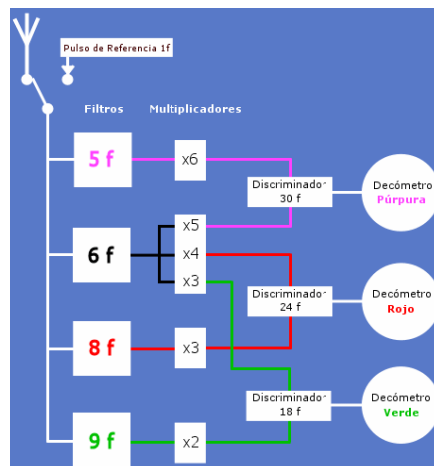


Figura I-5a. Diagrama de Bloques de un receptor DECCA en su versión más simple (sin indicador de calle). La señal de cada estación Esclava y de la Maestra es captada, filtrada y multiplicada para poder hacer la comparación de fase en los discriminadores a una misma frecuencia. Los cálculos realizados en los discriminadores se representan finalmente en los decómetros.

Para calcular la diferencia de fase, y por tanto la línea de posición, el Receptor hace uso de la siguiente fórmula:

Donde se considera que **A** y **B** son un par de estaciones transmitiendo de forma sincronizada que emiten ondas continuas de idéntica frecuencia y fase y están separadas por una distancia **S**.

r es un punto dentro de la cobertura que está a una distancia r_A de la estación A y a una distancia r_B de la estación B

λ es la longitud de onda de la frecuencia común.

El lugar de los puntos de un plano en el que $r_A - r_B$ es una constante se representa gráficamente mediante una hipérbola de focos A y B. Lo que constituye una línea de posición para la navegación si la localización de las estaciones es conocida y el usuario dispone de un equipo comparador de fase.

El medidor de fase o decómetro no puede distinguir diferencias de fase múltiplos de 2π (360°) por eso el rotor del decómetro (que realiza un giro completo por cada 360° de fase) está conectado mediante un engranaje a la aguja principal que avanza una posición cada vez se recorre el espacio comprendido entre dos hipérbolas en fase. Por convencionalismo el rotor del decómetro avanza en el sentido de las agujas del reloj en dirección hacia la Esclava. El espacio comprendido entre dos hipérbolas en fase se denomina Calle o ruta DECCA (DECCA Lane). Conectado al rotor de calle hay otro rotor calibrado en centésimas de calle. La lectura de una calle, incluyendo la parte fraccionaria, se halla mediante la siguiente fórmula:

$$L = \left[\frac{S + r_A - r_B}{\lambda} \right]$$

En la práctica una carta DECCA consta de varios cientos de calles que se agrupan en Zonas designadas alfabéticamente por letras de la A a la J.

Ejemplo: Zonas, Calles y Centésimas de Calle.

En las cartas de navegación DECCA vienen representadas gráficamente las hipérbolas que nos servirán para determinar nuestra posición. Para poder lograr la máxima precisión posible estas hipérbolas se agrupan en “Zonas”, cada zona se divide a su vez en un número de “Calles”, y cada calle se divide en “Centésimas de calle” (Figura I-6a).

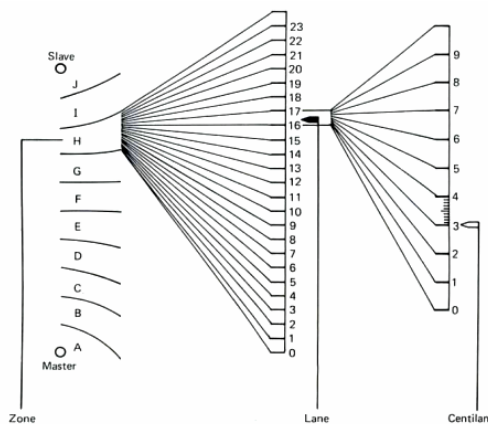


Figura I-6a. En este gráfico podemos ver como se agrupan las hipérbolas en Zonas de la A a la J. Cada Zona consta de, en este caso, 24 calles al ser un ejemplo de un par Master-Esclava Roja. Cada calle a su vez está dividida en centésimas de calle. Fuente: *Decca Navigator*, España, 2005.

Los receptores muestran estos tres datos en cada decómetro correspondiente.

En el patrón o haz hiperbólico Rojo cada Zona consta de 24 calles (numeradas de la 0 a la 23), en el Verde son 18 calles (numeradas de la 30-47) y en el púrpura 30 (numeradas de la 50 a la 79). Cada calle tiene un ancho en metros determinado, que se calcula dividiendo la velocidad de propagación de la onda emitida entre la frecuencia a la que se realiza la comparación en el receptor. Este resultado dividido entre dos nos da como resultado el ancho de cada calle correspondiente, ya que este es igual a media longitud de onda. La siguiente tabla muestra los anchos de calle para la cadena del noroeste de España.

Cadena 4C – Noroeste de España

Patrón o Haz	Armónico	Frecuencia (kHz)	Ancho de calle (metros)
Rojo	24f	339.31992	440.95
Verde	18f	254.48994	587.94
Púrpura	30f	424.14990	352.76

Conociendo el ancho en metros de cada calle podemos calcular el número de zonas que divide la distancia entre la estación Master y la Esclava correspondiente. Por ejemplo, si el ancho de calle Verde es de 587.94 metros y la distancia en línea recta que separa la estación Master de la Estación Esclava Verde es de 110 Km tenemos 187 calles entre Master y Esclava. Si agrupamos estas 187 calles en grupos de 18 tenemos 10 Zonas denominadas alfabéticamente de la A a la J repitiéndose otra vez al llegar a la J.

Los receptores tal y como los hemos descrito hasta este momento se basarían en contar el número exacto de zonas y calles que atraviesa un vehículo. Para ello la recepción debería ser continua y se deberían conocer de antemano los valores de la posición inicial al empezar una travesía. Para hacer el sistema lo más independiente posible de estos factores, las Cadenas DECCA interrumpen y reagrupan periódicamente sus transmisiones para que los receptores puedan obtener una señal de frecuencia f de la estación Master y de cada estación Esclava. Comparando la fase de estas señales se genera un patrón o haz hiperbólico más tosco pero de iguales focos que el patrón fino, que por cada ciclo de diferencia de fase agrupa 18 calles verdes, 24 rojas y 30 púrpuras.

En los primeros años del sistema se usaba una identificación de Calle de tipo V. A partir de finales de los años 50 se usó la identificación de Calle Multipulso. En este último tipo de identificación de calle cada estación emite las cuatro frecuencias DECCA (5f, 6f, 8f y 9f) a la vez en relación coherente de fase durante un periodo de 0.45 segundos.

El ciclo comienza con la estación Master, 2.5 segundos más tarde lo hace la Esclava Roja, otros 2.5 segundos después la esclava Verde y 2.5 segundos después la esclava Púrpura. 10 segundos después se vuelve a repetir el ciclo y así sucesivamente. Durante el tiempo en el que cada estación emite su Multipulso las demás estaciones no emiten ningún tipo de señal. En un receptor preparado para el Multipulso se combinan estas señales obteniendo una señal que tiene como característica dominante un corto impulso redundante de frecuencia f . Los Multipulsos de cada estación se comparan convenientemente para formar un patrón o haz hiperbólico mas tosco que agrupe al patrón más fino generado por las emisiones normales de cada estación. La principal ventaja es que este tipo de haz hiperbólico más tosco conserva su integridad a más largas distancias lo que proporciona también una mayor exactitud y fiabilidad.

Además de la Identificación de Calle, usada normalmente en la navegación naval, existe a mayores distancias una Identificación de Zona que se usa exclusivamente en navegación aérea.

Un avión o helicóptero necesita de una agrupación de calles mayor debido a su alta velocidad de crucero. La agrupación normal de la Identificación de Calle es demasiado pequeña y por lo tanto las lecturas del receptor varían muy rápidamente debido a la velocidad del vehículo al atravesar el haz hiperbólico. Para solucionar este problema se creó la Identificación de Zona que hace uso de una frecuencia denominada naranja (8.2f) para crear una agrupación mayor de calles y así poder localizar la posición con mayor facilidad.

Las zonas se agrupan en 5 grupos denominados AF, BG, CH, DI y EJ. Si en la Identificación de Calle (MultiPulso) una Zona Roja agrupaba 24 calles, en la Identificación de Zona se agrupan 5 Zonas Rojas bajo, por ejemplo, la denominación AJ. Así el grupo AJ constaría de 120 calles (24 Calles x 5 Zonas).

Así tendríamos 120 calles rojas que dividiríamos primero en un grupo AJ, este grupo en zonas de la A a la J, cada zona dividida en calles de la 0 a la 23 y cada calle dividida en 100 centésimas de calle con lo que conseguiríamos hallar nuestra posición con una exactitud muy alta.

Anexo B. Descripción del Sistema TRANSIT.

Los satélites del sistema TRANSIT transmitían dos señales portadoras de UHF que proporcionaban cortes precisos de tiempo (cada dos minutos), además de los seis elementos de la órbita del satélite y sus variables de perturbación. Las efemérides de órbita y correcciones del reloj se actualizaban dos veces al día para cada satélite desde una de las cuatro estaciones de seguimiento de la Marina.

Esta información permitía una difusión del receptor en tierra para calcular la ubicación del satélite en cualquier punto en el tiempo. El uso de dos portadoras permitía a los receptores en tierra reducir los errores de navegación causados por la refracción ionosférica. El sistema TRANSIT también proporcionó el primer servicio mundial de tiempo, dejando que la gente en todas partes sincronizara sus relojes con una precisión de 50 micro-segundos.

