

01125
8



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**REDEFINICIÓN DE LA RED GEODESICA
HORIZONTAL**

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA
P R E S E N T A

ENRIQUE GUTIERREZ TERRONES

Director: M.I Raymundo Arvizu Diaz



México D.F

2003

1



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION

DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCG/SEAC/UTIT/ 120/02

Señor
ENRIQUE GUTIÉRREZ TERRONES
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. RAYMUNDO ARVIZU DÍAZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tema de tesis de su examen profesional de **INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA.**

"REDEFINICIÓN DE LA RED GEODÉSICA HORIZONTAL"

- RESUMEN
- INTRODUCCIÓN
- I. RED GEODESICA HORIZONTAL
- II. REDEFINICIÓN
- III. NUEVA RED GEODÉSICA NACIONAL
- IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS
- V. CONCLUSIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitario a 27 de agosto de 2002.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
C/FB/CMP/mstg.

Se le remite a la Dirección General de Bibliotecas de UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: Enrique Gutiérrez Terrones

FECHA: 14 Enero 2003

FIRMA:

AGRADECIMIENTOS

Antes de agradecer a tantas personas que forman parte ya de esta etapa de mi vida, creo que es importante darle las gracias a Dios por todo lo que me ha dado:

Por el regalo más hermoso que pude soñar que es haber conocido a mis padres y a mis hermanas:

A mi madre: Por darme mi vida

A mi padre: Por ser tan generoso.

A mis hermanas: Por que todas son un gran apoyo

Por haberme permitido formarme dentro de la mejor Universidad de nuestro México, que es la Universidad Nacional Autónoma de México. Y en especial en la Facultad de Ingeniería, porque me formó como profesionista en esta maravillosa carrera. Y además:

A mis profesores: Porque tuve la oportunidad de conocerlos y aprender de ellos. Y en especial al M.I Raymundo Arvizu Díaz quien me apoyo en todo momento además de obsequiarme grandes consejos.

Por permitirme conocer a tantos amigos que me apoyaron en los momentos más difíciles de mi vida y me orientaron con sus consejos.

A todos ustedes se los agradezco mucho!!

Indice

INDICE

Lista de Figuras	i
Lista de Tablas	i
Lista de Esquemas	i
Resumen	ii
Introducción	1

CAPITULO I RED GEODÉSICA HORIZONTAL

1.1 Antecedentes	4
1.2 Datum Norteamericano de 1927	8
1.2.1 Datum Horizontal	8
1.2.2 El NAD27	8
1.3 Estado actual de la Red Geodésica Horizontal	10
1.3.1 Estaciones Doppler	11
1.3.2 Estaciones GPS	13
1.3.3 Nuevos Sistemas de Referencia	14
1.3.3.1 Sistema Terrestre Convencional	15
1.3.3.2 El ITRF	16

CAPITULO II REDEFINICIÓN

2.1 Confrontación de la Red Geodésica	18
2.2 Problema de la redefinición	20
2.3 Prueba de redefinición	21
2.3.1 Descripción y Evaluación de los datos	21
2.3.2 Evaluación previa al Ajuste de la Red Terrestre	24
2.4 Etapas de la Redefinición	25
2.4.1 Aspectos Teóricos	26
2.4.1.1 Combinación Tridimensional de la Red Terrestre NAD27 y Satelital WGS72	30

Indice

2.4.1.2 Transformación de coordenadas Curvilineas a Cartesianas	30
2.4.1.3 Modelo de Bursa	31
2.4.1.4 Ajuste por Minimos Cuadrados de los datos terrestres (NAD27) y satelitarios (WGS72)	32
2.4.1.5 Determinación de los parametros de transformación entre los Datums NAD27 y WGS72	35
2.4.2 Combinacion Bidimensional de la Red Terrestre y Satelital	37
2.4.2.1 Transformación de coordenadas Cartesianas a Curvilineas	37
2.4.2.2 Ajuste por mínimos cuadrados de los datos terrestres y satelitarios	38
2.4.2.3 Ajuste de la red considerando las estaciones satelitales como control	40

CAPITULO III NUEVA RED GEODESICA NACIONAL

3.1 Justificación del cambio	42
3.2 La Red Geodésica Nacional Activa	44
3.2.1 Oficialización	47
3.2.2 Estaciones GPS de la Subred Geodésica Minera	51

CAPITULO IV ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 El cambio y sus consecuencias	54
4.2 El Geoide	56
• 4.2.1 Definición	56
• 4.2.2 Sistemas de Alturas	58
• 4.2.3 Altimetría Satelital	59
• 4.2.4 Alturas determinadas con GPS	61
4.3 El reajuste	63

CAPITULO V CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones	65
------------------	----

APÉNDICE

Apéndice 1 El WGS 84	67
Apéndice 2 Aplicaciones	68

REFERENCIAS

Índice

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Red de Triangulación de primer orden	11
Figura 2 Distribución de las estaciones Doppler en México	12
Figura 3 Zona de redefinición	22
Figura 4 Modelo de Bursa	33
Figura 5 Estaciones fijas de la Red Geodésica Nacional Activa	48
Figura 6 Estaciones GPS de la Subred Geodésica Minera y estaciones de la RGNA	53
Figura 7 Superficies de Referencia	56
Figura 8 Sistemas de Alturas	59
Figura 9 Determinación del Geoide por Altimetría Satelital	60
Figura 10 Determinación de alturas con GPS	62
Figura 11 Medición de deformaciones con GPS en Guerrero	68
Figura 12 Información adicional obtenida del sismo de 1995 en Guerrero	69
Figura 13 Cambios en los glaciares del Popocatepetl desde 1958 hasta 1999	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Parametros del NAD27	9
Tabla 2 Orden de precisión para levantamientos geodésicos horizontales	10
Tabla 3 Características de los Sistemas Locales y Globales	15
Tabla 4 Diferencias GEMB y de soluciones Astrogeodésicas	23
Tabla 5 Etapas de una redefinición	27
Tabla 6 Parametros de transformación de Datums	35
Tabla 7 Coordenadas de la Red Terrestre en el NAD27	36
Tabla 8 Coordenadas Cartesianas Tridimensionales de la Red Terrestre	36
Tabla 9 Coordenadas ajustadas de las Estaciones Satelitales	37
Tabla 10 Parametros del elipsoide GRS80 asociado al ITRF92	47
Tabla 11 Coordenadas Geocéntricas de las estaciones fijas de la RGNA en el GRS80	49
Tabla 12 Cubrimiento por estados de la Red Geodésica Nacional	50
Tabla 13 Parametros del WGS84	67

LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1 Criterio para la combinación de la Red Satelital y Terrestre	28
--	----

Resumen

RESUMEN

La necesidad y la creciente demanda de posicionar puntos y realizar levantamientos de todo tipo ha provocado que la información geodésica sea indispensable en todas las actividades que tienen como objetivo informar, ya sea sobre recursos naturales, planeación y ordenamiento territorial, movimiento de corteza terrestre, telecomunicaciones, crear cartografía etc. En México esta situación es muy importante porque el conocimiento de nuestros recursos y explotación de los mismos se ha vuelto una actividad imprescindible.

La realidad ha demostrado que el uso de información que no corresponde a nuestro territorio reduce la confiabilidad de los trabajos geodésicos. En México, el uso de estas mismas permitieron aún así realizar levantamientos geodésicos y generar productos cartográficos. Pero debido a que se utilizó un Datum que no era idóneo para nuestro territorio, este se convirtió en un problema, porque introdujo distorsiones y errores en las mediciones realizadas. La solución que se dio fue el introducir un Marco de Referencia Geodésico (ITRF92 época 88) que fue definido bajo los más altos estándares de calidad, y es quizá una alternativa bastante atractiva para apoyar el control horizontal de nuestro país.

Se espera que con este cambio haya grandes beneficios en futuras actividades e ideas que se tenían con el uso del NAD27. Para esto es necesario que los usuarios de la información geodésica identifiquen las ventajas que el cambio de sistema de referencia puede traer, tanto en la generación de productos cartográficos, así como también en las decisiones que se consideraban correctas bajo el sistema anterior. Por esta situación la alternativa que se menciona parece bastante aceptable para referenciar los trabajos hechos con equipo GPS en el territorio nacional.

Introducción

INTRODUCCION

Las exigencias que el hombre impone con el uso de información actualizada, parámetros, y especificaciones que rigen los trabajos de Ingeniería Topográfica y Geodésica, implica que las condiciones y conocimientos sean totalmente aprovechados para así ofrecer una visión integrada de la complejidad que involucra la redefinición de la Red Geodésica Horizontal, en función de un análisis de ella y de sus posibilidades para el aprovechamiento en general.

El objetivo de este trabajo de tesis es el de informar y exponer los aspectos más relevantes utilizados en la redefinición de la Red Geodésica Horizontal, trabajo que no se ha realizado. Sin embargo es bien sabido que tiene una gran importancia dentro de los trabajos orientados al control horizontal de los mismos y que ahora con el empleo de equipos electrónicos de estación total, GPS, Fotogrametría Digital, Percepción Remota y Sistemas de Información Geográficos utilizados en centros de investigación, dependencias gubernamentales y privadas requieren de una mayor precisión en este tipo de trabajos. La tesis se ha dividido en cinco capítulos con la finalidad de desglosar toda la información y mejorar su comprensión.

El primer capítulo tiene como objetivo mencionar los antecedentes de la Red Geodésica Nacional trabajando en el NAD27, y la situación actual en la que se encuentra resultado de realizar trabajos en donde se propagaron las coordenadas de este, utilizando los métodos clásicos de triangulación, trilateración y poligonación, característicos de la Geodesia clásica. Debido a esto se mencionan las características del Datum NAD27 y la forma en que fue definido, utilizando los métodos clásicos de la Geodesia lo que hacen que sea un Datum bidimensional. El uso constante de este Datum dejó a la Red Geodésica Nacional con ciertas deficiencias y distorsiones al momento de analizar la situación actual de la Red bajo levantamientos actuales. En donde las normas de ingeniería permitieron analizar la debilidad interna, y las distorsiones de la misma. El uso de un nuevo sistema geodésico que satisfaga la necesidad de nuestro país es la solución más viable, en donde la tecnología y la ciencia actual puedan apoyarse confiablemente. Por ello se hace mención de las características más importantes de estos y su aplicación.

Introducción

El capítulo dos expone la problemática que se tiene al utilizar un Datum que no responde a la realidad de nuestro país, y en donde se manifiesta en la debilidad de la densificación del control geodésico horizontal. Y ahora con el uso de tecnología se manifiestan las distorsiones y discrepancias acarreadas desde tiempo atrás, por ello es necesario el uso de un marco de referencia que permita la mejora constante de toda la información que se produce en el país. La redefinición de la Red Geodésica Horizontal es una solución que se menciona en este capítulo. Atendiendo para esto la teoría básica utilizada para realizar una redefinición, en donde el uso de algoritmos, ajustes y de modelos de transformación son utilizados. También se mencionan las etapas en donde se aplica la teoría, utilizando para esto la información de campo como son direcciones, azimutes, distancias, e información satelital. De igual forma se hace una aplicación de todos los conceptos anteriores en una prueba para la región de la zona Noreste del país en donde los resultados obtenidos y la teoría se analizan de forma general.

El uso de la información geodésica en México ha tenido gran relevancia porque los usuarios de la información geográfica necesitan crear mapas y dar soluciones a problemas muy diversos. Las dependencias gubernamentales, privadas y de investigación necesitan información confiable para eliminar y corregir distorsiones en esta. El capítulo tres tiene como objetivo informar de este cambio y las ventajas que se tienen al realizar una transformación de este tipo. De igual forma se menciona la descripción, localización y cobertura de las estaciones fijas de la Red Geodésica Nacional Activa que por su naturaleza materializan el nuevo marco de referencia geodésico ITRF92 en cada uno de los vértices de esta. La distribución de las estaciones tiene como objetivo mejorar la densificación de todos los trabajos que requieran hacer uso de posicionamiento con equipo GPS. Y además se menciona una alternativa importante para utilizar estaciones GPS, materializadas en la Subred Geodésica Minera y sus puntos de control que son una alternativa para densificar el control horizontal.

El capítulo cuatro expone las consecuencias del cambio al utilizar el nuevo marco de referencia geodésico ITRF92, que sin duda modificará todos los documentos cartográficos y decisiones hechas con el uso del NAD27. Esta situación es ventajosa por el hecho de que se puede configurar un modelo geoidal de México para ser utilizado en estudios de

Introducción

exploración y control de los recursos naturales. Sin embargo por investigaciones hechas esto no ha sido posible porque tal modelo no se ha realizado por parte de las autoridades correspondientes. En este caso se mencionan algunos métodos que se utilizan para determinar dicha superficie equipotencial, utilizando desde los métodos de gravimetría, y de los métodos satelitales de GPS y Altimetría Satelital. Además de analizar los resultados obtenidos de la prueba de redefinición.

Para complementar este trabajo se expone un conjunto de recomendaciones que sin duda es importante considerar, por toda la información que se utilizo para la realización de este trabajo de tesis. Se han anexado además dos apéndices, uno de ellos explica las características del Sistema Geodésico Mundial (WGS84) y el segundo algunas aplicaciones del GPS en México. En este segundo apéndice se exponen las aplicaciones hechas por el Instituto de Geofísica de la UNAM en materia de Sismología y deformaciones de volcanes como el Popocatepetl y el de Fuego en Colima. Las aplicaciones tienen como objetivo mostrar el uso del GPS en nuestro país en beneficio de la ciencia, y porque además el uso de este significa utilizar la RGNA.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO I

RED GEODESICA HORIZONTAL

La patria del ser humano son sus ilusiones, la vida es un proyecto. Cuando sabemos que deseamos y agregamos la suficiente fe para tener la seguridad de lograrlo se ha iniciado el camino y como por arte de magia las adversidades se convierten en retos a superar, ya no representan pesadas cargas que hay que soportar, sino desafíos a vencer. Hasta este punto la mitad de la ruta se ha recorrido y es cuando debe de entrar la voluntad, que debe de ser más fuerte que la adversidad.

Es entonces que hemos de administrarnos correctamente para realizar sueños y deseos en cosas palpables.

MIGUEL ANGEL CORNEJO

1.1 ANTECEDENTES

A lo largo de la historia de México, se han llevado a cabo trabajos orientados a la determinación de la forma y dimensiones del territorio nacional, cuya expresión se materializa en la construcción de documentos cartográficos. Este objetivo, de carácter general, coincide con el propósito básico de la geodesia en el contexto de la extensión territorial mexicana, en el que dichos trabajos han dado origen a la construcción de cadenas geodésicas materializadas como puntos sobre el terreno, con mayores o menores densidades de cobertura y conformando con ello la Red Geodésica Nacional, la que de acuerdo con las normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos publicadas en el Diario Oficial de la Federación del 11 de abril de 1985, se define como el "conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecido físicamente mediante monumentos permanentes, y sobre los cuales se han hecho medidas directas que permiten su interconexión y la determinación de su posición y altura, así como el campo gravimétrico asociado, en relación con un Sistema de referencia dado".[8]

En el año de 1913 México suscribió con los gobiernos del Canadá y los Estados Unidos de América un convenio para uniformar los sistemas geodésicos de los tres países y con ello integrar los levantamientos, en el principio de una red geodésica continental. En lo particular y de acuerdo con el convenio, México adopta entonces el Elipsoide de Clarke de 1866, así como el Datum Geodésico Horizontal que posteriormente se llamo Datum Norteamericano de 1927 (NAD27). (Ver la sección 1.2)

En 1915 la Comisión Geodésica Mexicana estableció la liga con la triangulación estadounidense dentro de los estándares de calidad especificados, aunque al año siguiente se disolvió para crear la Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos, posteriormente la Dirección de Geografía y Meteorología, se integro con el encargo de realizar actividades de la producción cartográfica y geodésica, así como la densificación de la Red Geodésica Nacional con triangulaciones de primer orden de precisión, lo que se logro en mayor medida para la parte norte del país, habiéndose materializado también la liga de la triangulación del meridiano 98° con la Red Geodésica Centroamericana en Guatemala.

Capítulo 1 Antecedentes

En el establecimiento de la Red Geodésica participaron diferentes instituciones tanto civiles como militares y en ella laboraron connotados científicos e ingenieros mexicanos. Entre estos se puede situar a Don Francisco Diaz Covarrubias quien trabajo para la Secretaría de Fomento y realizó la triangulación del Valle de México, Don Angel Anguiano que estuvo al frente de la Comisión Geodésica Mexicana y trabajo en la triangulación para la medición del arco 98° W.G.¹ además de extender los trabajos para llevar a cabo una triangulación sobre el paralelo $19^{\circ} 30'$ de latitud norte del paralelo del Valle de México y del Estado de Hidalgo. Otro de los grandes hombres lo fue también Don Manuel Medina Peralta que participó en la Comisión Geodésica Mexicana y en la Dirección de Geografía y Meteorología, que trabajó con trilateraciones geodésicas que cubrieron una superficie de $373\ 781\text{ km}^2$ de 1901 a 1953.

De gran importancia fueron también las triangulaciones efectuadas por la Comisión Cartográfica Militar en colaboración con el Servicio Geodésico Interamericano, entre las que se encuentran las triangulaciones geodésicas de liga cercanas a los meridianos 101° , 98° , y 99° W.G del paralelo 16° cubriendo un total de $68\ 895\text{ km}^2$ de 1938 a 1959. Posteriormente el Departamento Cartográfico Militar realizó trabajos geodésicos en el norte del país, con la colaboración de nueva cuenta del Servicio Geodésico Interamericano donde abarcaron una superficie de $968\ 000\text{ km}^2$, formando arcos de triangulación con un total de 416 vértices geodésicos, 12 estaciones Laplace, y 11 bases entre los años 1956 a 1959.

En este sentido no se tiene dato preciso de los vértices de triangulación de primer orden situados en nuestro país, ya que sólo se tiene el registro de 2135 vértices, de los cuales 620 son de la Dirección de Geografía y Meteorología y de los organismos que le dieron origen. Mientras que 1515 vértices se consideran establecidos por instituciones militares aunque estas últimas utilizaron vértices definidos por las anteriores.

Con la terminación de la Segunda Guerra Mundial y ante la carencia de sistemas cartográficos uniformes en el ámbito latinoamericano, los Estados Unidos suscribieron acuerdos bilaterales de coordinación y apoyo con 17 países de la región para la elaboración de cartografía integrada, dentro del llamado Programa MAPPLAN, el cual sé

¹) Las siglas W.G. Indican el Oeste del Meridiano de Greenwich

Capítulo 1 Antecedentes

instrumentó a través de la creación del Servicio Geodésico Interamericano. Este organismo tuvo su contraparte en México con la Comisión Geográfica Militar, y para 1957 los trabajos geodésicos se habían concretado en la medición de varias cadenas de triangulación que aumentaron la densidad de la Red Geodésica Nacional con unos 600 vértices y 12 determinaciones de azimut Laplace. Esta densificación hizo posible que la Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Topográfica de la República Mexicana, fundada en 1955, llevara a buen término la elaboración de la Carta General de México a la escala de 1:500,000, todavía utilizable.

La necesidad de información impuesta por el creciente desarrollo del país, asociado a la planeación del mismo, determinaron que se requería contar con cartografía topográfica y de recursos naturales, con información de mayor cobertura, precisión y detalle. El Gobierno Federal creó en 1968, la Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación (CETENAP), dependencia precursora de la Dirección General de Geografía del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), con el encargo inicial de elaborar la cartografía topográfica y de recursos naturales a la escala de 1:50,000.

Asociada a este objetivo se vio la necesidad de densificar la Red Geodésica Nacional con apoyo terrestre de primer orden de precisión, así como secundario, a fin de proporcionar el suficiente control dentro de los estándares de calidad y precisión requeridos por los procesos fotogramétricos, para la elaboración de la cartografía topográfica básica en la escala mencionada. El advenimiento de los sistemas de medición de distancias basándose en equipos electrónicos hizo posible abandonar los sistemas de triangulación tradicionales, aumentar la precisión y acortar substancialmente los tiempos de ejecución de los levantamientos necesarios, mediante el sistema de poligonación geodésica, empleado intensivamente durante bastante tiempo en el INEGI.

A partir de 1975 se principia a emplear los métodos de posicionamiento Doppler, con lo que se incursiona en el dominio de la geodesia satelital, sin dejar de trabajar concurrentemente en el desarrollo de los trabajos de poligonación. Y es en 1990 que el INEGI inicia levantamientos con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), sistema que por su bajo costo, mejor precisión, facilidad de manejo y capacidad de respuesta y que esta haciendo caer en obsolescencia a los sistemas clásicos de posicionamiento.

Capítulo 1 Antecedentes

La Red Geodésica Nacional basada en el NAD27 esta compuesta por 779 vértices de triangulación de primer orden, 104 vértices de poligonal geodésica del mismo orden de precisión, 5,111 vértices de poligonal de segundo orden y 223 estaciones Doppler. No se mencionan en esto las redes de nivelación, ni la red gravimétrica, por no considerarlo necesario al momento de este trabajo de tesis, aunque en su momento deberán integrarse al nuevo sistema.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1.2 DATUM NORTEAMERICANO DE 1927

1.2.1 Datum horizontal

Un Datum Horizontal es un punto origen, que esta definido por coordenadas (φ, λ) sobre la superficie del elipsoide, y 4 parametros más, los cuales son: $h_0, \xi_0, \eta_0, \alpha_0$. Este punto sirve de partida para construir las redes geodésicas basadas en triangulaciones.

En donde $(\varphi_0, \lambda_0, h_0)$ son las coordenadas geodésicas del punto inicial P_0 , y h_0 es la suma de la altura ortométrica H y la altura geoidal N que estan referidas al punto Datum que será posicionado. El primero de los dos parámetros es decir φ_0 especifica una normal en particular al elipsoide de referencia. En donde el sistema se fija relativamente para el campo de gravedad de la Tierra, y una vez que son obtenidas ξ_0 y η_0 (Componentes de la desviación de la vertical en el punto) se puede definir la normal al elipsoide especificando φ_0, λ_0 y fijarlo con respecto a la Tierra, además de un azimut α_0 hacia algún punto conocido. El determinar un azimut en P_0 elimina el grado de libertad que posee el elipsoide de referencia para evitar que este pueda rotar.

Además se consideran 6 parámetros geocéntricos, en donde 3 son de traslación X_E, Y_E, Z_E y 3 de rotación $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$. En el pasado estos 6 parámetros se utilizaban para seleccionar el elipsoide de referencia que mejor se ajustará al geode en la región de interés; para esto era necesario preseleccionar el tamaño y forma que mejor representará a la Tierra. [4]

1.2.2 El NAD27

En gran parte del siglo XIX los Estados Unidos se dedicaron en desarrollar sus esquemas de control geodésico con la medición de varias cadenas de triangulación generalmente desconectadas unas de otras, de este modo, cada una de ellas se apoyaba en un Datum local. La necesidad era la de integrar las diversas cadenas que pudieran apoyarse en un solo Datum de carácter nacional, para su internacionalización en el ámbito continental. Esto llevo al Dr. William Bowie, Jefe de la División de Geodesia del USCGS (United States Coast and Geodetic Survey) a promover la materialización de este Datum, empleando para ello todos los recursos técnicos disponibles en la época.

Capítulo 1 Datum Norteamericano de 1927

De este modo, el NAD27 tiene su antecedente inmediato en el Datum de Nueva Inglaterra (New England Datum), desarrollado entre 1880 y 1901 con base en uno de los tantos levantamientos efectuados, y dando lugar al denominado United States Standard Datum. Para esto se eligió como punto Datum el vértice Meades Ranch ubicado en el estado de Kansas, y su posición geodésica desde la estación Waldo en el estado de Maryland, perteneciente a la cadena de Nueva Inglaterra. Con el tiempo, se agregaron nuevos levantamientos geodésicos, que terminados de ajustar en 1927, constituyeron un sistema de referencia geodésico único, al que se denominó Datum Norteamericano de 1927, en el Elipsoide de Clarke de 1866.

La Tabla 1 muestra los parámetros adoptados para el punto Datum (Meades Ranch) del NAD27:

Semieje Mayor	6 378 206.4 m
Semieje Menor	6 356 583.8 m
Latitud del Origen	39° 13' 26.686" N
Longitud del Origen	98° 32' 30.506" W
Desviación de la Vertical	
En el Meridiano	-1.02"
En el Primer Vertical	-1.79"
Altura Geoidal en el Origen	0.00m
Azimut Origen de la Estación Waldo	75° 28' 09.64"

Tabla 1 Parametros del NAD27

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



1.3 ESTADO ACTUAL DE LA RED GEODÉSICA HORIZONTAL

La Red Geodésica Horizontal esta formada por un conjunto de puntos y mediciones efectuadas mediante los procedimientos geodésicos que permiten establecer y extender el control horizontal.

Los métodos clásicos de levantamiento más utilizados que sirvieron para implementar la Red Geodésica de nuestro país fue la Triangulación, la Poligonación y de Trilateración. A manera de ilustrar esto la figura 1 indica la distribución de la Red de Triangulación de primer orden en México.

Es necesario mencionar que los levantamientos geodésicos horizontales se clasifican, de acuerdo con los procedimientos de observación, el instrumental y los resultados obtenidos del levantamiento. Y se considera de primer orden a la red primaria fundamental del país, a partir de la cual se subdivide en la Red con levantamientos más pequeños de segundo orden. Posteriormente se emplea el control horizontal de tercer orden para densificar él apoyo en las áreas que abarcan las cadenas de primer y segundo orden. La tabla 2 presenta los ordenes de precisión más utilizados en levantamientos geodésicos horizontales:

ORDEN	ORDEN 1	ORDEN 2		ORDEN 3	
CLASE	UNICA	1	2	1	2
PRECISION	1:100 000	1:50 000	1:20 000	1:10 000	1:5 000

Tabla 2 Orden de precisión para levantamientos geodésicos horizontales

Dentro de la Red Geodésica Horizontal existen otras estaciones de gran importancia como son las estaciones Doppler (Ver la sección 1.3.1) y las estaciones astronómicas.

Las estaciones astronómicas se establecen al efectuar observaciones a los astros con el objetivo de obtener coordenadas astronómicas y azimutes de puntos localizados en la superficie de la Tierra.

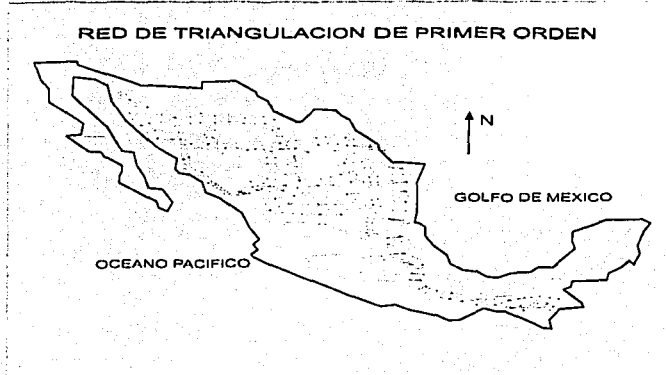


Fig.1 Red de Triangulación de primer orden

1.3.1 Estaciones Doppler

El sistema Doppler WGS72 es un Sistema Geocéntrico próximo y coincidente con el Sistema Terrestre Convencional (Ver la sección 1.3.3.1). Este es utilizado con un conjunto de coordenadas cartesianas del sistema Transit² de las estaciones base, las cuales son utilizadas para recuperar el origen, posición y orientación del Datum WGS72. Para este caso es necesario contar con un conjunto de coeficientes para definir el campo de gravedad de la Tierra y el elipsoide de referencia. Para el establecimiento de dichas estaciones se utilizan como emisores los satélites del sistema Transit y los receptores Doppler, para posicionar una sola estación con coordenadas geocéntricas, en donde se requiere cerca de 40 pasos de satélite para lograrlo. (Este sistema en la actualidad ha dejado de tener uso)

De las observaciones de satélite se obtiene la información que permite determinar su trayectoria en el espacio, referidas a un Sistema Terrestre definido por las estaciones rastreadoras. En este proceso encontramos que se presentan dos tipos de soluciones: parcial o general. La solución parcial permite determinar la trayectoria del satélite en el espacio utilizando para esto la información de las estaciones rastreadoras que se encuentran definidas en un sistema terrestre. En cambio una solución general resuelve

Capítulo 1 Estado Actual de la Red Geodésica Horizontal

no solamente las posiciones del satélite y de las estaciones rastreadoras sino otros muchos parámetros que son necesarios para modelar el movimiento del satélite bajo la influencia cercana del campo de gravitación de la Tierra y para definir un sistema geocéntrico de referencia.

Desde 1957 fueron establecidas varias redes mundiales, como SAO³, TRANET⁴, NASA⁵, NOS⁶, SECOR⁷ e IERS⁸ de las que se obtuvieron soluciones geométricas y dinámicas como el GEM⁹ 10, 11, 12, los NWL¹⁰ 8, 9, 10 y los WGS¹¹ 60, 66, 72, y 84. A continuación la figura 2 muestra la distribución de estas estaciones Doppler en la República Mexicana.

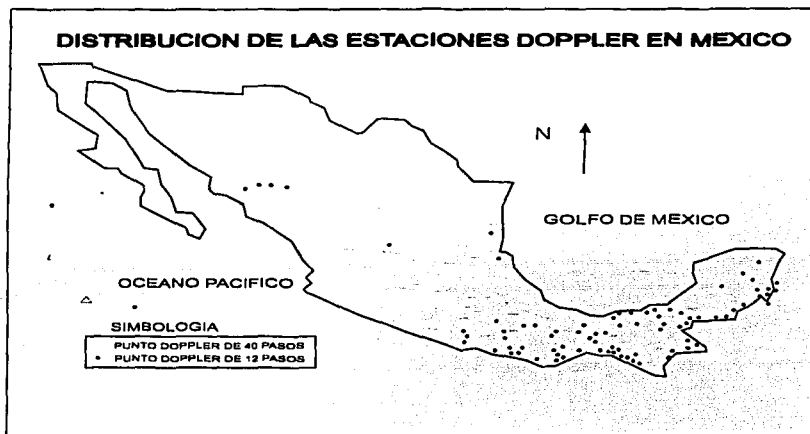


Fig.2 Distribución de las estaciones Doppler en México

- 2) TRANSIT: Es un sistema formado por 5 satélites utilizado en la Técnica Doppler para realizar posicionamiento en Tierra
 3) SAO: Es una Red Mundial operada por el Observatorio Astrofísico Smithsoniano
 4) TRANET: Es la Red de sistemas de navegación de satélites de la Marina de los Estados Unidos
 5) NASA: Es una Red Operada por el Centro de Vuelos Espaciales Gooddard de los E.U

Capítulo 1 Estado Actual de la Red Geodésica Horizontal

1.3.2 Estaciones GPS.

La constelación de satélites NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Time And Ranging, Global Positioning System) esta formada por 24 satélites, y distribuidos en 6 orbitas a una distancia de 20 200 km de altitud de la superficie de la Tierra y apoyada en un sistema de radio-navegación que permite obtener la posición geodésica tridimensional, y de navegación, así como también información del tiempo para los usuarios. Esta fue desarrollada por los Estados Unidos en el año de 1973 para ser utilizada por el Departamento de Defensa de este mismo país con fines militares.

Desde 1983 ha sido utilizada para resolver problemas geodésicos, sin embargo para fines civiles todavía es de uso restringido.

En Enero de 1993 el INEGI llevó a cabo el posicionamiento de estaciones GPS distribuidas a lo largo del país, en donde quedaron comprendidas las estaciones fijas de la Red Geodésica Nacional Activa y 7 puntos de coordenadas ya conocidas en el nuevo Marco de Referencia ITRF92 (Ver sección 1.3.3.2), ubicadas en lugares cercanos a las siguientes localidades: [8]

Aguascalientes, Ags.
Cadereyta, N.L.
Jiménez, Chih.
Jocotitlán, Méx.
Mérida, Yuc.
Río Verde, S.L.P.
San Miguel Xico, Méx.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6) NOS: Es un proyecto de Triangulación Mundial por satélites de Levantamientos Oceanico Nacional (NOAA) [9]

7) SECOR: Es una Red Ecuatorial a cargo de la Agencia Cartográfica de la Defensa de los Estados Unidos

8) IERS: Es el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra

9) GEM: Es un Modelo de Gravedad Terrestre elaborado por el Centro de Vuelos Goddard de los Estados Unidos

10) NWL: Es una solución general basada en parámetros obtenidos de modelos de gravedad del movimiento de satelites

11) WGS: Es un Sistema Mundial de Referencia, obtenido a partir de una solución general

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.3.3 Nuevos Sistemas de Referencia

Un Sistema de Referencia es un conjunto de constantes geométricas y físicas que definen un marco de referencia sobre el cual se va a determinar la forma y tamaño de la Tierra o parte de ella, incluyendo su campo gravitacional de una forma global(absoluta) o local (continental). Entonces existen dos tipos de Sistemas de Referencia Geodésicos los cuales son llamados Globales y Locales, y tienen las siguientes características:

Un Sistema de Referencia Global (también llamado Geocéntrico), queda definido por:

- Un elipsoide de referencia
- Una terna de ejes cartesianos ortogonales llamados "Terna de Referencia" con origen en el centro de masas de la Tierra.

Un Sistema de Referencia Local queda definido por:

- Un elipsoide de referencia.
- Un Punto Datum.

Ambos se materializan con un Marco de Referencia, determinado por puntos ubicados en el terreno con gran precisión. Es importante mencionar que la diferencia entre un Sistema de Referencia y un Marco de Referencia, es la idea conceptual, porque el sistema incluye la teoría fundamental, mientras que el marco de referencia es la realización práctica, utilizando para ello las observaciones y un conjunto de coordenadas de estación. La observación a un satélite representa entonces la suficiente información para determinar la trayectoria de este en el espacio, referido a un marco de referencia definido por las estaciones rastreadoras. A continuación se presenta la tabla 3 que muestra las características de estos dos sistemas.