La información crítica que permitió al receptor calcular su ubicación era una curva de frecuencia única causada por el efecto Doppler. El efecto Doppler causaba una compresión aparente de la longitud de onda de la portadora conforme el satélite se acercaba al receptor, y el estiramiento de longitudes de onda cuando el satélite se alejaba. El vehículo espacial viajaba a unos 17,000 kilómetros por hora, lo que podría aumentar o disminuir la señal portadora recibida por hasta 10 kHz. Esta curva Doppler era única para cada ubicación dentro de la línea de visión del satélite. Por ejemplo, la rotación de la tierra causaba que un receptor en tierra se acercara o se alejara de la órbita del satélite, creando un desplazamiento Doppler no simétrico para la aproximación y la recesión, permitiendo que el receptor determinara si fue al este o al oeste con referencia a la línea norte-sur resultante del rastreo en tierra del satélite.

El efectuar el cálculo de la ubicación óptima del receptor no era un ejercicio trivial. El software de navegación hacía uso del movimiento del satélite para calcular una curva de prueba Doppler, basado en una ubicación de prueba inicial para el receptor. El software entonces realizaba una curva de ajuste por mínimos cuadrados para cada sección de dos minutos de la curva Doppler, reiteradamente para mover la posición de prueba hasta que la curva de prueba de Doppler "que más se aproximara" para hacer corresponder a la real Doppler recibida del satélite para todos los segmentos de 2 minutos de la curva.

Si el receptor también se movía con relación a la tierra, tal como si fuera a bordo de un buque o avión, esto podría originar una falta de correspondencia o armonía con las curvas Doppler y se degradaba la precisión de la posición. Sin embargo, la precisión posicional en general se podía calcular con una precisión de 100 metros para buques de movimiento lento, incluso con la recepción de una sola curva de Doppler de dos minutos. Este fue el criterio de navegación exigido por la Marina de los USA, ya que los submarinos estadounidenses normalmente exponían su antena UHF por sólo 2-minutos para obtener una corrección utilizable del sistema TRANSIT. La versión USA para los submarinos del Sistema TRANSIT también incluía la característica especial de encriptar los datos de las órbitas de los satélites descargados con datos cifrados, cuyos datos eran más exactos aún.

Estos datos permitieron mejorar considerablemente la precisión del sistema haciéndolo inclusive mejor (no muy diferente de la disponibilidad selectiva <SA> bajo el GPS). Al usar este modo mejorado la precisión era típicamente menos de 20 metros. (Entre LORAN C y GPS.) Ciertamente, el sistema de navegación más preciso en esos días.

Cabe señalar que los Topógrafos utilizaban el sistema TRANSIT para localizar los puntos de referencia (bancos de nivel o vértices) de forma indirecta al promediar docenas de correcciones TRANSIT, obteniendo una precisión submétrica. De hecho, la elevación del Everest se corrigió a finales de 1980 mediante el uso de un receptor TRANSIT para replantar una marca permanente cercana al sitio. Literalmente, miles de buques de guerra, aviones de carga y embarcaciones de turismo usaban TRANSIT de 1967 hasta 1991. Incluso algunos buques de guerra soviéticos eran conocidos por estar equipados con receptores Motorola NAVSAT.

Una red de estaciones de tierra, cuya ubicación se conoce con precisión, continuamente rastrea los satélites TRANSIT. Esas estaciones grababan las mediciones sobre cintas de papel de cinco perforaciones utilizando orificios convencionales de teletipo. Estos datos se enviaban al Centro de Control de Satélites en el Laboratorio de Física Aplicada en Laurel, Maryland a través de redes de teletipo comerciales y militares. Los datos de las estaciones terrestres fijas proporcionan la información de localización en la órbita de los satélites TRANSIT.

La localización de un satélite TRANSIT en la órbita terrestre de tránsito desde una estación terrestre conocida utilizando el efecto Doppler es simplemente lo contrario de utilizar la ubicación conocida del satélite en órbita para localizar un lugar desconocido en la tierra, de nuevo utilizando el efecto Doppler.

Una estación de tierra típica ocupaba un pequeño cobertizo. La precisión de las mediciones de estaciones en tierra estaba en función de la exactitud del reloj de la estación Maestra. En un principio, se utilizó un oscilador de cuarzo en un horno de temperatura controlada como reloj Maestro. Este reloj se inspeccionaba diariamente con el fin de encontrar su deriva (retraso) mediante un receptor de señal muy baja (*Very Low Frequency*, siglas en inglés VLF) sintonizado con una emisora Marina de los USA de baja frecuencia. La señal de muy baja frecuencia tenía la propiedad de que la fase de la señal VLF no cambiaba día a día al mediodía a lo largo de la trayectoria entre el transmisor y el receptor y por lo tanto podría ser utilizada para medir la deriva del oscilador.

Después fueron utilizados relojes de Rubidio (Rb) y Cesio (Cs). Las estaciones de tierra tenían nombres de números: como la estación 019 ubicada en la Estación McMurdo, Antártida. Por muchos años durante la década de 1970 esta estación era atendida por un estudiante graduado y un estudiante de licenciatura, por lo general en ingeniería eléctrica, de la Universidad de Texas en Austin. Otras estaciones se ubicaron en la Universidad Estatal de Nuevo México, la Universidad de Texas en Austin, Sicilia, Japón, Isla Seychelles, Thule Groenlandia y otras más en diferentes lugares.

Las estaciones de Groenlandia y la Antártida observaban cada paso de cada satélite TRANSIT debido a su ubicación cerca del polo de estos satélites cuya órbita era polar. Una versión portátil de la estación de tierra se llamaba Geociever y fue utilizado para hacer mediciones de campo. Este receptor, su fuente de alimentación, unidad de cintas perforadas, y las antenas pueden integrarse en estuches de aluminio recubiertos y podrían ser enviados como carga extra en una compañía aérea. Los datos se tomaban durante un período de tiempo, normalmente una semana, y enviado de vuelta al Centro de Control de Satélites para su procesamiento. Por lo tanto, a diferencia del GPS, no se obtenía una inmediata localización precisa del geociever. Un geociever se mantenía fijo en la Estación del Polo Sur y era operado por personal del USGS (United States Geological Survey). Debido a que se encontraba localizado en la superficie de un gran témpano de hielo, sus datos fueron utilizados para medir los desplazamientos de esa capa de hielo. Otros geocievers se emplearon en campo en la Antártida durante el verano y fueron aprovechados para geoposicionar puntos diversos, por ejemplo, el desplazamiento del glaciar Ross (con una área de 487,000km² y cercano a los 800km de longitud, casi del tamaño de Francia y con un grosor de varios cientos de metros).

Los satélites TRANSIT transmitían a los 150 y a los 400 MHz. Las dos frecuencias se utilizaban para permitir la flexión de los radiofaros satelitales (o radiobalizas) por la ionosfera, mejorando así la precisión de localización.

La Fuerza Aérea de los USA también lanzó un satélite de vida corta (poca duración en órbita) que viajaba a una órbita baja y equipado con radiofaros de 162 y 324 MHz. La misma red que rastrea los satélites TRANSIT se utilizaba para rastrear los satélites de la Fuerza Aérea de los USA también. Usando los mismos principios, los satélites de la Fuerza Aérea podían localizarse de forma precisa en su órbita, lo cual era útil para los fines castrenses. Dado que los satélites estaban en órbitas muy bajas, los datos de localización de esos satélites se usaban con fines de estudiar el arrastre o predicción orbital, las variaciones de altitud de la atmósfera, el movimiento del satélite en el campo gravitacional de la Tierra y demás estudios científicos.

La computadora AN/UYK-1.

Dado que no existía un equipo lo suficientemente pequeño para caber a través de una escotilla de submarino, se diseñó un nuevo equipo, llamado el AN/UYK-1. Fue construido con esquinas redondeadas para que pasara por la escotilla y tenía unos cinco pies de alto y sellado a prueba de agua. El ingeniero de diseño principal fue el entonces profesor de la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA) Lowell Amdahl, hermano de Gene Amdahl. El equipo AN/UYK-1 fue construido por la división Ramo-Wooldridge de TRW para la clase *Lafayette* de SSBN. Estaba equipado con 8.192 palabras de memoria de núcleo de 15-bits más un bit de paridad, con código de seguridad programado⁴² en su fábrica de Canoga Park. El tiempo del ciclo fue de aproximadamente un microsegundo.

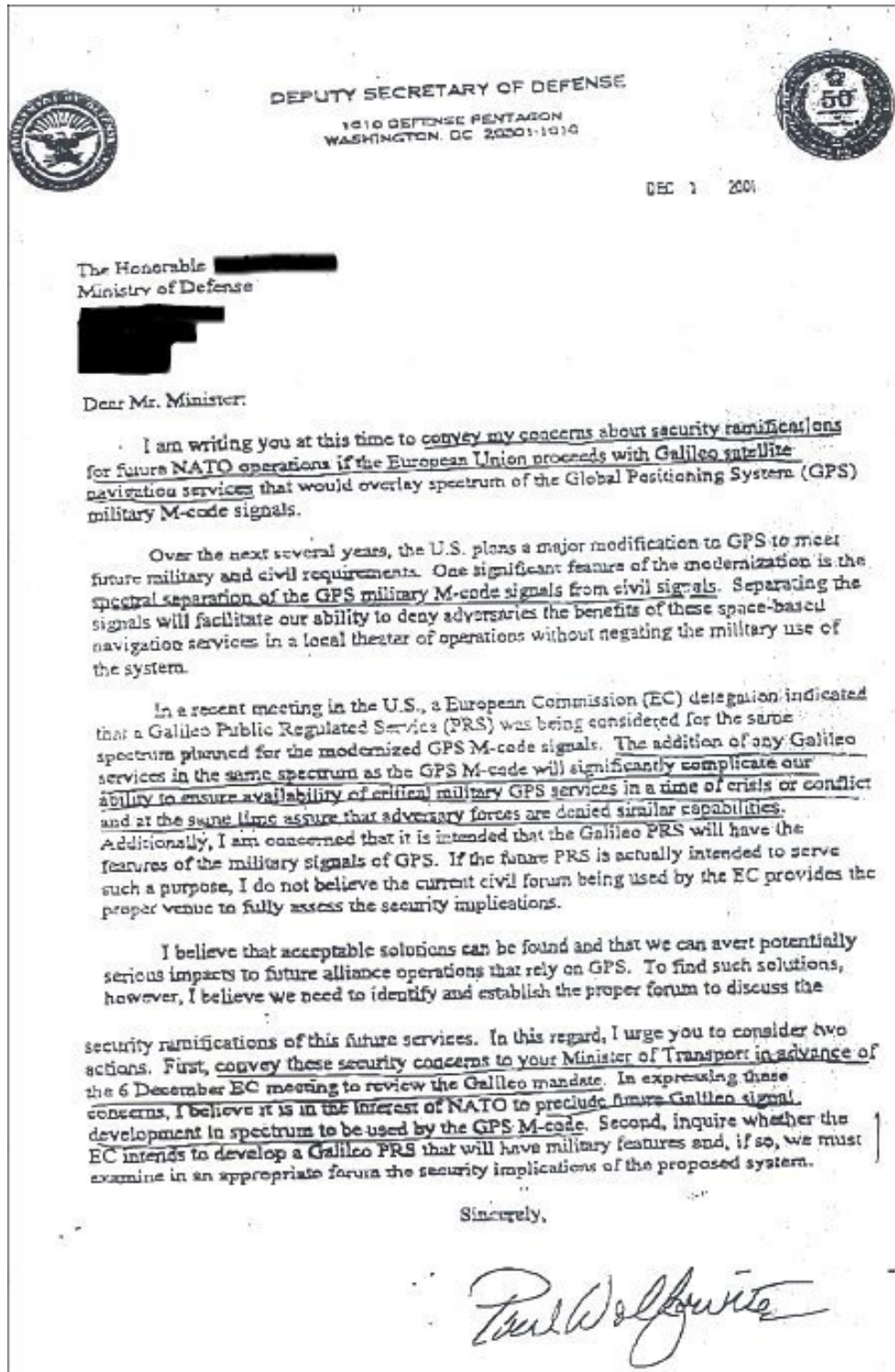
La AN/UYK-1 era una máquina "micro-programada" con una longitud de palabra de 15-bit que carecía de comandos de hardware para restar, multiplicar o dividir, pero podría sumar, cambiar la forma de complemento a uno, y probar el bit de elevada (*carry bit*). Las instrucciones para realizar operaciones estándar de punto fijo y flotante eran subrutinas de software y los programas eran listas de ligas y operadores para esas subrutinas. Por ejemplo, subrutina "restar" tenía que ser el complemento del sustraendo y agregarlo. La Multiplicación requirió cambios sucesivos y sumas condicionales. La característica más interesante del conjunto de instrucciones AN/UYK-1 fue que las instrucciones en lenguaje máquina tenía dos operadores que a la vez podían manipular los registros aritméticos, por ejemplo, complementar los contenidos de un registro mientras se cargaba o almacenaba otro. También puede que haya sido el primer equipo que implementó la capacidad de direccionamiento indirecto de ciclo único.

Durante una pasada del satélite, un receptor de GE podía recibir los parámetros orbitales y mensajes encriptados desde el satélite, así como medir la frecuencia de cambio Doppler en intervalos, y transmitir estos datos a la computadora AN/UYK-1. La computadora podía recibir también del sistema de navegación inercial del satélite⁴³ (SINS, *Satellite Inertial Navigation System*), una lectura de la latitud y la longitud. Haciendo uso de esta información, la AN/UYK-1 corría el algoritmo de mínimos cuadrados y proporcionaba una lectura de posición en un tiempo cercano a los 15 minutos.

⁴² Contaba con **Thread-safety** (Seguridad en hilos). Es un concepto de programación de computadores aplicable en el contexto de los programas multi-threaded, refiriéndose a la seguridad misma en la microprogramación.

⁴³ Un Sistema de Navegación Inercial (por sus siglas en inglés INS, *Inertial Navigation System*) es una herramienta que emplea una computadora, sensores de movimiento (acelerómetros) y sensores de rotación (giróscopos) para calcular de forma continua la posición (a partir de un punto de coordenadas conocidas), orientación y la velocidad (dirección y rapidez de movimiento) de un objeto móvil sin necesidad de usar referencias externas. Su aplicación está en vehículos tales como embarcaciones, aeronaves, submarinos, misiles dirigidos y satélites.
Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_navigation_system.

Anexo C. Carta enviada por el entonces Secretario de Defensa de los USA a la Unión Europea para que desistieran del proyecto GALILEO (1 de diciembre de 2001).



Anexo D. Declaración de la Oficina del Secretario de Prensa del Gobierno de los USA sobre el apagado de la Disponibilidad Selectiva (S/A off).

THE WHITE HOUSE
Office of the Press Secretary

PRESS RELEASE FROM THE WHITE HOUSE

Office of the Press Secretary
For Immediate Release May 1, 2000

STATEMENT REGARDING THE UNITED STATES' DECISION TO STOP DEGRADING GLOBAL POSITIONING SYSTEM ACCURACY

Today, I am pleased to announce that the United States will stop the intentional degradation of the Global Positioning System (GPS) signals available to the public beginning at midnight tonight. We call this degradation feature Selective Availability (SA). This will mean that civilian users of GPS will be able to pinpoint locations up to ten times more accurately than they do now. GPS is a dual-use, satellite-based system that provides accurate location and timing data to users worldwide. My March 1996 Presidential Decision Directive included in the goals for GPS to: "encourage acceptance and integration of GPS into peaceful civil, commercial and scientific applications worldwide; and to encourage private sector investment in and use of U.S. GPS technologies and services." To meet these goals, I committed the U.S. to discontinuing the use of SA by 2006 with an annual assessment of its continued use beginning this year.

The decision to discontinue SA is the latest measure in an on-going effort to make GPS more responsive to civil and commercial users worldwide. Last year, Vice President Gore announced our plans to modernize GPS by adding two new civilian signals to enhance the civil and commercial service. This initiative is on-track and the budget further advances modernization by incorporating some of the new features on up to 18 additional satellites that are already awaiting launch or are in production. We will continue to provide all of these capabilities to worldwide users free of charge.

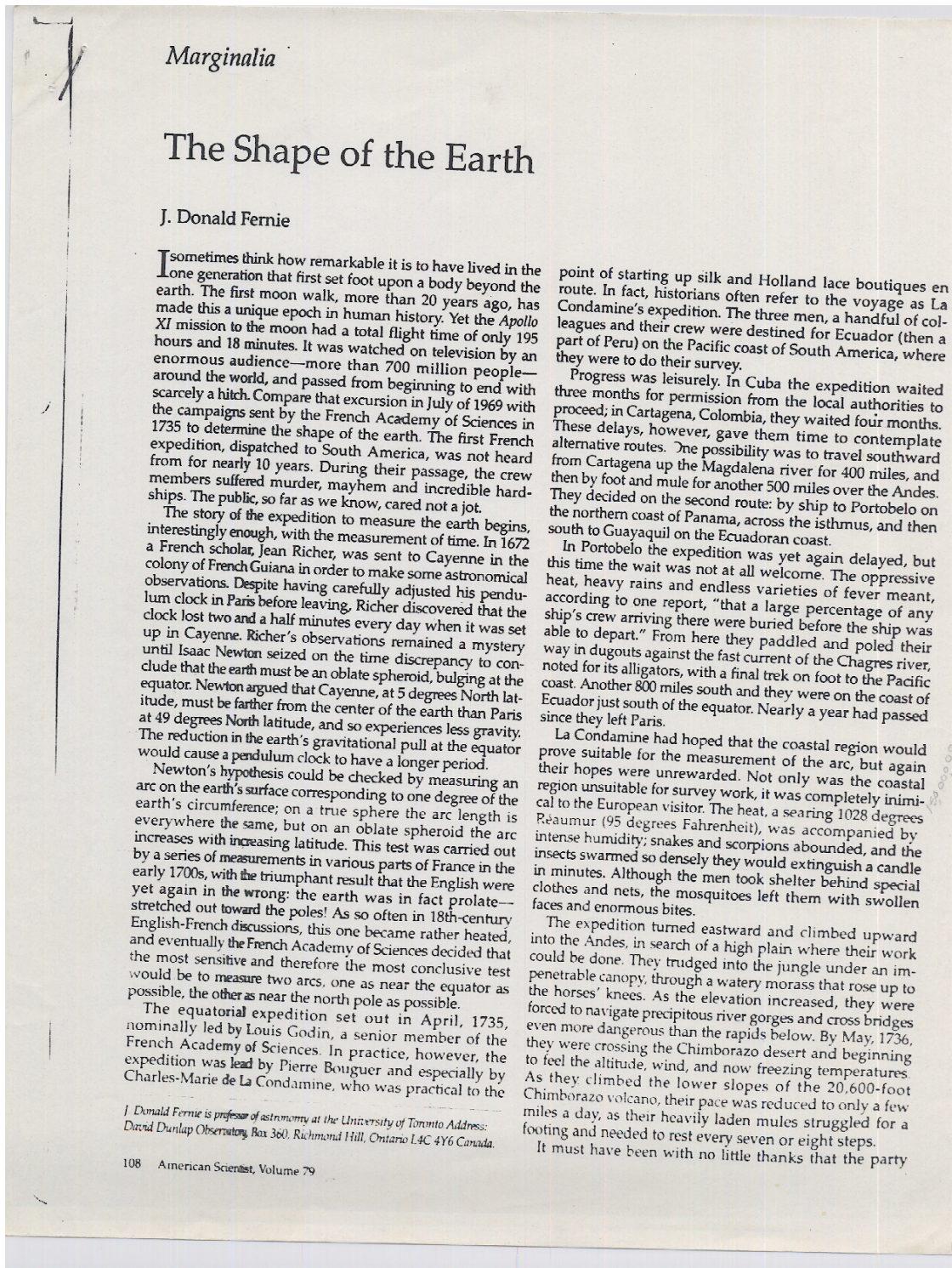
My decision to discontinue SA was based upon a recommendation by the Secretary of Defense in coordination with the Departments of State, Transportation, Commerce, the Director of Central Intelligence, and other Executive Branch Departments and Agencies. They realized that worldwide transportation safety, scientific, and commercial interests could best be served by discontinuation of SA. Along with our commitment to enhance GPS for peaceful applications, my administration is committed to preserving fully the military utility of GPS. The decision to discontinue SA is coupled with our continuing efforts to upgrade the military utility of our systems that use GPS, and is supported by threat assessments which conclude that setting SA to zero at this time would have minimal impact on national security. Additionally, we have demonstrated the capability to selectively deny GPS signals on a regional basis when our national security is threatened. This regional approach to denying navigation services is consistent with the 1996 plan to discontinue the degradation of civil and commercial GPS service globally through the SA technique.