Un sistema de referencia es importante porque permite describir el movimiento del satélite, modelar las observaciones realizadas, e interpretar los resultados. El incremento en la precisión de las observaciones por satélite ha requerido que los sistemas de referencia también incrementen su precisión al momento de definirlos. [3]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS
LOCALES Y GLOBALES**

CARACTERÍSTICAS	SISTEMAS LOCALES	SISTEMAS GLOBALES
Ambito de aplicación	Reducido, no universal	Global
Materialización	Redes de triangulación de diversos órdenes de precisión, cuyos vértices se denominan vértices geodésicos	Redes de puntos de gran precisión
Método de materialización	Es muy costoso e involucra determinaciones astronómicas	Sencillo: Por que no requiere determinaciones astronómicas
Alcance	Planimétrico	Planimétrico y Altimétrico
Ajuste de Redes	Complejo	Sencillo
Precisión	En el orden de 3 a 10 ppm	1 ppm

Tabla 3 Características de los Sistemas Locales y Globales

1.3.3.1 Sistema Terrestre Convencional

El Sistema Terrestre Convencional (CTS) es un sistema mundial teórico, el cual tiene su origen en el centro de gravedad de la Tierra; su polo primario es el eje Z que corresponde al Polo Terrestre Convencional (CTP), su eje X es el plano ecuatorial y su eje Y es el plano secundario (Meridiano de Greenwich), en un sistema de mano derecha. Este sistema tiene como característica el estar afectado por los movimientos de la Tierra (Nutación y Precesión).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 1 Estado Actual de la Red Geodésica Horizontal

1.3.3.2 El ITRF

El ITRF es un sistema dinámico resultado de la combinación de varias soluciones globales tridimensionales y establecido por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) en dos partes. La primera los estándares del IERS que es un conjunto de constantes, parámetros y modelos de corrección establecidos por el grupo de trabajo de Control de la Rotación de la Tierra e Intercomparación de las Técnicas de Observación y Análisis (MERIT). Mientras que el segundo corresponde a la realización práctica que es el Marco de Referencia del IERS dividido en dos: Marco de Referencia Terrestre conocido como ITRF, y el Marco de Referencia Celeste (ICRF) realizado a través de las coordenadas de fuentes de radio compactas y esta basado en observaciones VLBI (Very Long Baseline Interferometry).

El IERS del Central Bureau ha sido el organismo encargado de realizar la solución del International Terrestrial Reference Frame designado como ITRF, el cual es asociado al campo de velocidad de la Tierra. Las características del Terrestrial Reference Frame son:

- Es un sistema geocéntrico.
- Definido dinámicamente, porque varía con el tiempo en pequeños desplazamientos del centro de masa terrestre por efectos geodinámicos.

Por esto el Marco Internacional de Referencia Terrestre esta propuesto para trabajos geodésicos; y lo particular de este marco de referencia es que fue determinado en forma extraterrestre y toma en cuenta para sus propósitos la nutación y la precesión, que son movimientos polares. Este sistema tiene asociado el elipsoide GRS80 (Ver parametros en el capítulo 3, sección 3.2.1 Oficialización) que es producto de una solución global. Adicionalmente se toman en cuenta los movimientos relativos que tienen los puntos de control debido a la deriva continental.

Por esta situación el ITRF se actualiza año con año por lo que las siglas se complementan con los últimos dos dígitos del año actualizado, los parámetros de actualización se publican semanal y mensualmente en un reporte. Por lo tanto es una solución

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 1 Estado Actual de la Red Geodésica Horizontal

global y un sistema geocéntrico (CTS), aunque el centro del elipsoide asociado varíe con respecto al centro de masa de la Tierra en aproximadamente 10cm debido a los efectos geodinámicos siendo esta la razón por la que varíe cada año.

El IERS desarrolló el sistema de referencia denominado ITRF92 como resultado de la combinación de varias soluciones globales tridimensionales y fue propuesto como patrón al cual referir todos los trabajos geodésicos. Así pues los parámetros utilizados para este sistema de referencia son: [9]

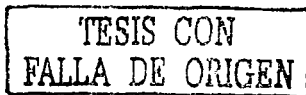
- Semieje mayor = 6 378 137m
- Velocidad angular = $7\ 292\ 115 \times 10^{-11}$ rad/seg
- Constante Gravitacional = $3\ 986\ 005 \times 10^8$ m³/seg²
- Factor dinámico no normalizado de la forma $J_2 = 108\ 263 \times 10^{-8}$
- Achatamiento del elipsoide $1/f = 298.257222101$

Las coordenadas de las estaciones del ITRF92 se han posicionado utilizando la combinación de un conjunto de 20 estaciones que se encuentran a cargo de la Central Bureau y en total se tienen localizadas 287 estaciones en diferentes sitios que han sido independientemente ajustados. Los errores originales proporcionados por los centros de análisis de sus soluciones individuales han sido modificados para obtener una solución más real. En un ajuste realizado en 1988 se adoptaron posiciones para la entrada y salida de datos como solución, los cuales han sido ajustados a la época 1988, utilizando modelos de movimiento.

Para este trabajo se utilizó el NNR-NUVEL 1 como modelo de movimiento recomendado por el IERS. El origen y escala del ITRF92 se realizó definiendo y fijando a cero las tres traslaciones y el factor de escala. Y su campo de velocidad ha sido obtenido por combinación de 8 campos de velocidad en diferentes sitios estimados por SLR¹² y el análisis con VLBI¹³.

12) SLR (Satellite Laser Ranging) Es una técnica de pulso y eco, la cual utiliza láser para determinar distancias desde estaciones en Tierra a satélites que portan reflectores.

13) VLBI (Very Long Base Interferometry) Es una técnica geométrica que mide las diferencias de distancia entre al menos dos radiotelescopios, basados en la Tierra, usando la llegada de ondas frontales por un cuasar distante. [10]



CAPITULO II
REDEFINICION

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Algunos hombres ven las cosas como son y se preguntan ¿Por qué?,
yo veo cosas que aún no han existido y me pregunto ¿por qué no?

JOHN F. KENNEDY



17A

2.1 CONFRONTACIÓN DE LA RED GEODESICA

Debido a que los parámetros que definen el NAD27, fueron definidos geoméricamente, se puede considerar que se trata de un Datum bidimensional. Estas condiciones hacen que la definición de este sea local y sobre la superficie del elipsoide de referencia.

Un ajuste realizado entre 1927 y 1932 advirtió por primera vez que las estaciones alejadas del punto origen Meades Ranch, podían tener errores acumulados significativos, lo que indudablemente afectaba a México y a los demás países adheridos al NAD27. Esto se hizo evidente con el uso más frecuente de este y específicamente en el caso de México, cuando al realizar mediciones con equipo electrónico, posicionamiento Doppler y GPS se observó la ocurrencia de errores y discrepancias, con lo que comenzó a tomar fuerza no solamente en México, sino también en Canadá y en los Estados Unidos de que algo no estaba funcionando del todo bien con el NAD27.

En este caso el más perjudicado resultó ser nuestro país porque al definir el NAD27 no se tomó en cuenta gran parte de la información que se proporcionó del territorio mexicano. Pero aun así se adoptaron como fijos los valores disponibles a lo largo de la frontera norte para propagar levantamientos geodésicos, dando principio con la Red Geodésica Horizontal en el NAD27 y materializado en los vértices de esta.

Esta situación condujo a una confrontación con la Red Geodésica tomando en cuenta los avances en la tecnología y el punto de vista científico, lográndose resumir en los siguientes apartados:

- Existen grandes distorsiones de la escala y orientación en la Red Geodésica basada en el NAD27.
- Las especificaciones para trabajos de ingeniería utilizando equipo electrónico son significativamente más altas que la precisión interna que se consigue con la Red Geodésica basada en el NAD27.
- El equipo de medición es muy preciso, y las mediciones sufren distorsiones cuando se tratan de ajustar a la Red Geodésica basada en el NAD27.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Capítulo 2 Confrontación de la Red Geodésica

- Se ha detectado la ocurrencia de errores tomando en consideración las observaciones reducidas a la superficie de referencia.
- Debido a que se trabajó con un Datum que no es adecuado para México el modelo geoidal no coincidiría con el territorio actual, porque se ha comprobado en otros estudios que las ondulaciones geoidales toman valores mayores a los 100m.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Problema de la Redefinición

2.2 PROBLEMA DE LA REDEFINICION

Es necesario mencionar que el objetivo de una redefinición esta orientado a mejorar la precisión del sistema adoptado, de modo que este sea compatible con el moderno equipo de medición y con los requerimientos relacionados para disponer con información geodésica de mayor calidad.

En este sentido en México existe un problema que es necesario tomar en cuenta, y este se encuentra en la debilidad que sufre la Red Geodésica basada en el NAD27 causada por la baja densidad de los levantamientos geodésicos lo que trae como consecuencia la falta de un modelo geoidal adecuado para México. En la actualidad con el uso de posicionamientos con GPS, se ha logrado mejorar las precisiones en los trabajos realizados, sin embargo se observa que el ajuste de las posiciones utilizando el NAD27 requiere de un esfuerzo enorme debido a que los resultados obtenidos causan confusión. Un ejemplo a este aspecto son las cartas a escala 1:50 000 que elabora el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), en las que se encontraron deformaciones que reducían la confiabilidad en los trabajos que dependían de estas cartas.

Tomando en cuenta los problemas que acarreo el uso del Datum NAD27 es necesario indicar que el proceso de redefinición de la Red Geodésica Nacional basada en el NAD27 envuelve una serie de decisiones importantes como las siguientes:

- Evaluar el estado de la Red Geodésica basada en el NAD27 .
- Determinar un modelo geoidal adecuado al territorio de México.
- Elegir un sistema de referencia tomando en cuenta el modelo geoidal.
- Seleccionar un modelo matemático que combine la Red Geodésica Terrestre y Satelital.

Esto implica contar con el suficiente personal calificado para realizar las mediciones de campo, así como también de un buen conjunto de computadoras y de software que permita el procesamiento de los datos de campo, pero lo más importante es contar con especialistas en el área que puedan dar las soluciones más adecuadas a la interpretación de los resultados

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Prueba de Redefinición

2.3 PRUEBA DE REDEFINICIÓN

Para esta prueba se trabajo con un problema de redefinición de la Red Geodésica basada en el NAD27 en el Noreste de México. [1]

2.3.1 Descripción y Evaluación de los datos

El área cubierta por la Red es aproximadamente de 200 000 km² y la localización se encuentra entre los paralelos 18° y 26° Norte de Latitud y entre los 97° y 100° W.G en el Noreste de México.

La información disponible para realizar esta prueba de redefinición es la siguiente:

- Área = 200 000 km²
- Triangulación = 115 estaciones referidas al sistema geodésico NAD27
- Doppler = 5 estaciones referidas al sistema geocéntrico WGS72
- Poligonales = 422 estaciones
- Nivelación trigonométrica en cada estación
- Deflexión de la vertical en este caso es desconocida
- La altura geoidal es desconocida
- La altura ortométrica es desconocida, y se utilizo la altura trigonométrica
- La altura elipsoidal es desconocida y se utilizó la altura trigonométrica

La meta es la combinación de la Red Terrestre y Satelital porque involucra un conjunto de consideraciones importantes como lo es la dimensionalidad, y el paralelismo entre los sistemas etc. En la figura 3 se muestra la zona en donde resolvió el problema de la redefinición.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

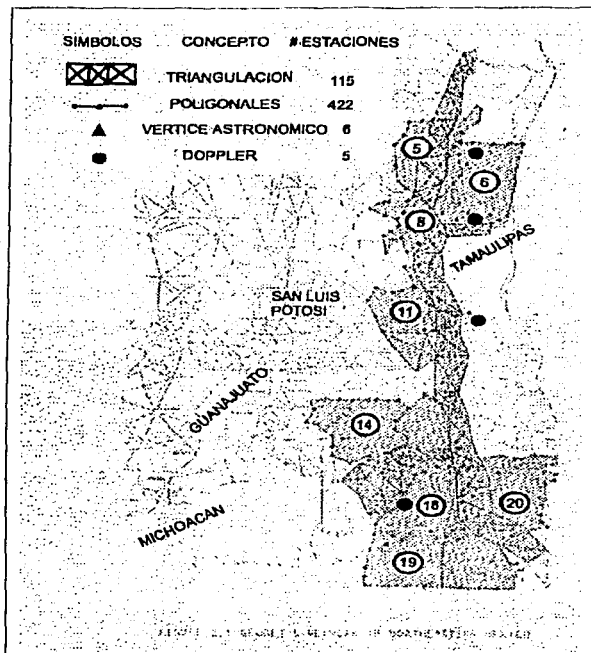


Fig.3 Zona de redefinición [1]

Para la determinación del geoides, se obtuvieron valores de alturas geoidales (N) y de la desviación de la vertical en cada punto de la red, con el Modelo de Gravedad GEM8, y observaciones astrogeodésicas. El resultado de las diferencias entre el GEM8 y las soluciones astrogeodésicas se encuentra en la Tabla 4 que a continuación se muestra.

Capítulo 2 Prueba de redefinición

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTURA GEOIDAL			COMPONENTES DE LA DEFELEXION DE LA VERTICAL					
	ASTRO	GEM8	DIF.	ASTRO		GEM8		DIF.	
				ξ	η	ξ	η	$\Delta\xi$	$\Delta\eta$
140 REYNOSA	9	9	0	6.9	1.0	4.1	-0.4	2.8	1.4
180 CARMEN	14	13	1	6.0	2.8	4.5	-1.3	1.5	4.1
151 TAMUIN	20	18	2	3.8	-0.3	4.7	-2.1	-1.1	1.8
147 TEOTIHUACAN	31	28	3	4.6	0.6	4.1	-3.2	0.5	3.8
149 TOLUCA	28	23	5	2.7	-0.7	3.5	-4.0	-0.8	3.3
083 SOLEDAD	30	25	5	5.21	-6.0	4.2	3.1	1.0	-2.9

Tabla 4. Diferencias GEM8 y de soluciones Astrogeodésicas

Para evaluar las componentes de la deflexión de la vertical en el meridiano y en el primer vertical, se utilizó la fórmula de Vening-Meinesz:[1]

$$\xi = -(1/R) (\partial N / \partial \varphi)$$

$$\eta = -(1/R \cos \varphi) (\partial N / \partial \lambda)$$

La N, ξ , y η es resultado del GEM8 referidas al geocentro, en donde una transformación es necesaria para obtener el Datum no geocéntrico NAD27, y aplicando las fórmulas de Vening-Meinesz:

$$N_{NAD27} = N - (\cos \varphi \cos \lambda X_0 - \cos \varphi \operatorname{sen} \lambda Y_0 - \operatorname{sen} \varphi Z_0 - da + a \operatorname{sen}^2 \varphi df)$$

$$\xi_{NAD27} = \xi + (1/a) (\operatorname{sen} \varphi \cos \lambda X_0 + \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \lambda Y_0 - \cos \varphi Z_0 + 2a \operatorname{sen} \varphi \cos \varphi df)$$

$$\eta_{NAD27} = \eta + (1/a) (\operatorname{sen} \lambda X_0 - \cos \lambda Y_0)$$

$$da = a_{GEM8} - a_{CLARKE 1866}$$

$$df = f_{GEM8} - f_{CLARKE 1866}$$

En donde:

X_0 Y_0 y Z_0 : Son las componentes de traslación, y R y N se calculan de la siguiente manera:

$$N = T/v$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Prueba de redefinición

El potencial perturbador T puede ser utilizado en cualquier punto, la forma y tamaño del elipsoide de referencia dado por (a,f), y las constantes (KM, ω) se utilizaron para determinar la gravedad normal.

El radio medio R de la Tierra es obtenido como:

$$R = (a^2 b)^{1/3}$$

En donde:

- a: Es el semieje mayor del elipsoide de referencia
- b: Es el semieje menor del elipsoide de referencia

2.3.2 Evaluación previa al Ajuste de la Red Terrestre

Para el ajuste es necesario que la Red este pesada uniformemente, con esto encontraremos el factor de varianza σ_0^2 . Inmediatamente después del ajuste parcial sera necesario efectuar una prueba estadística χ^2 para verificar que los pesos de las observaciones están bien escalados.