Originally developed by the Department of Defense as a military system, GPS has become a global utility. It benefits users around the world in many different applications, including air, road, marine, and rail navigation, telecommunications, emergency response, oil exploration, mining, and many more. Civilian users will realize a dramatic improvement in GPS accuracy with the discontinuation of SA. For example, emergency teams responding to a cry for help can now determine what side of the highway they must respond to, thereby saving precious minutes. This increase in accuracy will allow new GPS applications to emerge and continue to enhance the lives of people around the world.

/sign/ President William J. Clinton

FUENTE: http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/info/sans_SA/docs/statement.html

Anexo E. Artículo The Shape Of The Earth (Part I/Part II) sobre las expediciones enviadas para definir la forma y dimensiones de la Tierra.



finally sighted the capital city of Quito, where the Jesuit fathers made them welcome. Even here, at 9,400 feet, "all were at first considerably incommoded by the rarefaction of the air, particularly those who had delicate lungs... and were subject to little hemorrhages...."

At last, however, there were plains between the mountain ranges that would be suitable for their task. But no sooner had they started laying out a baseline than one of the group died suddenly. Monseieur Couplet's "distemper rose to such a height that he had only two days to prepare for his passage to eternity; but we had the satisfaction to see he performed his part with exemplary devotion. This almost subitaneous death of a person in the flower of his age was the most alarming, as none of us could discover the nature of his disease." Couplet's death was followed by that of an Indian helper, and Godin himself was frequently ill.

Despite such setbacks the seven-mile baseline was measured forward and backward with agreement to within three inches. In the measurement of their arc, the surveyors would triangulate southward for over 200 miles (almost 3 degrees of latitude), occupying nearly 70 survey stations. But before this undertaking could begin they ran out of money. It was now January, 1737, and La Condamine set off across the mountains again on a journey of 1,500 miles to Lima in order to arrange for new funding.

During La Condamine's absence a new president was installed in Quito, and this somehow resulted in the party being accused of illicit trading. Unable to make any headway with the new authorities, one of the senior members hastened after La Condamine to summon help, while the accused took refuge in the Jesuit college. La Condamine

returned, several months later, with new funding and documents proving that all traded materials had been correctly imported and that no one had done anything illicit. The survey could continue.

Triangulation began with one of the most difficult survey stations, on Pic de Pitchincha at over 14,000 feet. The summit was swept by relentless icy winds, and the sight-lines were only briefly visible as cloud, fog, snow and hail enveloped the workers—their faces, feet and hands swollen from chilblains and painful almost beyond endurance. Breathing was an effort. For three weeks they huddled in a tiny hut which they had hauled piece by piece up the mountainside. They were sustained only by rations of boiled rice, fowl and melted snow as they hovered over a chafing dish of coals. In all it required more than three months to complete the measurements at this one station.

As the work proceeded and the triangulation extended southward, the surveyors were surprised that they were unable to observe their previously occupied stations. When they returned to the sites, they found that the station signals had vanished. The signals had been constructed of wood and rope, which the local people decided could be put to better use, especially since almost no one had the slightest conception of what the foreigners were really doing. The best bet seemed to be that they were illegal prospectors hiding their true purpose behind some incomprehensible mumbo-jumbo story. The signals had to be reconstructed out of less desirable materials.

And so the survey continued, month by month and then year by year. Past beautiful but deadly Cotapaxi, the 19,000-foot volcano that could bring death to thousands, even in that sparsely populated land. Then Sangay, a vol-

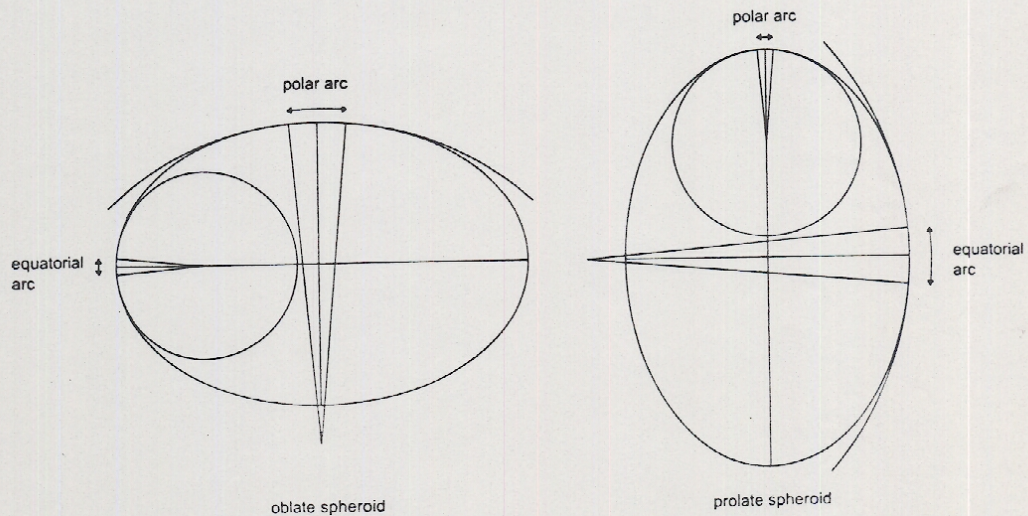


Figure 1. Eighteenth-century views of the earth's shape fell into two camps: English scientists led by Isaac Newton proposed that the earth was oblate—"flattened like a Dutch cheese" (left)—whereas many French scientists led by Jean Dominique Cassini believed that the earth was prolate—"elliptical like an egg" (right). One way to distinguish between these proposals is to compare the distance along the earth's surface corresponding to a degree of geographic latitude near the equator with the distance corresponding to a degree near the poles. Geographic latitude is defined by the local curvature of the earth's surface. On an oblate spheroid the radius of curvature is greater near the poles, and so the distance corresponding to a degree is also greater there than near the equator. On a prolate spheroid the distance spanned by a degree of latitude diminishes toward the poles. To determine the earth's shape the French Academy of Sciences deployed two scientific expeditions in the 1730s to measure two arcs: one near the equator and the other near one of the earth's poles.

1991 March-April 109

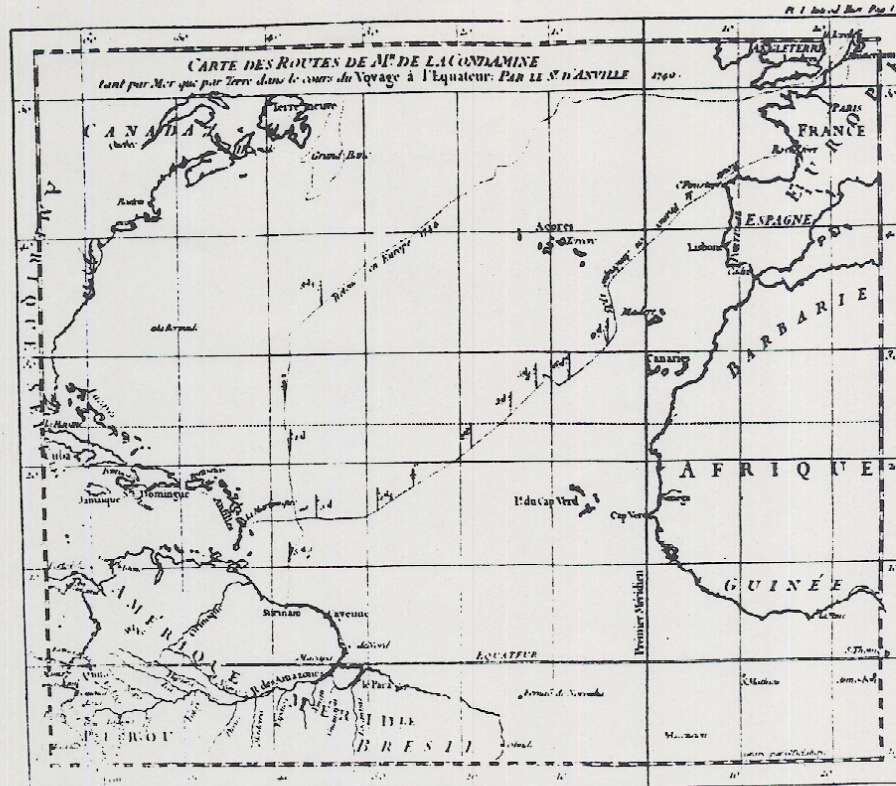


Figure 2. Eighteenth-century map shows the route taken by a French expedition in 1735 from France to Ecuador in order to measure an arc on the earth's surface near the equator. The expedition lasted almost 10 years. The return voyage of one of the expedition leaders, Charles-Marie de La Condamine, is also shown. (Photograph courtesy of Landmark Enterprises.)

cano that had been erupting continuously for 10 years with such violence that its explosions could be heard in Quito, 170 miles away. Particularly difficult were the frequent river crossings, the fast-flowing water having cut deep, narrow canyons that were bridged only by oxhide ropes either in the form of a bujocos (a slatted primitive bridge) or a tarabita (a bosun's chair arrangement). In either case, the mules had to be taken down to the river and made to swim.

In addition to performing the triangulation, the surveyors had to maintain and calibrate their instruments, as well as make astronomical observations to determine the latitudes at the ends of the arc. All in all, it was nearly 1740 by the time the observations were complete.

And then, back in Quito, the expedition's surgeon, Dr. Jean Senièrgues, was murdered. The doctor had been treating the daughter of a well-established local family, and gossip about their relationship began to spread, apparently fueled by the young woman's ex-fiancé. The furious doctor challenged the man to a duel, but in some way not quite clear, the surgeon was set upon by a mob that was leaving a bullfight. Although Bouguer, La Condamine and others sprang to defend him, Senièrgues was fatally wounded. Outraged, La Condamine demanded justice, but it would be three years before the guilty were tried and, as a sentence, banished from Quito.

For Bouguer and La Condamine as well as a few other senior members of the expedition, it was time to go home. It is not clear what became of many of the lesser members; each seems to have proceeded as he saw fit, and some eventually straggled back to France from the most unlikely corners of the globe. Although charged with writing the official report, Louis Godin decided to take a post as an astronomer at the University of San Marcos in Lima. His cousin Jean Godin decided to stay in Ecuador and marry a local 13-year-old girl. Bouguer and La Condamine left Quito on separate routes in early 1743. Bouguer traveled north via the Magdalena river, and returned to Cartagena on the Caribbean coast. La Condamine was to do no less than descend the eastern slopes of the Andes and travel the length of the Amazon to the Atlantic. The precious records of their observations went with them; neither knew for sure what the implications for the shape of the earth would prove to be. (The rest of the story will be told in my next column.)

Acknowledgment

Much of the above is based on the account by James R. Smith in his book *From Plane to Spheroid* (Landmark Enterprises, Rancho Cordova, CA, 1986), a commemoration of the 250th anniversary of the French expeditions.

ia
ti-
er
of
ffe
of
be
ual
p-
or
nd
so-
ttee
the
ter
ter
ter
ing
arter
lack
Cox
arter
Huff
arter

Marginalia

The Shape of the Earth. Part II

J. Donald Fernie

In March of 1743 the French expedition in Ecuador had finished its measurements of the earth's surface. Eight long years had passed since Louis Godin, Pierre Bouguer, Charles-Marie de La Condamine and their assistants had left France to measure an arc of latitude at the equator. Their results were to establish whether the earth is an oblate or a prolate spheroid. The expedition had trudged through the jungle, scaled the volcanoes and the frozen pinnacles of the Andes, and suffered deaths by disease, misadventure, madness and even murder. Now it was time to go home, to compare their scientific records with those of a similar expedition sent to Lapland.

But various members of the expedition chose to return by different routes. Godin, the nominal leader, first accepted the post of astronomer at the University of San Marcos in Lima. Bouguer chose to return by a relatively safe northern route through Cartagena on the Caribbean coast. La Condamine, on the other hand, chose a more adventurous route—down the Amazon River. Sparked by a Jesuit map of the Amazon (and the knowledge that no Frenchman had ever travelled it), La Condamine decided to descend the eastern slopes of the Andes and journey the great river's 3,000-mile length to the Atlantic. He might have given thought to the words of the Spanish explorer Francisco de Orellana, who preceded him by 200 years: "Having eaten our shoes and saddles boiled with a few herbs, we set out to reach the Kingdom of Gold."

La Condamine left Tarqui on May 11, 1743, traveling south toward Lima over a difficult route through Zaruma, Ecuador. There was an easier path, but word had it that assassins were awaiting him on the main route—intent on retaliation for his role in defending the murdered Dr. Senièrgues (the expedition's surgeon, killed three years earlier). It was slow trekking through the forests on the lower mountain slopes. It rained for days, and the rivers were too rapid and broken for rafting. At one river crossing, a mule, fully laden with La Condamine's instruments and records, broke loose and fell into the water. Drying the paper sheets, one by one, took several painstaking days.

Down to the foothills and striking eastward into the Amazon basin, the rivers became more navigable, though still treacherous. At one point along the river Pongo, La Condamine's raft was carried along at some 15 feet per second. In the last 36 hours the level of the river had fallen 25 feet—submerged tree trunks now thrust through the water.

In the middle of the night a half-submerged branch speared the raft. Had La Condamine not been awake, he would have been tossed into the rapid currents of the river. At last, the Pongo broke with a roar through a defile and spread across the wide plain, giving birth to the Rio Amazonas.

La Condamine was delighted. "I found myself in a new world, separated from all human intercourse, on a freshwater sea... penetrating in every direction the gloom of an immense forest.... New plants, new animals, and new races of men were exhibited to my view. Accustomed during seven years to mountains lost in clouds, I was rapt in admiration...."

And so down the seemingly endless Amazon. The indefatigable La Condamine experimented at every turn. He noted the natives were hunting with blow-guns, using darts dipped with the black resinous poison curare. Would it be safe to eat game killed by poison? "There is no danger," he reports cheerfully. "The venom of this poison is only mortal when absorbed by the blood. The antidote is salt, but of safe dependence—sugar." He tells of how he shot a chicken with a curare-dipped arrow, pulled out the arrow, administered sugar, and the chicken "exhibited no sign of the least inconvenience."

La Condamine was intrigued by the rubber trees he found everywhere along the banks of the Amazon. He had first encountered the trees near the Pacific coast, but now he had time to marvel at the way rubber "when fresh could, by means of molds, take any shape given to it, at pleasure." He collected some raw rubber and a few utensils made of the novel substance by the local people, for introduction to France.

Still eight days sailing from the coast, the river was like a sea; its immense breadth heaved with the ebb and flow of the Atlantic tide. In late September, after four months of travel through mountain and jungle, La Condamine found himself welcome in the coastal city of Pará (now called Belém). A scientist to the core, he immediately checked the latitude and the longitude, as well as the length of the seconds pendulum. He needed to reach Cayenne in French Guiana, some 500 miles to the north. He again chose the more difficult route. An ocean-going ship would have taken about two weeks. Instead, he elected to travel along the coast—in a 22-oar dugout canoe—so that he might study the many mouths of the Amazon. The canoe trip took two months.

When La Condamine reached Cayenne, he had to wait six more months for a ship to France. He spent the time studying the sea cow and quinine trees and experimenting on the speed of sound. And he slowly came to realize that his journey to the Pacific, into the Andes and down the Amazon had been unnecessary. Contrary to pre-expedition reports, French Guiana itself offered suitable terrain and a four-degree arc of

J. Donald Fernie is professor of astronomy at the University of Toronto. Address: David Dunlap Observatory, Box 360, Richmond Hill, Ontario L4C 4Y6 Canada

equatorial latitude. The measurements could have been made without ever leaving French territory! One suspects, however, that La Condamine regretted little; he was a Renaissance man who met challenge with enthusiasm.

He left Cayenne in August of 1744, convalescing from jaundice, and after a stormy crossing of the Atlantic and two brushes with British cruisers found himself in Amsterdam at the end of November. After two months of waiting to obtain a passport to cross the Low Countries, La Condamine once more set foot in Paris on February 23, 1745. He had been gone 10 years.

Several other members of the expedition had equally remarkable adventures. The return of Antonio de Ulloa, a Spanish naval officer who was attached to the expedition for political reasons, makes an especially pleasing story. Ulloa started his return from Ecuador in 1744 on a French ship that struggled around Cape Horn on a five-month voyage into the mid-Atlantic. The ship found itself in a cat-and-mouse game with British men-of-war, which eventually captured their prey. After a spell in a Newfoundland prison, Ulloa was sent to England, where he was incarcerated in Porchester Castle. When his expeditionary records were confiscated, Ulloa pleaded with his captors not to lose or destroy them. The appeal reached Martin Folkes, President of the Royal Society, who insisted that the papers be sent to him so that they would not fall into the hands of the "ignoramuses" at the British Admiralty. Greatly impressed by the papers, Folkes arranged for Ulloa's release and had him quickly elected to the Royal Society! Ulloa returned in triumph to Madrid in 1746.

Nothing more bespeaks the character of the age, however, than the story of Jean Godin (the cousin of Louis Godin, the expedition's leader) and his wife, Doña Isabela. The courage of this indomitable woman would become the talk of Europe for decades.

Doña Isabela had been a 13-year-old girl when Jean Godin married her in 1743. The couple lived in Quito for some six years before they decided it was time to leave for France.

Godin elected to travel along the route chosen earlier by La Condamine—down the Amazon and on to Cayenne. He decided to test the route alone, then return to fetch his wife and children, and finally to traverse mountains and river once more with the family en route to France. As Godin put it drily in a letter to La Condamine, "Travels in South America are undertaken with much less concern than in Europe; and those I had made... had made me perfectly a veteran."

In Cayenne, alone at the end of the first leg of the journey, Godin sought to obtain permission from the Portuguese to return up the Amazon. But the authority to travel again was slow in coming; several mishaps brought incredible delays. Godin began to suffer delusions, with symptoms suggesting paranoia. He began to see the Portuguese as his enemy and sent wild plans to Paris for a French take-over of the Amazon basin. He built his own vessel and set sail for the Amazon, but immediately turned back at the thought of being captured by the Portuguese. In reality, the Portuguese had sent a ship to fetch him, complete with an escort and instructions to take him up the Amazon, where they were to wait for his return with his family. Godin refused to set foot on board. The embarrassed French governor of Cayenne exchanged abusive letters with Godin. Eventually, a messenger was sent in Godin's place carrying a packet of letters for Doña Isabela.

Sixteen years had passed; Doña Isabela never received the letters. But word of their existence had reached her. Finally she decided she must set out herself to reach Godin. All four of their children had died of tropical diseases. She sent a slave, Joachim, to the mid-reaches of the Amazon to check the rumors that a ship awaited her there. He returned in two years to say that indeed it was there—patiently waiting to take her to her husband. And so in 1769, Doña Isabela, now 40 years old, set out at the head of a small party on a journey across the cordilleras and down the Amazon (variously called the dark river of tragedy and the living green hell).