Y el peso de las observaciones quedará definido por:[1]

$$P = \sigma_0^2 \begin{pmatrix} 1/\sigma_1^2 & & 0 \\ & 1/\sigma_2^2 & \dots \\ 0 & & \dots 1/\sigma_1^2 \end{pmatrix}$$

En donde:

- P: Es la matriz de pesos
- σ_i^2 : Es la varianza de una observación

Para evaluar la Red, la triangulación se dividió en 3 secciones; y cada una se evaluó por separado. Porque se aplicó una prueba estadística de χ^2 con un factor de varianza σ_0^2 al 95% de probabilidad. En la sección 1 se aplicó un factor de escala de 1.5, y para las secciones 2 y 3 los pesos se escalaron con factores de 1.2 y 1.7 respectivamente. Obteniéndose las desviaciones estándar de las medidas observadas para cada sección que son 0.34", 0.63", y 0.28" respectivamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4 ETAPAS DE LA REDEFINICIÓN

La redefinición es un proceso laborioso que involucra un conjunto de etapas, que minimizan los errores accidentales propias de las observaciones de campo, terrestres y satelitarias. Estas etapas son:[1]

- Es necesario utilizar la técnica de ajustes por mínimos cuadrados.
- El establecimiento de un sistema de coordenadas y la selección de una superficie de referencia.
- Combinar la red satelital (WGS72) y terrestre (NAD27) en dos o tres dimensiones.
- Minimizar la diferencia entre el geoide y el nuevo sistema de referencia.
- Evaluar e investigar la información necesaria de las condiciones de la Red Geodésica Nacional.
- Es necesario la definición de un nuevo Datum (punto fundamental) que sea el punto de partida para las mediciones geodésicas.
- El resultado de esta investigación es necesario capturarlo y procesarlo en un software que permita manejar la información.
- Analizar los resultados obtenidos en el procesamiento.

Una de las primeras labores es evaluar y recolectar la información original para la captura en el equipo de cómputo disponible. Los primeros resultados permitirán identificar las zonas en donde la información es escasa con el fin de densificar esta y adiccionarla después. Sin embargo determinar el modelo geoidal de México, implica determinar las ondulaciones del geoide y elegir un elipsoide de referencia.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Capítulo 2. Etapas de la redefinición

Otro tipo de datos que es necesario capturar es la información satelital (WGS72) pues es muy relevante en este proceso de redefinición para establecer el Sistema Geocéntrico Terrestre. Además los datos que proporciona el satélite son de carácter tridimensional y los datos terrestres sólo proporcionan información en dos dimensiones, y los procedimientos para la transformación y combinación de estos consideran modelos matemáticos y algoritmos de programación para tratar los errores sistemáticos en las redes terrestres, paralelismo entre los sistemas, orientación etc. Para esto la tabla 5 muestra las etapas utilizadas en una redefinición, y a su vez el esquema 1 indica la combinación de los datos terrestres con los satelitales.

2.4.1 Aspectos Teóricos

Los parámetros de transformación de Datums relacionan los dos sistemas, el terrestre (NAD27) y el satelital (WGS72), y esta es la información que se requiere para resolver el problema, porque si los parámetros son conocidos, los resultados derivados de la observación por satélite son transformados al sistema terrestre utilizando los parámetros de transformación. Ahora por el contrario si los parámetros son desconocidos, el problema es el determinar la relación entre la red terrestre y la satelital, utilizando el modelo de Bursa.

Actualmente el método para definir un Datum es el especificar la posición y orientación del sistema de coordenadas geodésico relacionándolo con el CTS. En esta situación la orientación del elipsoide de referencia se define por 6 parámetros independientes, en donde el origen debe coincidir con el centro de masas de la Tierra (X_0, Y_0, Z_0) y los ángulos de rotación ($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$) definen la posición de estos ejes con respecto a los ejes del CTS. Para esto es necesario definir que para que los ejes sean paralelos, no debe de sufrir rotación alguna entonces:

$$\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z = 0$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

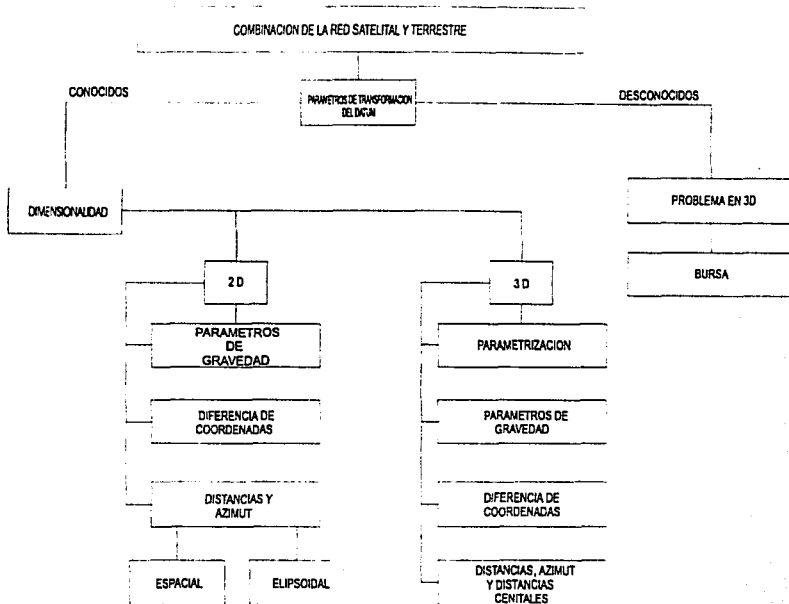
ETAPAS DE UNA REDEFINICIÓN

SECUENCIA	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
0	Selección de un sistema de referencia	Determinar la orientación y posición del elipsoide de referencia	Valores parametrizados de los parámetros de transformación del Datum
1	Determinación del Geoid	Solución basada de la combinación de los satélites y la superficie de gravedad	Componentes de la deflexión de la vertical y la altura geoidal para cualquier punto de la Red Geodésica
2	Evaluación de la Red Terrestre	Caso paramétrico del ajuste por mínimos cuadrados de las Redes Parciales	Todas las secciones de la Red Geodésica con peso uniforme
3	Ajuste simultáneo de la Red Terrestre	Caso paramétrico del Ajuste de Mínimos Cuadrados incluyendo todas las observaciones terrestres originales	Un juego de coordenadas ajustadas para la Red Geodésica Terrestre
4	Transformación de las coordenadas curvilíneas a cartesianas	$h = h(\phi, \lambda) \rightarrow (X, Y, Z)$ $\sum \phi \lambda h \rightarrow \sum p(X, Y, Z)$	Coordenadas Tridimensionales para las estaciones Terrestres coincidentes con puntos del Satélite Doppler
5	Combinación tridimensional de la Red Terrestre con la Red Geodésica Satelital	Determinación de los parámetros de transformación del Datum combinando el caso de Ajuste por Mínimos Cuadrados de las observaciones, las coordenadas cartesianas del Sistema Doppler y la Red Terrestre	Transformación de los parámetros del Datum al ajuste de Red Geodésica y Satélite Doppler y la Terrestre. El ajuste de las coordenadas cartesianas de los puntos que son comunes a ambos sistemas
6	Transformación de las coordenadas cartesianas a curvilíneas	$(X, Y, Z) \rightarrow (\phi, \lambda)$ $\sum p(X, Y, Z) \rightarrow \sum \phi \lambda$ $P = 2 \phi \lambda$	La matriz de pesos P y el ajuste de las coordenadas geodésicas de las estaciones Doppler referidas al Sistema Terrestre
7	Combinación tridimensional de la Red Terrestre con la Red Geodésica Satelital	Caso Paramétrico del Ajuste de Mínimos Cuadrados con parámetros sin peso Cuzco Observables, Coordenadas Geodésicas de los puntos Doppler y los terrestres originales	Conjunto de coordenadas ajustadas para las Redes Geodésicas Doppler

Tabla 5 Etapas de una redefinición

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

COMBINACION DE REDES SATELITALES Y TERRESTRES



Esquema 1 Criterio para la combinación de la Red Satelital y Terrestre

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Etapas de la redefinición

Entonces la relación que existe entre el Sistema Terrestre Convencional (WGS72) y la Red Terrestre (basada en el NAD27) en términos de los parámetros de transformación del Datum es la siguiente:

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}_{\text{CTS}} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + R_1(\epsilon_x) R_2(\epsilon_y) R_3(\epsilon_z) \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} G$$

de donde $R_1(\epsilon_x)$, $R_2(\epsilon_y)$, $R_3(\epsilon_z)$ son las matrices de rotación, las cuales tienen las siguientes expresiones:

$$R_1(\epsilon_x) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\epsilon_x) & \text{sen}(\epsilon_x) \\ 0 & -\text{sen}(\epsilon_x) & \cos(\epsilon_x) \end{pmatrix}$$
$$R_2(\epsilon_y) = \begin{pmatrix} \cos(\epsilon_y) & 0 & -\text{sen}(\epsilon_y) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\epsilon_y) & 0 & \cos(\epsilon_y) \end{pmatrix}$$
$$R_3(\epsilon_z) = \begin{pmatrix} \cos(\epsilon_z) & \text{sen}(\epsilon_z) & 0 \\ -\text{sen}(\epsilon_z) & \cos(\epsilon_z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Es por demás riguroso el mantener cualquier valor de los parámetros de transformación (X_0 , Y_0 , Z_0 , ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z) sin embargo el no-paralelismo de la Red Terrestre existe. El resultado del producto de las tres matrices de rotación es el siguiente:

$$R_e = R_1(\epsilon_x) R_2(\epsilon_y) R_3(\epsilon_z)$$

$$R_e = \begin{pmatrix} 1 & \epsilon_z & -\epsilon_y \\ -\epsilon_x & 1 & \epsilon_x \\ \epsilon_y & -\epsilon_x & 1 \end{pmatrix}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Etapas de la redefinición

En donde los cosenos son reemplazados por 1 y los senos para los ángulos de rotación están en radianes. Si los elementos $\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z = 0$ (condición de paralelismo) la matriz R es la matriz identidad y la ecuación es la siguiente:

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} \text{ CTS} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} G$$

2.4.1.1 Combinación Tridimensional de la Red Terrestre NAD27 y Satelital WGS72

El objetivo de esta sección es determinar la posición relativa de dos sistemas de coordenadas. Uno de los sistemas está definido en el Sistema Satelitario (WGS72) y el otro en un Sistema Terrestre (NAD27). La relación de estos sistemas es expresada utilizando 7 parámetros, de los cuales 3 son las componentes de traslación, tres más son parámetros de rotación y el último de estos es un factor de escala. Básicamente es necesario contar con dos conjuntos de coordenadas, uno terrestre y otro satelitario. Entonces con la diferencia de coordenadas es posible resolver los parámetros y expresar la relación que existe entre el Sistema Terrestre y el Sistema Satelitario.

2.4.1.2 Transformación de coordenadas Curvilíneas a Cartesianas

Los parámetros utilizados para combinar el Sistema Satelitario WGS72 y el Terrestre NAD27 son las coordenadas cartesianas de los puntos comunes. Las coordenadas del satélite, y las matrices de varianza y covarianza son tridimensionales, pero las coordenadas terrestres están dadas en coordenadas curvilíneas (λ, φ) , además de su correspondiente altura elipsoidal h . La transformación de coordenadas curvilíneas a cartesianas es antes de que se realice cualquier ajuste tridimensional. Las coordenadas elipsoidales (λ, φ, h) son transformadas a coordenadas cartesianas con la siguiente expresión:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N+h) \cos \varphi \cos \lambda \\ (N+h) \cos \varphi \sin \lambda \\ ((1-e^2) (N+h)) \sin \varphi \end{pmatrix}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Etapas de la redefinición

En donde h es la altura elipsoidal, N es el radio de curvatura en el plano del primer vertical y esta es:

$$N = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}$$

Y en donde la excentricidad e^2 esta dada por:

$$e^2 = (a^2 - b^2) / a^2$$

En donde:

a : Es el semieje mayor del elipsoide de referencia; y

b : Es el semieje menor

2.4.1.3 Modelo de Bursa

Este modelo toma en cuenta las rotaciones y las diferencias de escala directamente de los sistemas coordenados, y utiliza posiciones instantáneas en el modelo. La explicación del modelo de Bursa se muestra en la figura 4.[1]

El modelo de Bursa se define con la siguiente expresión:

$$F_i = r_{0i} + (1 + \Delta S) * R(\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z) * (r_i)_G - (r_i)_D = 0$$

De donde:

r_{0i} : Es el vector de las componentes de traslación referidos en el Sistema Satelitario

$(r_i)_G$: Es el vector de posición del punto del terreno i en el Sistema Terrestre

$(r_i)_D$: Es el vector de posición del punto sobre el terreno i en el Sistema Satelitario

ΔS : Es la diferencia de escala entre los dos sistemas

$R(\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z)$: Es el producto de tres rotaciones consecutivas de los ejes del sistema geodésico

En donde esta expresión se puede transformar por conveniencia en:

$$F_i = r_{0i} + (\Delta S + \epsilon) (r_i)_G + (r_i)_G - (r_i)_D = 0$$

En forma matricial es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta S & \epsilon_z & -\epsilon_y \\ -\epsilon_z & \Delta S & \epsilon_x \\ \epsilon_y & -\epsilon_x & \Delta S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = 0$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Capítulo 2 Etapas de la redefinición

En esta expresión, los valores desconocidos son $X_0, Y_0, Z_0, \epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \Delta s$, y el modelo matemático es un caso de combinación no lineal. En donde la linealización es:

$$A_i X + B_i V + W_i = 0$$

Las matrices de diseño se obtienen por diferenciación con respecto de las variables desconocidas X , y las observaciones L . La matriz de diseño A_i es de la siguiente forma:

$$A_i = \frac{\partial F_i}{\partial X} \Bigg|_{X^0, L} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & -Z_i & Y_i \\ Z_i & 0 & -X_i \\ -Y_i & X_i & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}, G$$

La segunda matriz de diseño que pertenece a las observaciones es:

$$B_i = \frac{\partial F_i}{\partial L} \Bigg|_{X^0, L} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} G \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} D$$

El punto de expansión $X^0=0$ es $(X^0, Y^0, Z^0, \epsilon_x^0, \epsilon_y^0, \epsilon_z^0, \Delta s^0)=0$ y L_i son las observaciones; las coordenadas de la estación i en el Sistema Terrestre y Satelitario. El procedimiento para resolver esto utiliza la técnica de mínimos cuadrados, de ahí que sea necesario investigar los parámetros de transformación del Datum y un conjunto de coordenadas ajustadas para los sistemas Satelitario y Terrestre.

2.4.1.4 Ajuste por Mínimos Cuadrados de los datos terrestres (NAD27) y satelitarios (WGS72) (Combinación de los datos terrestres y satelitarios en 3D)

El procedimiento de ajuste es utilizado para resolver los parámetros de transformación (la combinación de la red satelital y terrestre) utilizando el modelo de Bursa. El modelo matemático que relaciona los datos (cantidades) observados y los desconocidos esta expresado por:

$$F(X, L) = 0$$

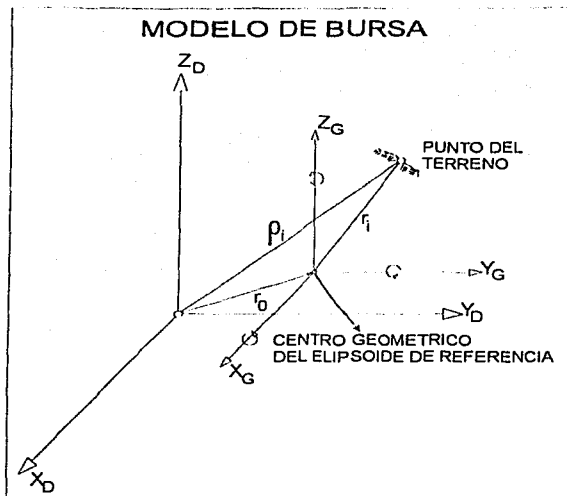


Fig.4 Modelo de Bursa

De donde:

X: Es el vector de los parámetros desconocidos (conjunto de componentes de traslación, rotación y elementos de escala)

L: Es el vector de los parámetros observados (Coordenadas Satelitarias y Terrestres).

La ecuación es no lineal, entonces la linealización por series de Taylor es:[1]

$$AX+BV+W=0$$

En donde:

A: Es la matriz de los parámetros desconocidos

B: Es la matriz de los parámetros observados

W: Es el vector resultante

V: Es el vector estimado de residuos

X: Es el vector solución

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Etapas de la redefinición

X^0 : Son los valores iniciales desconocidos

La condición de los mínimos cuadrados es:

$$V^T P V = \text{mínimo}$$

Aplicando esta condición llegamos a la siguiente expresión:

$$X = [A^T M^{-1} A]^{-1} A^T M^{-1} W$$

Donde:

$$M = B P^{-1} B^T$$

En donde la solución total es:

$$X = X^0 + X$$

La estimación de las matrices de varianza y covarianza para el vector solución es:

$$\Sigma_X = \sigma_0^2 [A^T M^{-1} A]^{-1}$$

$$\Sigma_X = \sigma_0^2 N^{-1}$$

Donde σ_0^2 es el factor estimado de la varianza dado por:

$$\sigma_0^2 = V^T P V / n - u$$

De donde:

n: Es el número de observaciones

u: Las observaciones desconocidas

P: Es la matriz de pesos de las observaciones

El estimador V es el vector de residuos y es obtenido así:

$$V = -P^{-1} B^T K$$

Donde:

K: Es el vector estimador de los multiplicadores de Lagrange

$$K = M^{-1} (AX + W)$$

Las observaciones ajustadas (en el sistema satelital y terrestre) son derivadas de:

$$L = L + V$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$\Sigma_L = \sigma_0^2 (P^{-1} + P^{-1} B^T M^{-1} A N^{-1} A^T M^{-1} B P^{-1} P^{-1} B^T M^{-1} B P^{-1})$$

Donde:

Σ_L Es la matriz de varianza y covarianza de las observaciones

L: Es el vector de coordenadas ajustadas

La información es utilizada en conexión con el ajuste de la red geodésica y los parámetros de pesos.

2.4.1.5 Determinación de los parámetros de transformación entre los Datums NAD27 y WGS72

Para la combinación tridimensional de la Red Terrestre con la Satelital, se utilizaron 26 estaciones coincidentes con los puntos Doppler localizados en toda la Red Geodésica de México, y dentro de estas se incluyeron 5 estaciones del área de prueba. La Tabla 6 muestra el resultado de aplicar un modelo, para obtener los parámetros de transformación de los datums:

MODELOS PARAMETROS	MODELO DE BURSA			
	3	4	6	7
X_0	-20.4	-20.8	1.6	1.3
Y_0	150.2	147.8	138.9	136.6
Z_0	178.1	179.1	163.6	164.6
σ_x	1	2.4	27.5	27.6
σ_y	1	12.5	8.1	14.9
σ_z	1	5.4	23.0	23.8
e_x dA	—	—	0.7	0.7
e_y dξ	—	—	1.1	1.1
e_z dη	—	—	0.7	0.7
e_x dA	—	—	0.8	0.8
e_y dξ	—	—	0.6	0.6
e_z dη	—	—	0.7	0.7
AS	—	-0.4	—	-0.4
σ_A	—	2.2	—	2.2
σ_0	1.00	1.00	0.78	0.82
dF	27	26	24	23

Tabla 6. Parámetros de transformación de Datums

Las coordenadas curvilíneas y terrestres X, Y, Z se muestran en las Tablas 7, 8 y 9 resultado de aplicar la combinación de los datos terrestres y satelitales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Etapas de la redefinición

NOMBRE DE LA ESTACION	[U.T.M.]		ALTURA OTOMETRICA (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	ALTURA ELIPSOIDAL (m)
	LATITUD	LONGITUD			
MEXICO	19 24 10.845	260 48 13.710	2309.300	23.700	2333.000
REYNOSA	25 46 17.107	261 31 36.283	154.800	9.200	164.000
FLAMINGO	22 03 24.471	261 49 15.706	23.000	18.800	41.800
ALDAMA	22 55 45.986	261 55 31.561	134.000	16.500	150.500
SOTO LA	23 46 11.955	261 47 37.023	20.000	14.200	34.200
SAN FDO.	24 50 53.611	261 50 26.537	52.000	11.400	63.400
MONTE AL.	17 02 40.548	263 13 58.152	1937.400	32.900	1970.300
PUERTECITO	21 57 47.691	257 44 52.567	2010.500	12.700	2023.200
EL ARCO	28 01 41.687	246 36 05.912	276.040	-25.500	250.540
LORETO	26 00 15.430	248 38 44.200	19.680	-19.600	0.080
SAN LUCAS	22 53 1.217	250 05 33.848	22.170	-14.500	7.670
ORILLA	17 59 53.589	257 46 27.480	44.300	16.600	62.900
ACAPULCO	16 50 37.909	260 05 23.128	88.240	26.600	114.840
CRUCE	16 32 9.779	266 05 58.478	685.750	38.300	724.050
MOCHIS	25 49 6.903	251 01 13.969	19.000	-10.900	8.100
COMITAN	16 06 0.517	267 55 30.551	1770.600	41.400	1812.000
TEPALCATES	23 55 16.444	255 00 20.717	2614.000	3.200	2617.200
BARROTE	29 11 10.057	259 01 18.377	398.600	2.900	401.500
GRANDE	29 24 16.705	255 20 33.351	1881.310	-0.900	1880.410
CHORRI	21 58 19.786	257 28 43.825	2692.700	12.100	2704.800
ENSENADA	31 5136.980	243 21 49.261	98.210	-31.200	67.010
MILL BEN	30 09 34.836	248 51 10.989	738.320	-17.300	721.020
OLIVA 14	26 26 44.214	248 41 35.713	406.600	-18.400	388.200
DIAZ 195	2727 40.506	255 03 20.703	1294.000	0.100	1294.100
TURQUESA	30 04 21.933	244 33 54.694	642.388	-30.000	612.388
PECOS	27 39 33.229	260 04 51.087	235.800	5.300	241.100

Tabla 7 Coordenadas de la Red Terrestre en el NAD27

NOMBRE DE LA ESTACION	X (m)	DESVIACION ESTANDAR	Y(m)	DESVIACION ESTANDAR	Z(m)	DESVIACION ESTANDAR
MEXICO	-962154.669	2.210	-5943025.216	4.471	306127.961	2.590
REYNOSA	-718996.289	2.378	-6059283.844	5.583	1858017.441	2.765
FLAMINGO	-1256296.086	2.272	-5785143.499	5.352	2371256.681	2.863
ALDAMA	-1287509.553	2.293	-5779435.858	5.347	2372427.466	2.864
SOTO LA	-821928.658	1.846	-5780589.767	5.336	2854855.713	2.870
SAN FDO.	-841396.085	2.034	-5854103.744	5.402	2363689.028	2.965
MONTE AL.	-846897.206	1.765	-5684892.487	5.244	2756193.652	2.816
PUERTECITO	-841396.085	2.034	-5854103.744	5.402	2360110.374	2.810
EL ARCO	-2237612.704	3.051	-5171234.517	5.836	2979220.503	3.722
LORETO	-2086760.480	2.435	-5342403.444	4.333	2779331.028	2.787
SAN LUCAS	-2001872.015	2.982	-5527920.427	6.214	2464715.068	3.362
ORILLA	-1285003.804	2.665	-5930498.040	6.627	1958008.274	3.082
ACAPULCO	-1050945.504	2.550	-6015297.179	6.711	1836223.874	3.007
CRUCE	-416079.619	2.417	-6102612.455	4.857	1803769.032	2.709
MOCHIS	-1868510.805	2.493	-5472877.733	5.063	2760830.245	3.062
COMITAN	-221906.584	2.407	-6127359.883	5.639	1757770.077	2.816
TEPALCATES	-1509897.900	2.304	-5637277.063	5.225	2571224.013	2.934
BARROTE	-1061350.726	1.687	-5471274.904	5.049	3091953.731	3.095
GRANDE	-1407579.808	1.758	-5381672.859	4.302	3113802.088	2.752
CHORRI	-825548.895	2.029	-5819125.224	5.374	2469430.385	2.868
ENSENADA	-2431012.651	2.598	-4846944.190	4.010	3347138.136	3.105
MILL BEN	-1901444.852	2.251	-5148305.624	4.175	3165875.285	2.921
OLIVA 14	-2039477.961	2.526	-5228171.095	4.887	3020035.950	3.187
DIAZ 195	-1460821.468	2.051	-5473156.698	5.066	2924094.097	3.041
TURQUESA	-2372838.504	2.569	-4889361.426	4.102	2177459.685	3.007
PECOS	-973891.046	1.729	-5569157.644	5.140	2943057.470	3.015

Tabla 8 Coordenadas Cartesianas Tridimensionales de la Red Terrestre

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Etapas de la redefinición

RED GEODESICA EN EL NORESTE DE MEXICO HORIZONTAL-VERTICAL TERRESTRE						
ESTACION	LATITUD (°-'-")	LONGITUD (°-'-")	ALTURA ORTOMETRICA (m)	ALTURA GEOIDAL(m)	ALTURA ELIPSOIDAL(m)	
MEXICO D F	19 24 10 845	-99 11 46 290	2309 286	23 700	2332 988	
FLAMINGO	22 03 24 367	-98 10 44 221	23 000	18 800	41 800	
SOTO	23 46 11 899	-98 12 22 061	20 000	14 200	34 200	
SAN FDO	24 50 53 494	-98 09 33 683	51 999	11 400	63 399	
REYNOSA	25 46 16 979	-98 28 23 837	154 799	9 200	163 999	

RED TERRESTRE TRIDIMENSIONAL						
ESTACION	X (m)	DESV.STA	Y(m)	DESV.STA.	Z(m)	DESV.STA.
MEXICO D F	-962154 669	0 884	-5943025 216	5 429	2106127 961	1 939
FLAMINGO	-841394 184	1 691	-5854105 231	5 422	2380116 110	3 191
SOTO	-833627 309	1 991	-5780593 156	5 313	2554854 136	2 552
SAN FDO	-821934 804	2 455	-5732635 209	5 286	2683698 554	2 723
REYNOSA	-846903 622	2 742	-5684893 277	5 245	2756190.105	2 789

Tabla 9 Coordenadas ajustadas de las Estaciones Satelitales

2.4.2 Combinación Bidimensional de la Red Terrestre y Satelital

2.4.2.1 Transformación de coordenadas Cartesianas a Curvilíneas

Las observaciones en el modelo de Bursa es un conjunto de coordenadas cartesianas, uno perteneciente al Sistema Satelitario Tridimensional y el otro al Sistema Terrestre en dos dimensiones por lo que es necesario transformarlas a tres dimensiones.

Se requiere entonces una transformación de coordenadas curvilíneas a cartesianas y/o viceversa, siendo necesario conocer la altura elipsoidal h ($H+N$). En este caso la altura trigonométrica se utiliza en sustitución de la altura ortométrica (H) y las alturas geoidales (N) son obtenidas con la solución GEM8 (Modelo de Gravedad Terrestre).

El ajuste de mínimos cuadrados de la red geodésica es realizado para dos dimensiones (sobre el elipsoide), y el conjunto de coordenadas cartesianas junto con las matrices de varianza y covarianza son resultado de la combinación de los datos terrestres y satelitales. En esta transformación los elementos curvilíneos, incluyen un ajuste con los parámetros de peso, para el control de la red terrestre.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Etapas de la redefinición

También es posible observar que la transformación de las coordenadas cartesianas a curvilíneas no es simple en el caso inverso. Si se dan las coordenadas cartesianas (X, Y, Z) y los parámetros del elipsoide de referencia (a, b), el problema es encontrar las coordenadas geodésicas (φ, λ, h). En este sentido la longitud se puede evaluar con la siguiente expresión:

$$\lambda = \tan^{-1} (y/x)$$

La latitud y la altura se determinan con un procedimiento iterativo utilizando las siguientes expresiones:

$$\varphi_i = \tan^{-1} ((z/P)/((1-e^2)^N)/(N+h))$$

$$P = (X^2 + Y^2)^{1/2}$$

2.4.2.2 Ajuste por Mínimos Cuadrados de los datos terrestres y satelitarios (combinación de datos terrestre y satelitarios en dos dimensiones)

Los procedimientos de estimación se describen aquí, en donde son utilizados en el ajuste de los datos terrestres, cuando las coordenadas de un conjunto estaciones satelitales (5 estaciones) son consideradas como cuasi observables (parámetros pesados P_x). El modelo puede ser utilizado como un caso trivial cuando los parámetros son desconocidos, y son tratados como libres en el ajuste, y/o cuando algunos de ellos son fijos. El modelo funcional que relaciona las observaciones con las incógnitas está dado por:[1]

$$F(X) = L$$

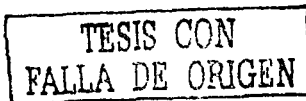
En donde:

X : Son los parámetros desconocidos

L : Son las observaciones ajustadas

Se menciona que las observaciones utilizadas son direcciones, distancias y azimutes; los parámetros desconocidos son las coordenadas de las estaciones y la orientación. Para la red el modelo matemático de linealización es:

$$V = AX + W$$



Capítulo 2 Etapas de la redefinición

$$A = \partial F / \partial X \Big|_{x^0, L}$$

Donde:

A: Es la matriz de diseño

W: Es un vector del error de cierre

V: Es el vector de corrección de las observaciones

X^0 : Son los valores iniciales desconocidos

La solución a la ecuación aplicando el principio de mínimos cuadrados es un estimador único para obtener X es el siguiente:

$$X = -(A^T P A + P_x)^{-1} A^T P W$$

Donde:

X: Es el vector solución estimado

P: Es la matriz de pesos de las observaciones

P_x : Es la matriz de parámetros pesados (estaciones satelitales)

El ajuste de coordenadas (parámetros desconocidos) se analizan con la siguiente ecuación:

$$X = X^0 + X$$

Mientras que las observaciones pueden ser determinadas con:

$$L = L + V$$

La estimación de la matriz de varianza y covarianza de las coordenadas ajustadas es:

$$\Sigma_x = \sigma_0^2 (A^T P A + P_x)^{-1}$$

El factor de varianza es tratado como:

$$\sigma_0^2 = (V^T P V + X^T P_x X) / (n - u + u_x)$$

donde:

n: Es el número de observaciones

u: Es el número de parámetros desconocidos

u_x Es el número de parámetros de peso

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Etapas de la redefinición

Las matrices de peso de las observaciones y los parámetros desconocidos son:

$$P = \sigma_0^2 \Sigma_L^{-1}$$
$$P_x = \sigma_0^2 \Sigma_x^{-1}$$

donde:

σ_0^2 : Es el factor de varianza

Σ_L : Es la matriz de varianza y covarianza de las observaciones

Σ_x : Es la matriz de varianza y covarianza de las cuasi-observaciones

2.4.2.3 Ajuste de la red considerando las estaciones satelitales como control

El ajuste de la Red Terrestre (527 estaciones) se realizó aplicando la técnica de mínimos cuadrados con todas las observaciones terrestres (1941), utilizando un punto fijo (México, D.F.) de coordenadas geodésicas iguales a las del NAD27 y 5 estaciones satelitales de coordenadas derivadas del proceso de la "Determinación de los parámetros de transformación entre los Datums NAD27 y WGS72" (2.4.1.5), cuya función es darle escala y orientación a la red terrestre, tomando como superficie de referencia el elipsoide de Clarke de 1866.

Los resultados del ajuste de las observaciones terrestres utilizando mínimos cuadrados no se muestran por problema de espacio. Con este resultado termina el proceso de la redefinición y las nuevas coordenadas están referidas al nuevo datum resultado de la combinación de datos terrestres y satelitarios.

A continuación, se muestran los resultados de la prueba χ^2 del análisis de la varianza al 95% de probabilidad derivados del ajuste. [1]

Puntos de la Red = 527

Direcciones = 1487

Distancias = 448

Azimut = 6

Punto fijo en México D.F

$\sigma = 1.00$

$V^T PV = 435.51$

$df = 335$

$\sigma_0^2 = 1.30$

χ^2 (95%): $1.12 \leq 1.00 \leq 1.52$ (rechazada)

Residuo de rechazo: $P, (-\alpha_1 \leq V_1 \leq \alpha_1) = 95\%$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2 Etapas de la redefinición

Observaciones rechazadas:

Direcciones = 8

Azimut = 2

En donde:

C: Distribución normal estándar

σ : Desviación estándar de las observaciones

V_i : Residuos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) es la institución que debe hacer este trabajo. Sin embargo no ha resuelto este problema de la redefinición de la red terrestre basada en el NAD27. Para realizar la conversión de los datos del NAD27 al nuevo sistema ITRF92 se utiliza un programa llamado TRANINV que modela las distorsiones regionales y locales que existen entre ambos sistemas a través de un polinomio algebraico bidimensional y da solución a esta redefinición (Pero con una desviación estándar de $\pm 50m$ aproximadamente).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III NUEVA RED GEODESICA NACIONAL

El más alto, más fuerte, y el más rápido.

COMITÉ OLIMPICO INTERNACIONAL



41A

3.1 JUSTIFICACION DEL CAMBIO

La demanda por realizar posicionamientos geodésicos se ha incrementado notablemente, debido a la necesidad de información actualizada, lo que involucra a otras disciplinas como la Topografía, Fotogrametría, Percepción Remota y Sistemas de Información Geográficos, además de otras actividades. Por ello, es conveniente trabajar con un marco de referencia que permita definir nuestras posiciones para fines de control, investigación etc.

Por esta razón el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en su carácter de institución rectora de los trabajos de control, investigación, y modernización de la información geográfica mantiene la Red Geodésica Nacional en condiciones que permita obtener información con una precisión aceptable, tanto para realizar investigación, así como para la construcción de infraestructura en el territorio nacional. En donde las dependencias gubernamentales y de iniciativa privada trabajan con información de los receptores GPS, para controlar y referenciar sus trabajos, en donde ya sea para la construcción o para trabajar con cartografía siempre es útil contar con este tipo de apoyo.

Con esto hemos detectado que en casi todas las oficinas técnicas de las dependencias gubernamentales como Petróleos Mexicanos, Comisión Federal de Electricidad, y la Secretaría de la Defensa Nacional, los gobiernos estatales, y las instituciones académicas como la Universidad Nacional Autónoma de México, y sus institutos de Ciencias del Mar y Limnología, Geofísica, Geografía entre otras, hacen y harán uso de la tecnología satelital por las ventajas que esta proporciona.