Where they had expected to find guides they found none. An epidemic of smallpox had ravaged the main routes, and the local populace had fled the area. The party rafted on

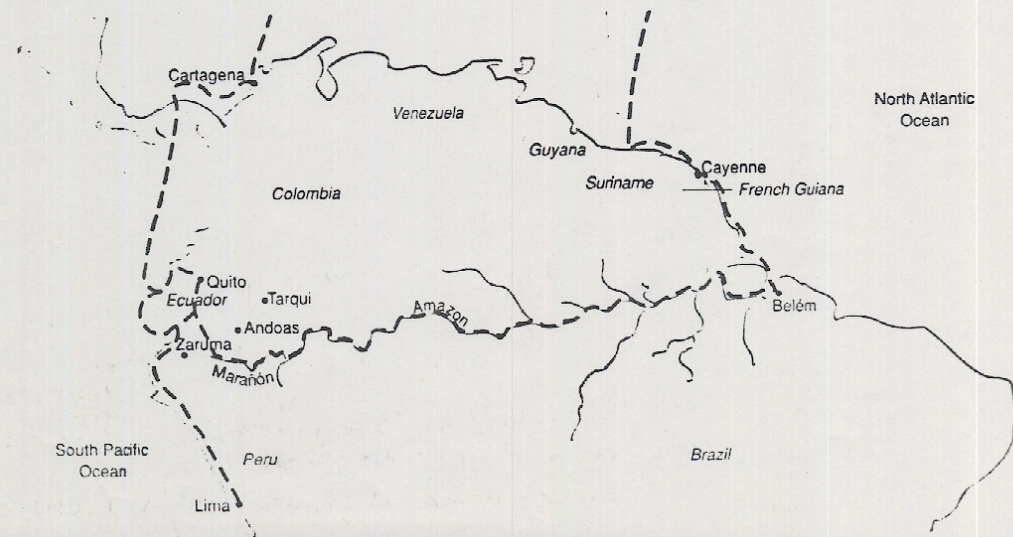


Figure 1. Passage (red) of Charles-Marie de La Condamine during his scientific explorations of South America in the 18th century.

394 American Scientist, Volume 79



Figure 2. Doña Isabela, wife of expedition member Jean Godin, journeyed down the Amazon to be reunited with her husband after a 20-year separation.

down the wild rivers, hemmed in by the jungle walls, going at the pace of a cantering horse, slamming into rocks and submerged trees. Some food supplies and several of the men were lost overboard. Mosquitoes, black piume flies and blood-sucking jejenes swarmed over their unprotected bodies until the blood flowed and people were driven half-mad.

It was decided that Doña Isabela, with three women servants and three men, would make camp, while Joachim and two others went down the river to seek help. The campers had difficulty finding food, and their morale ebbed. One of the men began an orgy of assault and rape on the servants; later he developed a morbid horror of the dark and awoke screaming one night believing that a vampire bat was sucking blood from his toe. The menacing jungle seemed constantly to threaten death. They were all close to breaking.

A month passed without sign of Joachim; Doña Isabela decided he must have perished. She decreed that the rest of them must build a raft and push on. Their inexperience augured failure; hardly had they set sail than their raft was smashed against a half-submerged tree, and their remaining possessions were swept away by the river. The survivors struggled up the river bank, some so delirious they walked aimlessly into the jungle and never returned. Doña Isabela awoke the next day to find she was the sole survivor. It was, she later wrote, the thought of her husband waiting in Cayenne (from whom she had been separated for 20 years) that drove her after two days to leave the rotting corpses of her erstwhile companions. She appropriated their shoes and set out, as if in a trance, through the jungle. Soon after she left, Joachim returned. Finding some of the party missing

and the rest dead, he concluded that none had survived. His report that Doña Isabela had died reached Ecuador, Cayenne and even Paris before the truth was known.

Doña Isabela plunged on for nine days, living off roots and palm cabbage, her clothes in tatters. She stumbled on a group of Shimigai Indians, who took her by canoe to a mission at Andoas in Peru. Father Romero, the mission chief, proposed returning her to her family in Ecuador. "I am surprised at your proposals, Padre," replied Madame Godin indignantly. "God has preserved me... in my wish to rejoin my husband." She set off in another canoe, at last to meet the Portuguese ship still patiently awaiting her. It was now 1770; she still had 2,000 miles of the Amazon to travel.

Eventually, as she and the Portuguese escort sailed into Cayenne, Doña Isabela and Godin were rejoined. "On board this vessel," wrote Godin, "after 20 years' absence and a long endurance on either side of alarms and misfortunes, I again met with a cherished wife whom I had almost given over every hope of seeing again."

Recovery was slow, and it was not until 1773 that they took ship for France. Thirty-eight years after he had set out to help determine the shape of the earth, Jean Godin returned to Paris. La Condamine was there to greet him on the dock.

In Part III we shall look at the Lapland expedition, and then see how all these monumental efforts worked out.

Acknowledgments

Some of this material is based on the work of James R. Smith, *From Plane to Spheroid* (Landmark Enterprises, Rancho Cordova CA, 1986), and some on V. W. von Hagen's lively account in *South America Called Them* (Alfred A. Knopf, New York, 1945). I am much indebted to Jay M. Savage of the University of Miami for drawing the latter reference to my attention.

PERSONAL BIBLIOGRAPHIC DATABASES

THE FIRST GENERATION:

SCI-MATE • DMS 4 CITE • PRO-CITE
REFERENCE MANAGER • REF-11

THE SECOND GENERATION:

PAPYRUS™

VERSION 6.0

- Manages up to 2 million reference citations. Stores up to 16,000 characters and 100 keywords per reference.
- Fast, powerful search capabilities.
- Dozens of predefined output formats, plus the ability to easily design your own additional formats.
- 100% compatible with WordPerfect, Microsoft Word, PC-Write, WordStar 2000, WordStar Pro, XyWrite.
- Can also be used with virtually all other word processors.
- Able to import references from national databases, other bibliography programs, or almost any other database or text file.

Full Registered System **\$9900**

Full money-back guarantee on purchase of Registered System.

Demo System **\$2500**
Demo price credited toward subsequent Registered System purchase.

Outside North America: add \$10 shipping charge - U.S. funds on a U.S. bank.

IBM PC and compatibles
VAX-VMS
(Macintosh version planned for mid-1991)

Research Software
Design

2718 SW Kelly Street, Suite 181
Portland, OR 97201
(503) 796-1368 FAX 503 241-4260

Circle 60 on Reader Service Card

ANEXO F. RESUMEN DEL CÁLCULO DE LAS COORDENADAS MEDIANTE LA LIGA A LA RED GEODÉSICA NACIONAL DEL INEGI (AMOXCALLI, GRFS, GRGC, GRPY, OCRB, OCPBC Y DLN)

Página 1 de 2



Resultados - Línea base ICEP - AMOXCALLI

Información del proyecto

Nombre del proyecto: AMOXCALLI
Fecha de creación: 05/18/2010 16:37:37
Huso horario: -6h 00'
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Programa de aplicación: LEICA Geo Office 4.0
Kernel de procesamiento: PSI-Pro 2.0
Procesado: 05/24/2010 10:38:45

Información de punto

	Referencia: ICEP	Móvil: AMOXCALLI
Tipo de receptor / N/S:	AshtechZ-XII3 / B03502	GRX1200PRO / 452731
Tipo de antena / N/S:	L1L2 / 700228D268	AX1202 / -
Altura de antena:	0.1203 m	0.0000 m
Coordenadas iniciales:		
Latitud:	19° 01' 58.88569" N	19° 20' 15.08558" N
Longitud:	98° 11' 15.34405" W	99° 11' 21.54844" W
Alt Elíp.:	2150.3408 m	2341.1458 m

Parámetros de procesamiento

Parámetros	Selección	Usado	Comentario
Ángulo de elevación:	10°	10°	
Tipo de efemérides (GPS):	Transmitidas	Transmitidas	
Tipo de efemérides (GLONASS):	Transmitidas	Transmitidas	
Tipo de solución:	Automático	Fase	
Tipo GNSS:	Automático	GPS	
Frecuencia:	Automático	Automático	
Fijar ambigüedades hasta:	150 km	150 km	
Duración mínima para solución flotante (estático):	5' 00"	5' 00"	
Intervalo de muestreo:	Usar todas	15	
Modelo troposférico:	Hopfield	Hopfield	
Modelo ionosférico:	Automático	Calculada	
Emplear modelo estocástico:	Sí	Sí	
Dist. mínima:	8 km	8 km	
Actividad ionosférica:	Automático	Automático	

Selección de satélites

Satélites GPS inhabilitados manualmente (PRNs): Ninguno
Satélites GLONASS inhabilitados manualmente (Slot Ninguno Id):

Coordenadas finales

	Referencia:ICEP	Móvil:AMOXCALLI
Coordenadas:		
Latitud:	19° 01' 58.88569" N	19° 20' 15.06287" N
Longitud:	98° 11' 15.34405" W	99° 11' 21.52856" W
Alt Elip.:	2150.3408 m	2342.8690 m
Tipo de solución:	Fase	
Tipo GNSS:	GPS	
Frecuencia:	Sin ionosfera (L3)	
Ambigüedad:	Sí	
Calidad:	Desv. Est. Lat: 0.0002 m	Desv. Est. Lon: 0.0002 m Desv. Est. Alt.: 0.0005 m
	Q Posic.: 0.0003 m	Desv. Est. geom.: 0.0002 m



Resultados - Línea base OAX2 - GRFS

Información del proyecto

Nombre del proyecto: GRFS
Fecha de creación: 05/24/2010 12:55:58
Huso horario: -6h 00'
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Programa de aplicación: LEICA Geo Office 4.0
Kernel de procesamiento: PSI-Pro 2.0
Procesado: 05/24/2010 13:37:46

Información de punto

	Referencia: OAX2	Móvil: GRFS
Tipo de receptor / N/S:	TRIMBLE5700 / 0220294765	GRX1200PRO / 456880
Tipo de antena / N/S:	Zephyr Geodetic / 12355966	AX1202 / -
Altura de antena:	0.1317 m	0.0000 m
Coordenadas iniciales:		
Latitud:	17° 04' 42.02155" N	16° 45' 48.40740" N
Longitud:	96° 43' 00.25760" W	93° 08' 53.16451" W
Alt Elip.:	1607.2980 m	579.1965 m

Parámetros de procesamiento

Parámetros	Selección	Usado	Comentario
Ángulo de elevación:	10°	10°	
Tipo de efemérides (GPS):	Transmitidas	Transmitidas	
Tipo de efemérides (GLONASS):	Transmitidas	Transmitidas	
Tipo de solución:	Automático	Fase	
Tipo GNSS:	Automático	GPS	
Frecuencia:	Automático	Automático	
Fijar ambigüedades hasta:	380 km	380 km	
Duración mínima para solución flotante (estático):	5' 00"	5' 00"	
Intervalo de muestreo:	Usar todas	15	
Modelo troposférico:	Hopfield	Hopfield	
Modelo ionosférico:	Automático	Ninguno	
Emplear modelo estocástico:	Si	Si	
Dist. mínima:	8 km	8 km	
Actividad ionosférica:	Automático	Automático	

Selección de satélites

Satélites GPS inhabilitados manualmente (PRNs): Ninguno
Satélites GLONASS inhabilitados manualmente (Slot Id): Ninguno

Coordenadas finales

	Referencia:OAX2	Móvil:GRFS
Coordenadas:		
Latitud:	17° 04' 42.02155" N	16° 45' 48.36727" N
Longitud:	96° 43' 00.25760" W	93° 08' 53.15329" W
Alt Elip.:	1607.2980 m	579.8584 m
Tipo de solución:	Flotante	
Tipo GNSS:	GPS	
Frecuencia:	Sin ionosfera (L3)	
Ambigüedad:	No	
Calidad:	Desv. Est. Lat: 0.0001 m	Desv. Est. Lon: 0.0002 m Desv. Est. Alt.: 0.0002 m
	Q Posic.: 0.0002 m	Desv. Est. geom.: 0.0002 m



Resumen de procesamiento GRGC

Información del proyecto

Nombre del proyecto:	GRGC
Fecha de creación:	05/24/2010 16:40:36
Huso horario:	-6h 00'
Sistema de coordenadas:	WGS 1984
Programa de aplicación:	LEICA Geo Office 4.0
Fecha y hora de inicio:	05/06/2010 06:59:46
Fecha y hora de término:	05/06/2010 14:59:31
Puntos ocupados manualmente:	4
Kernel de procesamiento:	PSI-Pro 2.0
Procesado:	05/24/2010 16:45:35

Parámetros de procesamiento

Parámetros	Selección
Ángulo de elevación:	10°
Tipo de efemérides:	Transmitidas
Tipo de solución:	Automático
Tipo GNSS:	Automático
Frecuencia:	Automático
Fijar ambigüedades hasta:	350 km
Duración mínima para solución flotante (estático):	5' 00"
Intervalo de muestreo:	Usar todas
Modelo troposférico:	Hopfield
Modelo ionosférico:	Automático
Emplear modelo estocástico:	Sí
Dist. mínima:	8 km
Actividad ionosférica:	Automático

Inf. general de línea base

OAX2 - GRGC

Coordenadas:

Latitud: 17° 04' 42.02155" N
Longitud: 96° 43' 00.25760" W
Alt Elip.: 1607.2980 m

Referencia: OAX2

Móvil: GRGC

19° 31' 46.96490" N
96° 55' 29.00034" W
1431.0339 m

Tipo de solución:

Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: Sin ionosfera (L3)
Ambigüedad: Si

TAMP - GRGC

Coordenadas:

Latitud: 22° 16' 41.95723" N
Longitud: 97° 51' 50.48937" W
Alt Elip.: 21.1080 m

Referencia: TAMP

Móvil: GRGC

19° 31' 46.96797" N
96° 55' 28.99466" W
1431.1542 m

Tipo de solución: Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: Sin ionosfera (L3)
Ambigüedad: Sí

TOL2 - GRGC

Coordenadas:

Latitud: 19° 17' 35.64431" N
Longitud: 99° 38' 36.49337" W
Alt Elip.: 2651.7250 m

Referencia: TOL2

Móvil: GRGC

19° 31' 46.96779" N
96° 55' 28.99726" W
1431.1267 m

Tipo de solución: Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: Sin ionosfera (L3)
Ambigüedad: Sí

TOL2 - GRGC

Coordenadas:

Latitud: 19° 17' 35.64431" N
Longitud: 99° 38' 36.49337" W
Alt Elip.: 2651.7250 m

Referencia: TOL2

Móvil: GRGC

19° 31' 46.96747" N
96° 55' 28.99598" W
1431.1897 m

Tipo de solución: Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: Sin ionosfera (L3)
Ambigüedad: Sí



Resumen de procesamiento GRPY

Información del proyecto

Nombre del proyecto:	GRPY
Fecha de creación:	05/24/2010 12:24:05
Huso horario:	-6h 00'
Sistema de coordenadas:	WGS 1984
Programa de aplicación:	LEICA Geo Office 4.0
Fecha y hora de inicio:	05/06/2010 06:59:46
Fecha y hora de término:	05/06/2010 14:59:31
Puntos ocupados manualmente:	3
Kernel de procesamiento:	PSI-Pro 2.0
Procesado:	05/24/2010 12:31:23

Parámetros de procesamiento

Parámetros	Selección
Ángulo de elevación:	10°
Tipo de efemérides:	Transmitidas
Tipo de solución:	Automático
Tipo GNSS:	Automático
Frecuencia:	Automático
Fijar ambigüedades hasta:	350 km
Duración mínima para solución flotante (estático):	5' 00"
Intervalo de muestreo:	Usar todas
Modelo troposférico:	Hopfield
Modelo ionosférico:	Automático
Emplear modelo estocástico:	Si
Dist. mínima:	8 km
Actividad ionosférica:	Automático

Inf. general de línea base

CHET - GRPY	Referencia: CHET	Móvil: GRPY
Coordenadas:		
Latitud:	18° 29' 42.99542" N	20° 59' 03.89386" N
Longitud:	88° 17' 57.20162" W	89° 39' 29.56922" W
Alt Elip.:	3.0130 m	13.3094 m
Tipo de solución:	Fase	
Tipo GNSS:	GPS	
Frecuencia:	Sin ionosfera (L3)	
Ambigüedad:	Si	
icam - GRPY	Referencia: icam	Móvil: GRPY
Coordenadas:		
Latitud:	19° 51' 12.44616" N	20° 59' 03.89379" N
Longitud:	90° 31' 38.89310" W	89° 39' 29.56732" W
Alt Elip.:	2.6350 m	13.4122 m

Tipo de solución: Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: Sin ionosfera (L3)
Ambigüedad: Sí

MERI - GRPY

Coordenadas:

Latitud: 20° 58' 48.16279" N
Longitud: 89° 37' 13.13418" W
Alt Elip.: 7.9120 m

Referencia: MERI

Móvil: GRPY

20° 59' 03.89342" N
89° 39' 29.56717" W
13.4431 m

Tipo de solución: Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: L1 y L2
Ambigüedad: Sí



Resumen de procesamiento DLN

Información del proyecto

Nombre del proyecto:	DLN
Fecha de creación:	05/24/2010 12:33:51
Huso horario:	-6h 00'
Sistema de coordenadas:	WGS 1984
Programa de aplicación:	LEICA Geo Office 4.0
Fecha y hora de inicio:	05/06/2010 06:59:46
Fecha y hora de término:	05/06/2010 14:59:31
Puntos ocupados manualmente:	2
Kernel de procesamiento:	PSI-Pro 2.0
Procesado:	05/24/2010 12:49:37

Parámetros de procesamiento

Parámetros	Selección
Ángulo de elevación:	10°
Tipo de efemérides:	Transmitidas
Tipo de solución:	Automático
Tipo GNSS:	Automático
Frecuencia:	Automático
Fijar ambigüedades hasta:	300 km
Duración mínima para solución flotante (estático):	5' 00"
Intervalo de muestreo:	Usar todas
Modelo troposférico:	Hopfield
Modelo ionosférico:	Automático
Emplear modelo estocástico:	Sí
Dist. mínima:	8 km
Actividad ionosférica:	Automático

Inf. general de línea base

COL2 - DLN	Referencia: COL2	Móvil: DLN
Coordenadas:		
Latitud:	19° 14' 39.99621" N	21° 29' 46.56659" N
Longitud:	103° 42' 06.77420" W	104° 53' 05.98290" W
Alt Elip.:	528.8370 m	917.2533 m
Tipo de solución:	Fase	
Tipo GNSS:	GPS	
Frecuencia:	Sin ionosfera (L3)	
Ambigüedad:	Sí	
IITJ - DLN	Referencia: IITJ	Móvil: DLN
Coordenadas:		
Latitud:	20° 41' 04.22248" N	21° 29' 46.56761" N
Longitud:	103° 26' 45.73354" W	104° 53' 05.98172" W
Alt Elip.:	1657.0554 m	917.2751 m
Tipo de solución:	Fase	
Tipo GNSS:	GPS	
Frecuencia:	Sin ionosfera (L3)	
Ambigüedad:	Sí	