Las ventajas son muchas y las necesidades también, por ello se ha resumido en los siguientes puntos algunas razones por el cual es importante el uso de un nuevo sistema de referencia:

- El acceso a las nuevas tecnologías e instrumentación requieren que su empleo se ubique dentro de un marco de referencia moderno, que satisfaga las exigencias dentro del territorio de México.

Capítulo 3 Justificación del cambio

- La tecnología satelital ha tenido gran desarrollo con el uso de equipo y métodos de campo mejorados para trabajos de posicionamiento.
- La investigación es beneficiada porque utilizará información confiable para elaborar reportes e investigación de mayor calidad, que permita competir y estar a la vanguardia con países de primer mundo. [7]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3 La Red Geodésica Nacional Activa

3.2 LA RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA

Durante la administración del Presidente Carlos Salinas de Gortari se llevó a cabo una profunda transformación de la regulación de la información geodésica, a fin de que esta después se propagase a una actividad como lo es la minería y a programas de certificación de tierras. Para 1990 expide un Reglamento de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Minera. Y se establece el PROCEDE (Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos), con el objetivo de ubicar espacialmente más de 100 millones de hectáreas de tierras ejidales en un plazo relativamente corto.

Esta transformación jurídica ocasionó cambios en lo relativo a la ubicación de los lotes mineros y certificaciones ejidales, en donde se tenía que precisar las coordenadas utilizando métodos satelitales, esto con el objetivo de realizar levantamientos con una precisión de primer orden.

En consecuencia, se decidió establecer una red nacional de estaciones fijas de operación continua, distribuidas a lo largo del territorio nacional, cuya base operativa fuera el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para formar lo que hoy se conoce como Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), que responde a un concepto nuevo de alto desarrollo técnico, el cual, además de México, solo se encuentra aplicado en algunos países del primer mundo, y que en nuestro caso constituye como uno de los primeros pasos para el desarrollo de la red geodésica del país en el contexto de la modernización. Conviene recordar que hasta ahora y en el contexto, cualquier levantamiento de carácter geodésico que se pretenda deberá integrarse a la Red Geodésica Nacional materializado en el ITRF92 época 88 utilizando el Sistema de Posicionamiento Global.

El uso del GPS modifica este esquema, ya que puede ocuparse una estación de la RGNA simultáneamente con las nuevas estaciones requeridas. En este sentido, la estación ocupada desempeña un papel activo, y por este motivo a la Red se le da el calificativo de "Activa".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3. La Red Geodésica Nacional Activa

Por esto, cada una de las estaciones fijas es una estación "ocupada", de operación continua, que tiene la ventaja de estar al servicio de cualquier usuario, quien en el momento de planear y ejecutar cualquier levantamiento con equipo GPS, sepa de antemano los datos de una estación "ocupada" a su disposición. Entonces podemos mencionar que se tendrán las siguientes ventajas:

- La RGNA así constituida y su servicio permitirán la colaboración con organismos de investigación que trabajen con equipamiento GPS en donde su aplicación es muy variada.
- La operación de esta RGNA permite calcular parámetros orbitales de los satélites GPS, para establecer esquemas de integración y cooperación con otras redes de monitoreo en el extranjero.

Es necesario mencionar que el redefinir la Red Geodésica Nacional permite obtener grandes ventajas, pero igualmente existen algunos detalles que se debe de tomar en cuenta, aun cuando el usuario puede hacer uso de equipos de cualquier fabricante y utilizar el software que mejor le convenga, deberá contar con la opción de leer archivos digitales en el formato RINEX (Receiver INdependent EXchange format), que es más utilizado.

El criterio seguido para el establecimiento de las estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa fue el asegurar un cubrimiento nacional, de modo que cualquier punto ubicado dentro de territorio mexicano tuviera acceso a la información de por lo menos una estación de la red. Para tales efectos, se determinó un radio de cubrimiento de 500 Km por estación (equivalente a 785 000 km²), como el máximo aceptable que permite el procesamiento de las efemérides transmitidas por los satélites con métodos convencionales y software comercial. Este cubrimiento puede ser satisfecho con un mínimo de 6 estaciones fijas convenientemente localizadas, que implica cierto riesgo por la eventualidad en que alguna estación dejara de trabajar, y buena parte del país quedara sin cobertura. Posteriormente se decidió en 14 estaciones fijas, geoméricamente bien distribuidas que garantizarán el máximo cubrimiento con la finalidad de que si alguna de ellas viera interrumpida su operación no afectaría alguna parte del territorio nacional.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3 La Red Geodésica Nacional Activa

Para los efectos de ubicación, el INEGI aprovecho su infraestructura regional y ubicó las estaciones, tanto en la Sede Central en Aguascalientes, como en las instalaciones de las Direcciones Regionales y Coordinaciones Estatales de este organismo. La construcción de los monumentos, el acondicionamiento de los locales y la instalación de los equipos se inicio a finales de 1992. A esto siguió la realización de pruebas de funcionamiento para verificar la capacidad de memoria y rendimiento del equipo bajo condiciones de operación durante 24 horas continuas, con lo que la RGNA fue puesta en condiciones apropiadas para la determinación de sus coordenadas en el nuevo Sistema de Referencia.

Una vez procesada toda la información del levantamiento y determinadas las coordenadas de las 14 estaciones, se inicio la operación formal y permanente de la RGNA a las 12:00 horas del día 19 de Febrero de 1993 en forma simultanea, misma que desde entonces ha estado funcionando en forma continua, fundamentalmente para satisfacer los requerimientos del INEGI. Pero de otra manera, se cuenta al momento con más de 15,000 puntos ya determinados con apoyo en la RGNA. En adición a lo anterior, en Marzo de 1993 se efectuó una liga entre la RGNA y 300 puntos de la Red Geodésica Nacional anterior, con el propósito de desarrollar los modelos y algoritmos de transformación entre el NAD27 y el ITRF92, labor que fue terminada y que hasta el momento produce resultados cuya aplicación esta orientada a correlacionar la cartografía y levantamientos existentes.

Cada estación fija de la RGNA esta equipada con un receptor GPS de doble frecuencia y 12 canales en cada una de ellas, capaz de registrar las señales satelitales, software correspondiente, periféricos, y accesorios e instrumental de apoyo. Asimismo, cuenta con una microcomputadora 80486 con disco duro de gran capacidad para descarga de datos, creación de archivos y transmisión de información. De este modo, en cada estación fija existe un sistema de captura, descarga, respaldo y procesamiento de datos.

Por lo comentado anteriormente, cada estación necesita descargar las observaciones, a fin de evitar la saturación de la memoria y crear los archivos digitales correspondientes para su distribución al área central y a los centros de cómputo en los que sea necesaria la información para los procesos que ahí se realizan. En consecuencia, es necesario, interrumpir temporalmente la operación del receptor, lo que se hace sistemáticamente de las 21:00 a las 22:00 horas, tiempo del meridiano 90°W.G, durante todos los días del año,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3 La Red Geodésica Nacional Activa

lo que se aprovecha para dar mantenimiento preventivo al equipo, además de la operación de descarga en la PC.

La figura 5 muestra la distribución de las estaciones fijas de la Red Geodésica Nacional Activa en el país. La tabla 11 muestra las coordenadas geocéntricas de las mismas y la Tabla 12, su cobertura en cada uno de los estados ya sea en forma total o parcial.

3.2.1 Oficialización

Considerando que el desarrollo de la tecnología formal y grandes proyectos de ingeniería, requieren de su ubicación dentro de un determinado marco de referencia que permita definir inequívocamente y con precisión los diversos rasgos, detalles y obras de interés. Y que con el desarrollo tecnológico de nuestra época con nuevos instrumentos, tecnologías de medición y análisis computacional ha obligado a evolucionar las técnicas de medición clásicas a un entorno dinámico espacial utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que ha venido a revolucionar los métodos satelitales Doppler.

Por esta razón el día 27 de Abril de 1998 durante el sexenio del Presidente Ernesto Zedillo Ponce de León aparece en el Diario Oficial de la Federación una modificación y adición a las normas técnicas para levantamientos geodésicos publicadas en Abril de 1985 con los términos siguientes:

" Todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico horizontal, deberá estar referido al marco de Referencia Terrestre Internacional ITRF del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para el año 1992 con datos de la época 1988 denominado ITRF92 época 88 que es el nuevo Sistema Geodésico de Referencia para México ". Y asociar sus coordenadas geodésicas latitud, longitud, y altura elipsoidal asociado al GRS80 (Sistema de Referencia Geodésico 1980) la Tabla 10 muestra los parametros de este:

Semieje Mayor	a	6 378 137m
Achatamiento	1/f	298.2525722
Velocidad Angular	ω	$7\ 292\ 115 \times 10^{-11}$ rad/seg
Constante Gravitacional Geocéntrica	GM	$3\ 986\ 005 \times 10^8$ m ³ /seg ²
Factor Dinámico de la Tierra	J ₂	$108\ 263 \times 10^{-8}$

Tabla 10 Parametros del elipsoide GRS80 asociado al ITRF92

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

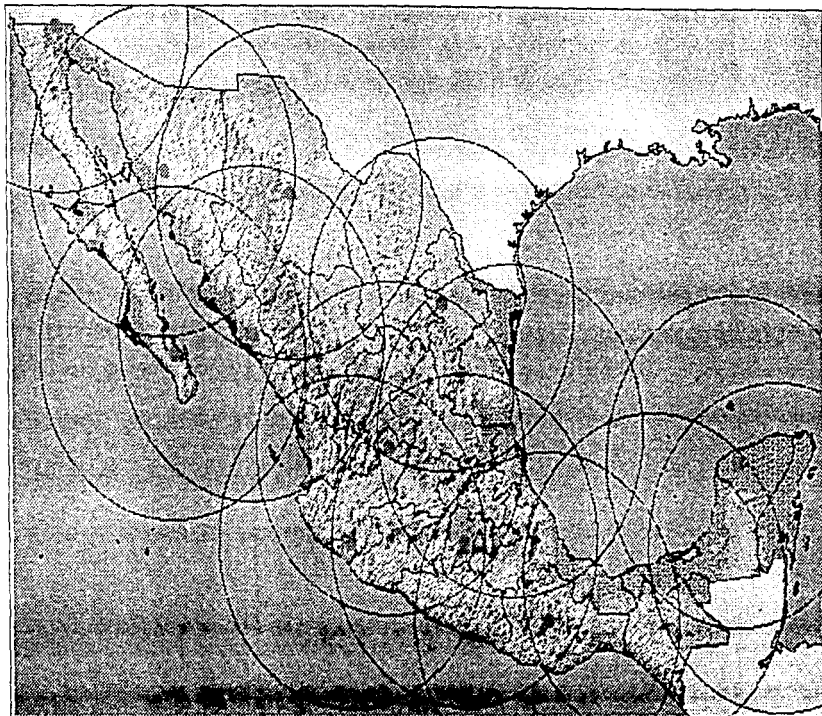


Fig.5 Estaciones Fijas de la Red Geodésica Nacional Activa [11]

Capítulo 3 La Red Geodésica Nacional Activa

Nombre de la Estación	Ubicación	Latitud Norte (°")	Latitud Oeste (°")	Altura Elipsoidal (m)	Altura Ortométrica (m)
COLI	Colima, Col.	19 14 56.90195	103 43 05.64633	513.117	529,2080 snmm
CULI	Culiacán, Sin.	24 47 54.79135	107 23 02.18737	75.416	102.986
CHET	Chuetumal, Q.R	18 29 42.99710	88 17 57.20192	3.07	9.9696
CHI2	Chihuahua, Chih.	28 39 18.90199	106 06 43.61168	1463.582	1487.4561
FMTY	Monterrey, Mty.	25 40 38.81116	100 17 07.82941	497.67	516.6754
HERM	Hermosillo, Son.	29 05 59.73965	110 56 27.34598	209.318	242.111
INEG	Aguascalientes, Ags.	21 51 22.15594	102 17 03.12353	1889.311	1903.1008
LAPAZ	La paz, B.C.S	24 08 19.66367	110 19 09.62510	-6.821	25.969
MERI	Mérida, Yuc.	20 58 48.16303	89 37 13.13563	8.036	21.5109
MEXI	Mexicali, B.C	32 37 58.76261	115 28 32.51760	-22.459	12.369
OAXA	Oaxaca, Oax.	17 04 49.64051	96 43 09.50637	1596.044	1597.0459
TAMP	Tampico, Tam.	22 16 41.95931	97 51 50.48359	21.051	37.5745
TOLU	Toluca, Méx.	19 17 24.61420	99 38 18.54849	2649.352	2654.249
VILL	Villahermosa, Tab.	17 59 45.92350	92 54 47.83608	21.225	31.7025

Nombre de la Estación	X (m)	Y (m)	Z (m)
COLI	-1428631.774	-5852387.708	2089574.658
CULI	-1730936.534	-5528855.281	2658865.71
CHET	179584.964	6048080.156	2010447.414
CHI2	-1554806.253	-5382481.027	3041128.655
FMTY	-1027100.565	-5659906.501	2747116.029
HERM	-1993478.976	-5209236.397	3083685.288
INEG	-1260435.733	-5788548.481	2360340.659
LAPAZ	-2022282.784	-5461274.576	2592316.868
MERI	39480.96	-5957733.264	2269335.177
MEXI	-2312590.641	-4853743.899	3419740.287
OAXA	-713745.2674	-6058205.144	1861815.303
TAMP	-807922.249	-5849358.268	2402967.786
TOLU	-1008730.648	-5939707.541	2094568.216
VILL	-308406.5891	-6060220.066	1957979.433

Tabla 11 Coordenadas Geocéntricas de las estaciones fijas de la RGNA en el GRS80 [7]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CUBRIMIENTO POR ESTADOS DE LA RED GEODESICA NACIONAL														
ESTADOS	ESTACIONES													
	Aguas Calientes Chetumal Chihuahua Colima Cuicatlan Hermosillo Lampaz Merida Mexicali Monterrey Oaxaca Tampico Toluca Villahermosa													
Aguascalientes	T			T						T		T	T	
Baja California						P	P			P				
Baja California Sur					P	P	P							
Campeche		T						T			P			T
Coahuila	P		P		P					T		P		
Colima	T			T									T	
Chiapas		P						P			P			T
Chihuahua			T		P	P	P			P				
Distrito Federal	T			T						T		T	T	
Durango	P		P			T		P		P		P		
Estado de México	T			P						T		T	T	T
Guanajuato	T			T						P		T	T	T
Guerrero	P			P						P	P	P	T	T
Hidalgo	T			P						P	T	T	T	T
Jalisco	T			T	P					P		P	P	P
Michoacán	T			T						P		P	T	T
Morelos	T			P						T		T	T	P
Nayarit	T			T	P			P				P	P	P
Nuevo León	P									T		P	P	P
Oaxaca										T		T	P	P
Puebla	P									T		T	T	P
Queretaro	T			P						P		T	T	T
Quintana Roo		T						T						T
San Luis Potosí	T			P						T	P	T	P	
Sinaloa	P			P	P		P	T						
Sonora	P		P		P	T	P			P				
Tabasco		P								P				T
Tamaulipas	P									T		P	P	T
Tlaxcala	P									T		T	T	P
Veracruz	P									P	P	P	P	P
Yucatan		T						T						
Zacatecas	T			P	P					P		P	P	P

T=Cobertura Total
P=Cobertura Parcial

Tabla 12 Cubrimiento por estados de la Red Geodésica Nacional [7]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2.2 Estaciones GPS de la Subred Geodésica Minera

En Septiembre de 1990, el titular del Ejecutivo Federal expidió un nuevo Reglamento de la Ley reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en materia minera, mediante el cual la Secretaría de Energía e Industria Paraestatal asumió la responsabilidad de determinar si los lotes solicitados amparaban total o parcialmente terreno no libre, con base en la cartografía minera correspondiente.

Y con objeto de asegurar que fueran proporcionadas las coordenadas de los puntos de partida de los lotes mineros solicitados, el reglamento dispuso la expedición por parte de la Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal, del "Instructivo para la ejecución de trabajos periciales", el cual se publicó en Diciembre de 1990. Este instructivo incorporó la vinculación de lotes mineros con vértices de primer orden de la Red Geodésica Nacional o con puntos de control reconocidos oficialmente por la Secretaría, y la determinación de las coordenadas utilizando satélites artificiales.

Entre Diciembre de 1992 y Junio de 1994, el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática procedió al reconocimiento, monumentación y posicionamiento de 600 puntos de control, distribuidos en 28 entidades federativas del país. En donde el posicionamiento fue con equipo GPS de doble frecuencia de acuerdo a las especificaciones de primer orden. Y materializadas en el marco de referencia ITRF92 época 88 con el elipsoide asociado GRS80. En donde su oficialización estaría sujeta a la publicación del Diario Oficial de la Federación de la norma oficial mexicana y de la actualización del inventario de puntos de control que conforman la Subred Geodésica Minera.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

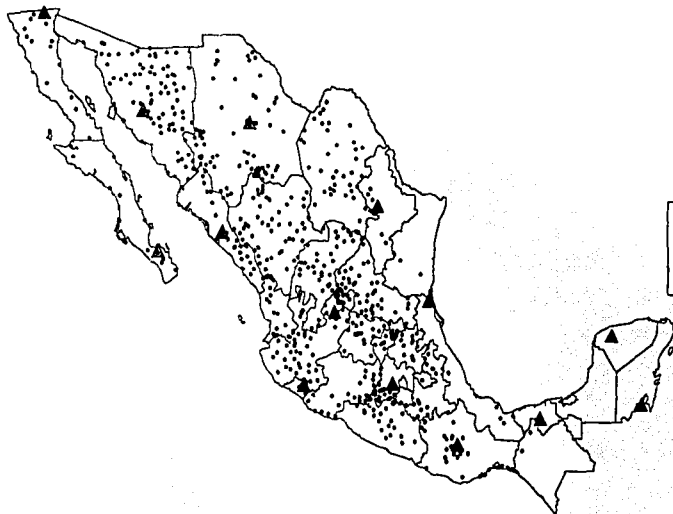
Capítulo 3 La Red Geodésica Nacional Activa

Por esta situación las mojoneras de cada lote minero posicionado en el ITRF92 época 88 constituye un vértice GPS perteneciente a la Red Geodésica Nacional Activa, y que en su momento pueda ser utilizado como apoyo para la realización de levantamientos geodésicos. De esta manera la figura 6 muestra la ubicación de las estaciones GPS de la Subred Geodésica Minera y las estaciones fijas de la Red Geodésica Nacional Activa.[8]

Al término de este trabajo se anexa un disco con la base de datos de los lotes mineros que se encuentran en la República Mexicana.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTACIONES GPS DE LA SUBRED GEODESICA MINERA Y ESTACIONES FIJAS DE LA RGNA



- ESTACIONES GPS
- ▲ ESTACIONES FIJAS DE LA RGNA

Fig.6 Estaciones GPS de la Subred Geodésica Minera y estaciones fijas de la RGNA

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



CAPITULO IV ANALISIS Y RESULTADOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El futuro les pertenece a aquellos que creen en la grandeza de sus sueños, el futuro está en nuestras manos, ignorar su cambio significa renunciar al mañana. Tener fe para ver lo invisible, sentir lo intangible y lograr lo imposible

MIGUEL ANGEL CORNEJO



53A

4.1 EL CAMBIO Y SUS CONSECUENCIAS

El cambiar de sistema de referencia involucra modificar toda la información cartográfica y los levantamientos realizados en el sistema anterior, además de que los usuarios de la información geográfica, cambiarán todos los productos que realizan, y tendrán que actualizar la información. Además de lo siguiente:

- Los geodestas, ingenieros y topógrafos que se apoyan en el sistema para efectos de planeación en los levantamientos y confirmación de los resultados modificarán sus estrategias para tomar decisiones. Por medio de mediciones GPS, en donde se espera que los levantamientos sean referidos en forma correcta a este nuevo marco de referencia.
- Los profesionistas dedicados a la producción cartográfica que trabajan utilizando un nuevo marco de referencia; encontrarán que los efectos serán notorios, porque se contemplan requerimientos de conversión de archivos digitales con la aplicación del nuevo marco. Además de los organismos y dependencias dedicadas a codificar información para efectos de generar cartografía automatizada, utilizando Sistemas de Información Geográfica, Percepción Remota, y Fotogrametría.
- La investigación desarrollada en nuestro país es considerada una parte fundamental que no se desliga de la información que pueda generar apoyada en la RGNA y del cambio que esta pueda tener. La sismología, exploración geofísica, así como otras actividades de investigación científica son beneficiadas con este cambio.
- Otro de los beneficiados es el sector minero porque tendrá un cambio con el uso de la Red Geodésica Nacional Activa, para mejorar la ubicación de los lotes mineros. Con esto estaremos hablando también de la generación de nueva cartografía minera.

Capítulo 4 El Cambio y sus consecuencias

A lo anterior se puede agregar que en los últimos tiempos se ha advertido un notable incremento en la variedad de usuarios, que responde a determinados intereses, en adición a los que se pueden considerar como tradicionales dentro de las comunidades geodésica y cartográfica. Dentro de estos se cuentan los que están vinculados por ejemplo con la Planeación Regional y Urbana, Desarrollo y Administración de Recursos Naturales, Programas de Reducción de Riesgos Ambientales, Sistemas de Información Catastral, y Sistemas de Transporte, Navegación y Comunicaciones, entre otros, que en el contexto de la Planeación y del desarrollo económico y social requieren en estos tiempos información actualizada. El manejo de información geográfica se ha vuelto una necesidad, pero con ella también se ha generado un problema intenso en el proceso de búsqueda, captura e interpretación de la información generada por esta.

En el aprovechamiento del marco geodésico ITRF92 muchos usuarios se verán ante la tarea de transformar los datos del NAD27 al nuevo sistema. En estos métodos de transformación encontramos que se puede complicar o puede ser muy sencilla, desde la aplicación de simples desplazamientos, pasando por procesos de transformación de escala y rotaciones de ejes coordenados, hasta la generación de modelos de distorsión y refinamientos locales. Sin embargo se hace prioritario el uso de un software adecuado que permita el cambio que se ha iniciado, sin tener que recurrir a los métodos clásicos de la Geodesia.

Añadiendo algunas consideraciones generales, se apunta que no conviene añadir nuevos levantamientos en el NAD27, porque se espera que su uso disminuya gradualmente a medida que la información geográfica se vaya publicando y distribuyendo en el marco del ITRF92. Necesariamente, el cambio tiene que causar un cierto tipo de consecuencias, que en función de las circunstancias será de mayor o menor intensidad. [8]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2 EL GEOIDE

4.2.1 Definición

La palabra Geoide aparece asociada a la forma de la Tierra como una superficie equipotencial de interés particular que mejor se aproxima al nivel medio del mar y extendida por debajo de los continentes.

El uso de una superficie irregular para realizar cálculos geodésicos se torna muy complejo debido a la dificultad que se tiene para modelarla, una alternativa es utilizar una superficie que es matemática y por lo tanto ideal, siendo un modelo elipsoidal el adecuado para aproximar la superficie del Geoide. Debido a que se trata de una aproximación, estas dos superficies no coinciden del todo por el hecho de que el Geoide tiene una forma irregular por la distribución de masas que forman la Tierra, a estas separaciones se les llama ondulaciones geoidales (N). Esta ondulación es la parte esencial de este apartado porque de alguna manera estas ondulaciones nos indican una imagen del Geoide. La figura 7 muestra la disposición de las superficies más utilizadas en Geodesia. [6]

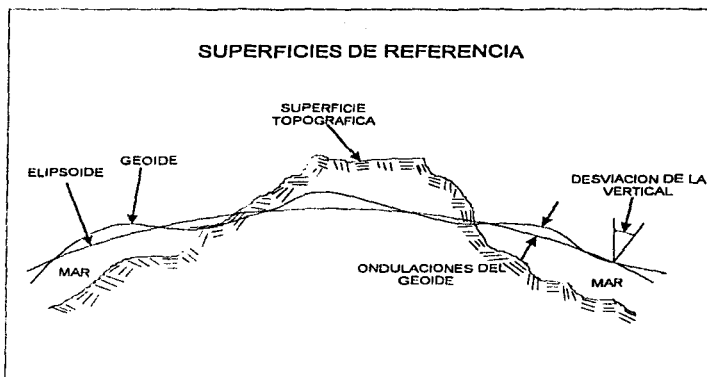


Fig.7 Superficies de Referencia [5]

Capítulo 4 El Geoide

Uno de los métodos utilizados para la determinación del geoide es trabajar con las observaciones de la gravedad hechas sobre la superficie terrestre. Pero debido a que la Tierra en su interior esta compuesta por materiales que poseen diferentes densidades, el campo de gravedad sufre variaciones debido a la distribución de estas en diferentes latitudes y longitudes. Por esta situación los geodestas han encontrado útil representar el campo de gravedad en términos de una cantidad escalar denominada potencial, en donde el cambio espacial del potencial en un cierto punto es igual al vector de gravedad en este punto.[6]

Sin embargo el Geoide es definido utilizando alturas de un punto en donde este puede estar por encima o debajo de un elipsoide de referencia en particular. En esta situación es necesario confrontar las mediciones de la gravedad, en donde las cantidades observadas de la gravedad son utilizadas junto con los resultados teóricos derivados de la Fórmula Internacional de la Gravedad o de alguna otra ecuación:[2]

$$\gamma = A(1 + B \sin^2 \varphi - C \sin^2 2\varphi)$$

En donde:

A: Es el valor promedio de la gravedad que implica una Tierra esférica, igual a 978.049 gal

B: Es la relación de la gravedad en el polo y en el Ecuador, igual a 0.0052884

C: Es la relación de una esfera y un elipsoide de la misma masa, igual a 0.0000059

α : Es el aplastamiento polar del elipsoide (Dependiendo del elipsoide)

γ : Es la gravedad normal referida al elipsoide

$$\Delta g = g - \gamma$$

Δg : Es la anomalía de gravedad

g : Es la gravedad real referida al geoide

Estas cantidades no se pueden trabajar sobre la superficie terrestre, por lo tanto se reducen al geoide, utilizando la altura h sobre el nivel del mar. Y se aplicará la corrección de Bouguer para eliminar la influencia de las masas entre la superficie topográfica y el geoide, así como también las masas encerradas en este. La segunda corrección es una corrección Topográfica considerada como un refinamiento de la corrección de Bouguer.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 4 El Geoide

De donde la fórmula combinando estas dos correcciones resulta:

$$\Delta g = (g_{\text{OBSERVADA}} + 0.3806 h - 0.419 \rho h + C.T) - \gamma$$

En donde:

$g_{\text{OBSERVADA}}$: Es la gravedad observada

h: Es la altura sobre el nivel del mar

ρ : Es la densidad de las rocas intermedias

C.T: Es una corrección topográfica asociada a la Corrección de Bouguer

4.2.2 Sistemas de Alturas

El uso de alturas en Geodesia es muy importante para la determinación de la superficie geoidal utilizando desde los métodos clásicos hasta los satélites artificiales. Por esta situación se mencionan los Sistemas de Alturas más utilizados:

- Alturas observadas: Son obtenidas directamente con nivelación directa (superficie de referencia el n.m.m).
- Alturas Ortométricas: Son alturas corregidas por gravedad observada (superficie de referencia el geoide) definidas dinámicamente por Helmert.
- Alturas Elipsoidales Son alturas observadas con GPS y la relación entre el sistema ortométrico y elipsoidal es:

$$h = N + H$$

h: Es la altura elipsoidal

H: Es la altura ortométrica

N: Es la ondulación geoidal

La figura 8 muestra la relación entre los sistemas de alturas.

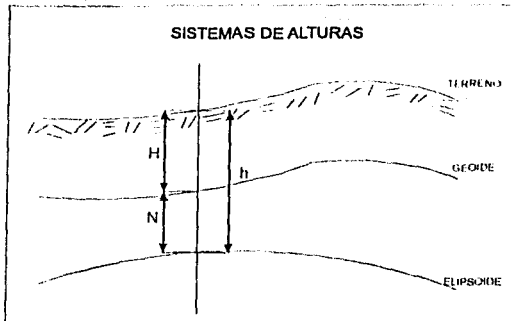


Fig.8 Sistemas de Alturas

4.2.3 Altimetría Satelital

La altimetría satelital es uno de los métodos más utilizados en Geodesia por satélites. La Altimetría satelital utiliza el movimiento del satélite que es seguido con un sensor colocado en una plataforma que transmite una serie de pulsos en el dominio de la frecuencia del radar, y regresa la señal de retorno desde la superficie de la Tierra. La altitud a del satélite puede ser utilizada para una primera aproximación desde la observación del viaje de la señal del radar, utilizando la siguiente ecuación:[3]

$$a = c (\Delta t/2)$$

En donde:

a : Es la altitud del satélite

c : Es la velocidad de la luz en el vacío 3×10^8 m/s

Δt : Es el intervalo de tiempo en que tarda la señal

Este método es apropiado para trabajar en la superficie de los océanos, porque utiliza la propiedad reflectiva del agua. Para esto utiliza una parte de la superficie del mar que es iluminada instantáneamente. La altitud h del satélite sobre la superficie del elipsoide

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 4 El Geoide

puede derivar de una órbita con respecto a un marco de referencia geocéntrico. Con esto encontramos que la ecuación del altímetro simplificada es la siguiente:

$$h = N + H + a$$

En donde:

H: Es la altura Ortométrica

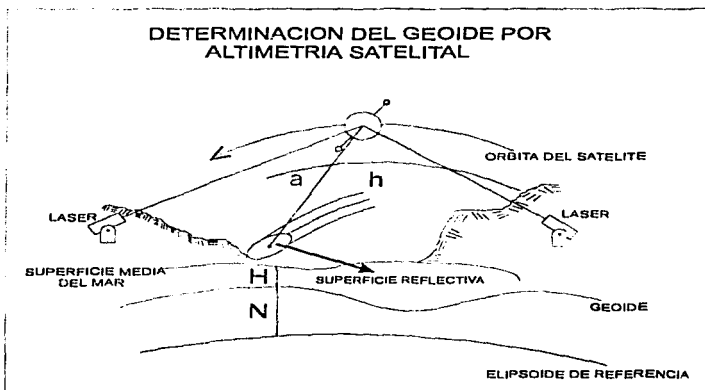
N: Es la altura Geoidal

h: Es la altitud del satélite sobre un elipsoide de referencia

a: Es la altitud del satélite sobre el nivel del mar

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La figura 9 que a continuación se muestra explica como el altímetro del radar puede ser utilizado para realizar un barrido de la superficie del geoide representado por la superficie del mar. Es por esta razón que la altimetría satelital es una poderosa herramienta para mapear la superficie del geoide escaneando la superficie del océano, utilizando con ello un período corto del tiempo y realizando la representación a detalle de la superficie del mar con una alta resolución en espacio y tiempo. (Journal of Geophysical Research, 1990)



Capítulo 4 El Geoide

4.2.4 Alturas determinadas con GPS

En este sentido la altura elipsoidal h dada por el GPS es un resultado puramente geométrico.

Las alturas ortométricas están relacionadas con el campo de gravedad, para la superficie de referencia que es el geoide. Si adoptamos la siguiente notación:[3]

$$h_1 = N_1 + H_1$$

$$h_2 = N_2 + H_2$$

$$\Delta H = H_2 - H_1$$

$$\Delta h = h_2 - h_1$$

$$\Delta N = N_2 - N_1$$

Haciendo la diferencia:

$$h_2 - h_1 = (N_2 + H_2) - (N_1 + H_1)$$

Tenemos:

$$\Delta h = (H_2 - H_1) + (N_2 - N_1)$$

$$\Delta h = \Delta H + \Delta N$$

O bien

$$\Delta H = \Delta h - \Delta N$$

h : Es la altura elipsoidal determinada con GPS

H : Es la altura ortométrica

N : Es la altura geoidal

Con esta información se pueden conocer las alturas ortométricas derivadas del GPS, siempre y cuando se conozca H_1 de partida y ΔN , este último derivado del modelo geopotencial. Sin embargo en México la determinación del geoide no es muy buena porque existen errores de 3 m, siendo una diferencia bastante mala. A continuación se puede observar la figura 10 que muestra el empleo de este método.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

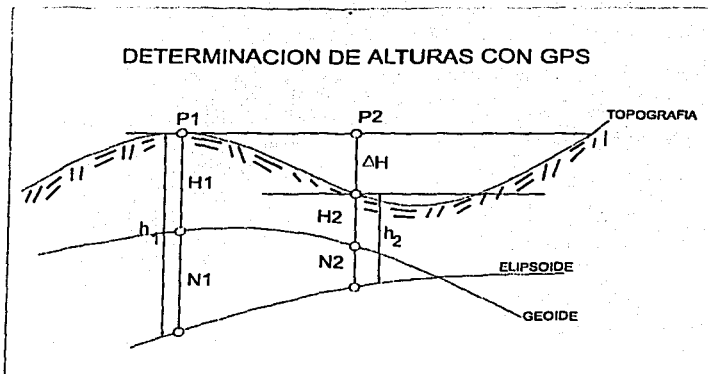


Fig.10 Determinación de Alturas con GPS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.3 EL REAJUSTE

La redefinición de la Red Geodésica Mexicana que se utilizó en este ejemplo, permitió observar la falta de información geodésica en gran parte del territorio de México, situación que limitó de cierta forma la redefinición de la Red Geodésica Horizontal. Esta falta de información al inicio de la prueba se debió a que se carece de un modelo geoidal en México y no permitió determinar de forma confiable las ondulaciones geoidales. Sin embargo el recurso utilizado con el GEM8 para determinar las ondulaciones geoidales es bastante aceptable (Ver la tabla 4), en donde estas no pasan de 5m, al igual que las componentes ξ y η en los resultados.