Resumen de procesamiento OCPBC

Información del proyecto

Nombre del proyecto: OCPBC
Fecha de creación: 05/24/2010 13:47:19
Huso horario: -6h 00'
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Programa de aplicación: LEICA Geo Office 4.0
Fecha y hora de inicio: 05/06/2010 06:59:46
Fecha y hora de término: 05/06/2010 14:59:31
Puntos ocupados manualmente: 3
Kernel de procesamiento: PSI-Pro 2.0
Procesado: 05/24/2010 16:04:27

Parámetros de procesamiento

Parámetros	Selección
Ángulo de elevación:	10°
Tipo de efemérides:	Transmitidas
Tipo de solución:	Automático
Tipo GNSS:	Automático
Frecuencia:	Automático
Fijar ambigüedades hasta:	180 km
Duración mínima para solución flotante (estático):	5' 00"
Intervalo de muestreo:	Usar todas
Modelo troposférico:	Hopfield
Modelo ionosférico:	Automático
Emplear modelo estocástico:	Sí
Dist. mínima:	8 km
Actividad ionosférica:	Automático

Inf. general de línea base

P508 - OCPBC	Referencia: P508	Móvil: OCPBC
Coordenadas:		
Latitud:	33° 14' 52.01160" N	32° 39' 59.70344" N
Longitud:	115° 25' 43.33440" W	115° 27' 28.49990" W
Alt Elip.:	10.6892 m	-17.4852 m
Tipo de solución:	Fase	
Tipo GNSS:	GPS	
Frecuencia:	Sin ionosfera (L3)	
Ambigüedad:	Sí	
BLYT - OCPBC	Referencia: BLYT	Móvil: OCPBC
Coordenadas:		
Latitud:	33° 36' 37.49371" N	32° 39' 59.70200" N
Longitud:	114° 42' 53.46305" W	115° 27' 28.50171" W
Alt Elip.:	85.9073 m	-17.5015 m

Tipo de solución: Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: Sin ionosfera (L3)
Ambigüedad: Sí

MEXI - OCPBC

Coordenadas:

Latitud: 32° 37' 58.76806" N
Longitud: 115° 28' 32.51529" W
Alt Elip.: -22.4210 m

Referencia: MEXI

Móvil: OCPBC

32° 39' 59.70362" N
115° 27' 28.48993" W
-17.4570 m

Tipo de solución: Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: L1 y L2
Ambigüedad: Sí



Resumen de procesamiento OCRB

Información del proyecto

Nombre del proyecto: OCRB
Fecha de creación: 05/24/2010 16:06:14
Huso horario: -6h 00'
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Programa de aplicación: LEICA Geo Office 4.0
Fecha y hora de inicio: 05/06/2010 06:59:46
Fecha y hora de término: 05/06/2010 14:59:31
Puntos ocupados manualmente: 4
Kernel de procesamiento: PSI-Pro 2.0
Procesado: 05/24/2010 16:39:22

Parámetros de procesamiento

Parámetros	Selección
Ángulo de elevación:	10°
Tipo de efemérides:	Transmitidas
Tipo de solución:	Automático
Tipo GNSS:	Automático
Frecuencia:	Automático
Fijar ambigüedades hasta:	500 km
Duración mínima para solución flotante (estático):	5' 00"
Intervalo de muestreo:	Usar todas
Modelo troposférico:	Hopfield
Modelo ionosférico:	Automático
Emplear modelo estocástico:	Sí
Dist. mínima:	8 km
Actividad ionosférica:	Automático

Inf. general de línea base

KVTX - OCRB	Referencia: KVTX	Móvil: OCRB
Coordenadas:		
Latitud:	27° 32' 45.40560" N	25° 40' 57.58257" N
Longitud:	97° 53' 34.34640" W	100° 16' 18.61977" W
Alt Elip.:	-1.2710 m	491.1102 m
Tipo de solución:	Fase	
Tipo GNSS:	GPS	
Frecuencia:	Sin ionosfera (L3)	
Ambigüedad:	Sí	
MTY2 - OCRB	Referencia: MTY2	Móvil: OCRB
Coordenadas:		
Latitud:	25° 42' 55.82609" N	25° 40' 57.60026" N
Longitud:	100° 18' 46.45205" W	100° 16' 18.64294" W
Alt Elip.:	521.7810 m	489.7941 m

Tipo de solución: Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: L1 y L2
Ambigüedad: Sí

TAMP - OCRB

Referencia: TAMP

Móvil: OCRB

Coordenadas:

Latitud: 22° 16' 41.95723" N
Longitud: 97° 51' 50.48937" W
Alt Elip.: 21.1080 m

25° 40' 57.59980" N
100° 16' 18.64494" W
489.5986 m

Tipo de solución: Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: Sin ionosfera (L3)
Ambigüedad: Sí

USLP - OCRB

Referencia: USLP

Móvil: OCRB

Coordenadas:

Latitud: 22° 08' 39.24061" N
Longitud: 101° 00' 56.40017" W
Alt Elip.: 1892.8797 m

25° 40' 57.59998" N
100° 16' 18.64628" W
489.7043 m

Tipo de solución: Fase
Tipo GNSS: GPS
Frecuencia: Sin ionosfera (L3)
Ambigüedad: Sí

ANEXO G. REPORTE POR LINEA BASE DEL CÁLCULO DEL CÁLCULO DE COORDENADAS DEL LEVANTAMIENTO EFECTUADO EN LA PAZ, BCS.

Página 1 de 3



Resumen de procesamiento Costa_Azul

Información del Proyecto

Nombre del Proyecto: Costa_Azul
Fecha de creación: 06/11/2009 12:24:11
Huso horario: -6h 00'
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Programa de aplicación: Leica GIS DataPro
Fecha y hora de inicio: 06/10/2009 03:55:55
Fecha y hora de término: 06/10/2009 06:34:04
Puntos ocupados manualmente: 9
Kernel de Procesamiento: PSI-Pro 1 .0
Procesado: 06/11/2009 17:19:59

Parámetros de procesamiento

Parámetros	Selección
Ángulo de elevación:	5°
Tipo de efemérides:	Transmitidas
Tipo de solución:	Código
Frecuencia:	Solo L1
Fijar ambigüedades hasta:	80 km
Duración mínima para solución flotante (estático):	5' 00"
Intervalo de muestreo:	Usar Todas
Modelo troposférico:	Hopfield
Modelo ionosférico:	Automático
Emplear modelo estocástico:	No

Inf. general de línea base

LPAZ - POINT00001	Referencia: LPAZ	Móvil: POINT00001
Coordenadas:		
Latitud:	24° 08' 19.66904" N	23° 01' 52.81691" N
Longitud:	110° 19' 09.63570" W	109° 43' 03.19168" W
Alt Elip.:	-6.7850 m	7.4300 m
Tipo de solución:	Código	
Frecuencia:	Solo L1	
Ambigüedad:	No	
CULC - POINT00001	Referencia: CULC	Móvil: POINT00001
Coordenadas:		
Latitud:	24° 47' 42.31241" N	23° 01' 52.82322" N
Longitud:	107° 24' 45.33652" W	109° 43' 03.21449" W
Alt Elip.:	36.1730 m	7.6143 m
Tipo de solución:	Código	
Frecuencia:	Solo L1	
Ambigüedad:	No	

HER2 - POINT00001	Referencia: HER2	Móvil: POINT00001
Coordenadas:		
Latitud:	29° 05' 33.17336" N	23° 01' 52.81426" N
Longitud:	110° 58' 01.96439" W	109° 43' 03.19864" W
Alt Elip.:	186.9590 m	7.1552 m
Tipo de solución:	Código	
Frecuencia:	Solo L1	
Ambigüedad:	No	
LPAZ - POINT00002	Referencia: LPAZ	Móvil: POINT00002
Coordenadas:		
Latitud:	24° 08' 19.66904" N	23° 01' 52.81863" N
Longitud:	110° 19' 09.63570" W	109° 43' 03.18448" W
Alt Elip.:	-6.7850 m	7.7319 m
Tipo de solución:	Código	
Frecuencia:	Solo L1	
Ambigüedad:	No	
CULC - POINT00002	Referencia: CULC	Móvil: POINT00002
Coordenadas:		
Latitud:	24° 47' 42.31241" N	23° 01' 52.82000" N
Longitud:	107° 24' 45.33652" W	109° 43' 03.21030" W
Alt Elip.:	36.1730 m	7.5966 m
Tipo de solución:	Código	
Frecuencia:	Solo L1	
Ambigüedad:	No	
HER2 - POINT00002	Referencia: HER2	Móvil: POINT00002
Coordenadas:		
Latitud:	29° 05' 33.17336" N	23° 01' 52.81349" N
Longitud:	110° 58' 01.96439" W	109° 43' 03.19844" W
Alt Elip.:	186.9590 m	7.5222 m
Tipo de solución:	Código	
Frecuencia:	Solo L1	
Ambigüedad:	No	
LPAZ - POINT00003	Referencia: LPAZ	Móvil: POINT00003
Coordenadas:		
Latitud:	24° 08' 19.66904" N	23° 01' 49.59871" N
Longitud:	110° 19' 09.63570" W	109° 42' 58.01012" W
Alt Elip.:	-6.7850 m	-5.1144 m
Tipo de solución:	Código	
Frecuencia:	Solo L1	
Ambigüedad:	No	
CULC - POINT00003	Referencia: CULC	Móvil: POINT00003
Coordenadas:		
Latitud:	24° 47' 42.31241" N	23° 01' 49.60816" N
Longitud:	107° 24' 45.33652" W	109° 42' 58.03010" W
Alt Elip.:	36.1730 m	-5.1207 m
Tipo de solución:	Código	
Frecuencia:	Solo L1	

Ambigüedad:	No	
HER2 - POINT00003	Referencia: HER2	Móvil: POINT00003
Coordenadas:		
Latitud:	29° 05' 33.17336" N	23° 01' 49.59608" N
Longitud:	110° 58' 01.96439" W	109° 42' 58.01809" W
Alt Elip.:	186.9590 m	-5.1085 m
Tipo de solución:	Código	
Frecuencia:	Solo L1	
Ambigüedad:	No	