La prueba estadística utilizada para evaluar los datos terrestres antes de combinarlos con la información satelital es fundamental, porque la consistencia de las redes se debe de cuidar para evitar la introducción de errores provenientes de las observaciones hechas en campo. Por esta situación se dividió la información de la triangulación en 3 secciones. Esta razón es importante porque al verificar los errores en cada una de ellas da la posibilidad de que cumpla con la prueba estadística, y así eliminar observaciones que no garanticen resultados satisfactorios. Aquí los resultados obtenidos al analizar 1487 direcciones muestran que sólo 8 observaciones fueron rechazadas, situación que es bastante buena, porque estamos interpretando que menos del 1% de la información total no es confiable. Pero considerando que las direcciones no son hechas por una sola persona el resultado es aceptable.

Igualmente sucede con las distancias que en este ejemplo no se rechazó ninguna lo que nos indica que los procedimientos de campo se realizaron de forma correcta, mientras que los Azimutes se rechazaron dos de 6 posibilidades. Si analizamos a fondo esta situación de los 2 azimutes rechazados podríamos llegar a la conclusión de que es posible que las observaciones de campo no tengan la dirección correcta, por que los azimutes de la Red en este caso no pasaron la prueba estadística. Los métodos astronómicos tienen este inconveniente, porque la persona que lo realiza en ocasiones no aplica el método más apropiado o falla al momento de la observación además de otras circunstancias.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capitulo 4 El Reajuste

Como se mencionó anteriormente el objetivo primordial para esta prueba es la combinación de los datos satelitales y terrestres, porque de esta manera se obtienen las coordenadas de las estaciones terrestres tridimensionales. En la Tabla 7 se muestran los resultados de las 26 estaciones de la Red Geodésica Nacional con sus coordenadas curvilíneas, mientras que en la Tabla 8 ya están transformadas las coordenadas curvilíneas a coordenadas cartesianas tridimensionales y referidas al nuevo Datum.

Este método que se sigue para realizar una redefinición es muy utilizado hasta el momento, sólo que toda la información que se obtiene es demasiado grande y se requiere de espacio para mostrarla. Las herramientas computacionales poseen un espacio más amplio para poder mostrar todos los resultados y analizar cada uno de ellos, sin embargo solo se muestra este ejemplo para entender la labor de una redefinición.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO V

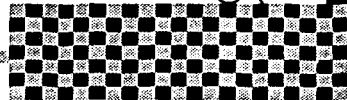
CONCLUSIONES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La vida no es ningún pasillo recto y fácil que recorremos libres y sin obstáculos, sino un laberinto de pasadizos, en el que tenemos que buscar nuestro camino, perdidos y confusos, detenidos, de vez en cuando, por un callejón sin salida.

Pero, si tenemos fe, siempre se abre una puerta ante nosotros; quizá no sea la que imaginamos, pero sí será, finalmente, la que demuestre ser buena para nosotros.

ROBERT BURNS





5.1 CONCLUSIONES

La necesidad de contar con información actualizada y de calidad para los trabajos de control horizontal en nuestro país, fueron algunas de las razones más importantes que se tomaron en cuenta para la redefinición de la Red Geodésica Horizontal, debido a la importancia que este control tiene para el apoyo de todos los trabajos geodésicos y topográficos, así como también de las ciencias geográficas que permiten realizar mapas de precisión.

La redefinición de la Red Geodésica Horizontal es un trabajo laborioso que se puede complicar tanto como uno quiera, pero se vuelve más cuando la disposición de la información no es de fácil acceso, o esta no representa el territorio al que se pretende realizar esta solución. En el caso de nuestro país se pudo notar que la escasez de información geodésica fue el tema central, porque en algunas partes del territorio no existía información. INEGI es la institución que debe hacer este trabajo. Sin embargo no ha resuelto este problema de la redefinición de la red terrestre basada en el NAD27

La adopción del ITRF92 como sistema de referencia traerá enormes beneficios, y mayor confianza en los trabajos de campo y de gabinete que se realizarán en un futuro, pero aún así, se tiene la interrogante de saber si con la información que se tenía a la mano antes de adoptar el ITRF92 era posible realizar esta redefinición, o solamente se establecieron las estaciones fijas de la Red Geodésica Nacional Activa. Pues como se menciona anteriormente se tiene noticia que el INEGI utiliza el programa llamado TRANINV para realizar la transformación de datos del NAD27 al ITRF92, pero da una solución a esta redefinición con una desviación estándar de $\pm 50m$ en las coordenadas de las estaciones. Que para fines cartográficos a escalas pequeñas (1:50 000) esta bien, pero para fines geodésicos no sirve. Con el uso del ITRF92 se espera entonces que la información se conserve, se analice, se densifique y lo más importante que se actualice, para evitar problemas posteriores.

El Marco de Referencia Geodésico ITRF92 tiene su elipsoide asociado GRS80 el cual permite establecer con el uso del GPS, la posición de un punto en coordenadas geodésicas. Sin embargo en la actualidad la mayoría de los usuarios están utilizando la alternativa basada en el WGS84, debido a que el sistema GPS se define en este. Esta es otra alternativa que puede ser utilizada de igual forma que el GRS80, para realizar

Capítulo 5 Conclusiones

trabajos de posicionamiento con equipo GPS. Sobre todo porque su uso ha venido a incrementarse, por su gran facilidad de manejo y tiempo de respuesta.

Con esto, la actividad operacional del uso del GPS ha dejado de lado la teoría básica de este y se ha incurrido en otros errores con respecto al uso de la altura obtenida con este sistema, que es puramente geométrica. Sin embargo se ha utilizado esta altura elipsoidal y no se ha considerado la altura ortométrica. Es importante tomar en cuenta esta recomendación debido a que en muchas ocasiones cuando se utiliza el GPS para determinar desniveles y pendientes, estos no son correctos, por que no se toma en cuenta la altura ortométrica que relaciona a la superficie física. Es por esta situación que se hace necesario poner atención a este problema.

En México la Geodesia no ha tenido mucha difusión como ciencia, sólo hasta este momento en que las necesidades de crear mapas e información geográfica actualizada y confiable, obligaron a adoptar el nuevo Marco de Referencia ITRF92 como apoyo al control Horizontal que se requirió en su momento. Pero el rezago de esta ciencia sigue ahí mismo porque las necesidades de México solo comprenden la actividad operacional, debido al fácil manejo del equipo de posicionamiento GPS.

La tendencia de nuestro país debería ser la búsqueda de nuevos métodos, o ampliación de los mismos para mejorar las condiciones de exploración, explotación, e inventario de los recursos naturales. Por esta razón considero que el Ingeniero Topógrafo y Geodesta egresado de nuestra Facultad de Ingeniería tendrá como obligación, el estar más en contacto con esta ciencia, debido al carácter de Geodestas que tenemos y que es necesaria para resolver los problemas que se presentan en la vida profesional.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



APENDICE Y REFERENCIAS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



66A



66A

APÉNDICE 1

A-1 El WGS84

Fue desarrollado por los Estados Unidos para el cálculo de orbitas satelitales tanto para el Sistema de Satélites de Navegación y para el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Este sistema es producto de una solución global y fue determinado a partir de datos satelitarios, además es considerado como uno de los más precisos que se haya calculado en los últimos tiempos además de que es utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Este sistema se define por cuatro parámetros que son el semieje mayor del elipsoide (a), la constante de gravitación (GM), el coeficiente de forma dinámica (C_{20}) y la velocidad angular de la Tierra (ω). A continuación se muestran los valores numéricos de los mismos:

Semieje Mayor	a	6 378 137m
Achatamiento	$1/f$	298.2525722
Velocidad Angular	ω	$7\ 292\ 115 \times 10^{11}$ rad/seg
Constante Gravitacional Geocéntrica	GM	$3\ 986\ 005 \times 10^8$ m ³ /seg ²
Factor Dinámico de la Tierra	C_{20}	$-484.16685 \times 10^{-6}$

Tabla 13 Parametros del WGS84

En consecuencia, el WGS84 esta definido dinámicamente, con el centro de masa terrestre coincidente con el centro geométrico del elipsoide, y es tridimensional.

Para el WGS84 y GRS80 las constantes son idénticas, y solo hay una diferencia mínima con el factor dinámico de forma C_{20} que es el segundo coeficiente zonal armónico, truncado a 8 cifras en lugar de la forma no normalizada J_2 del GRS80., por lo que para casi todas las aplicaciones tanto topográficas, cartográficas e incluso geodésicas ambos sistemas se pueden tomar como idénticos, porque las longitudes determinadas en cualquiera de ellos resultan idénticas, mientras que para las latitudes la diferencia máxima es de 0.00003 segundos de arco, equivalente a 0.1mm. Definidos teóricamente los dos sistemas se tienen que materializar en el terreno a través de una colección de puntos geodésicos con coordenadas. Esta colección de puntos se denomina Marco de Referencia Geodésico, y en función del tiempo puede tener pequeñas variaciones en su posición (El motivo es la deriva continental). Sin embargo es posible referenciar los trabajos en uno u otro sistema.

APENDICE 2

A-2 Aplicaciones

Sismología

El 14 de Septiembre de 1995 se registró un terremoto en el Sureste de México, y cercano al estado de Guerrero. Una red GPS colocada en 1992 por un grupo de investigadores de la UNAM, fue capaz de medir la deformación de la tierra. El desplazamiento medido con la estación GPS fue de 15cm.

El grupo de investigadores de la UNAM estuvo integrado por Oswaldo Sánchez, Gerardo Suárez, Marcos Guzmán, Dan Byrne y Ken Huchut (Estudiantes del Tecnológico de California). Ellos realizaron el levantamiento inicial en Abril de 1992 con equipo GPS. En la actualidad este grupo ha continuado con estas mediciones en el sureste de México utilizando receptores GPS Trimble 4000 SSE. Uno de estos receptores se encuentra estacionado en Acapulco, mientras otras estaciones son utilizadas para realizar observación y toma de datos. El uso constante de equipo GPS ha permitido detectar la deformación que ha sufrido la corteza terrestre en esta zona en especial, y con esto determinar también la dirección de dicho movimiento. La figura 11 indica la deformación que ha sufrido la región de la zona de Guerrero debido a terremotos.

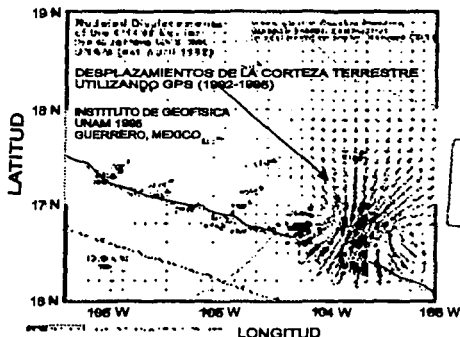
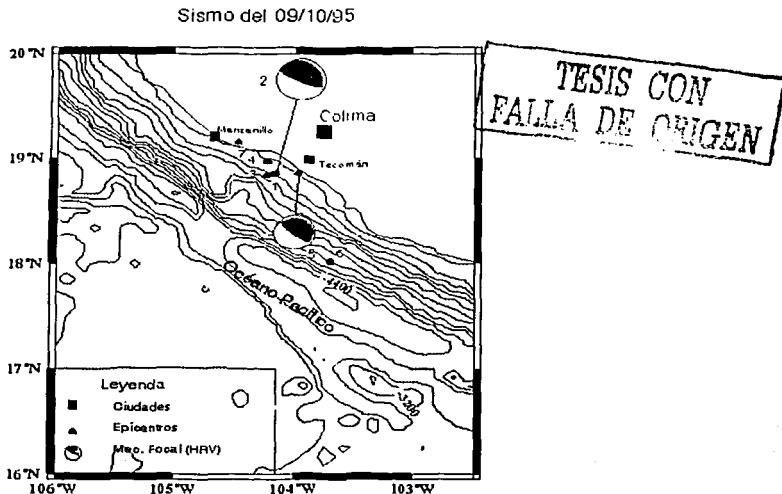


Fig. 11 Medición de deformaciones con GPS en Guerrero

Apéndice

La figura 12 ilustra la importancia que tiene el realizar la medida de sismos, en donde es importante conocer el epicentro y la magnitud de estos, para evitar pérdidas materiales y humanas.



En la actualidad el Instituto de Geofísica de la UNAM y el CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) han instrumentado este programa para seguir con las mediciones con GPS.

Deformación en volcanes

Como parte del programa de cooperación científica y técnica entre el GeoForschungsZentrum de Postdam, Alemania y el Instituto de Geofísica de la UNAM se

ha iniciado un proyecto interdisciplinario de investigación en el volcán Popocatepetl. Uno de los programas contemplan proyectos específicos en cuatro áreas principales, como es sismología volcánica, geoquímica, estudios con GPS y estudios de campos potenciales. En el programa se espera contribuir al conocimiento de la actividad eruptiva y características de los procesos internos en el volcán.

Uno de los proyectos de interés particular es lo referente a la deformación de los volcanes Popocatepetl, de Fuego en Colima y Ceboruco. En donde la primera parte se contempla estudiar al volcán Popocatepetl por medio de una red de estaciones GPS. Para esto se han instalado tres estaciones de GPS, las cuales ampliarán la red inicial instalada en el volcán, que consiste en este momento de dos estaciones GPS localizadas en los flancos sur y norte del complejo volcánico. La instalación de tres estaciones en los flancos este y oeste permitirá contar con una cobertura espacial mayor. En esta fase además se propone la realización de mediciones adicionales de gravimetría y GPS. Las dos estaciones GPS se instalarán como parte de una red de monitoreo y permitirá contar con información de período largo. La red actual de dos estaciones GPS del proyecto NASA-DOSE esta en operación desde mediados de 1996.

La idea fundamental de establecer una red de receptores GPS alrededor de un volcán, es porque se estará en posibilidad de detectar cambios, ya sea en su posición absoluta o en la distancia relativa de cada una de las estaciones GPS. Y de esta forma podemos saber si el volcán está sufriendo una "inflación" o una "deflación" en su superficie, aspectos que pueden estar relacionados con cambios de presión en la cámara magmática.

Estudio de glaciares

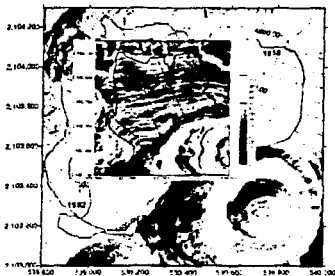
Los glaciares son masas de hielo que poseen un régimen por medio del cual ganan o pierden masa. Cuando las condiciones climáticas son favorables (suficiente precipitación y baja temperatura), los glaciares crecen. Sin embargo, si la precipitación es restringida y la temperatura promedio anual muestra incrementos, entonces los glaciares retroceden. Los glaciares de todo el mundo han mostrado tendencias generalizadas a retroceder. razón por la que se piensa que el clima del planeta se está modificando.

Apéndice

En México existen glaciares en las tres montañas más altas: Pico de Orizaba, Popocatepetl e Iztaccihuatl. El Estudio de los Glaciares Mexicanos es una herramienta para evaluar el impacto climático del fenómeno "El Niño", apoyado por el CONACYT y ha permitido conocer mejor los regímenes de fluctuación de los glaciares del Popocatepetl y sentar las bases del trabajo glaciológico en el Iztaccihuatl y Pico de Orizaba.

Los glaciares del Popocatepetl poseían un área de 0.559 km² en 1982, representando un volumen de hielo de al menos 30×10^9 m³. En el periodo 1996-1999, los glaciares del Popocatepetl sufrieron una pérdida de 0.12 km² (equivalente al 22 % del área inicial) resultando un retroceso de 0.045 km²/año, debido a cambios climáticos globales y locales, pero desde 1996 han sufrido cambios posiblemente atribuibles a la actividad eruptiva. Los trabajos glaciológicos realizados hasta el momento muestran que los procesos de pérdida de masa en los glaciares del Popocatepetl son muy dinámicos y por tanto, es de suma importancia darles seguimiento de forma continua. Además, es necesario llevar a cabo el mismo tipo de trabajos en el Pico de Orizaba e Iztaccihuatl, con el fin de estimar y separar el impacto que la actividad eruptiva tiene en el retroceso de los glaciares del Popocatepetl.

Para esto se tomaron fotografías aéreas de la cumbre y mediante restitución fotogramétrica se han realizado mapas procesados por computadora, con lo que se han desarrollado Modelos Digitales de Terreno (DEM). A continuación la figura 13 muestra los cambios que ha sufrido el Popocatepetl desde 1958 hasta 1999 utilizando fotografías aéreas.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 13 Cambios en los glaciares del Popocatepetl desde 1958 hasta 1999

Apéndice

Para esto fue necesario establecer puntos de control para la restitución fotogramétrica, mediante el uso de instrumentos de posicionamiento global (GPS).

Además, se llevó a cabo la instalación de testigos sobre glaciares piloto, para dar seguimiento a los movimientos de los glaciares. Para ello, se construyó una perforadora especial para hielo, con el fin de llevar a cabo la instalación de testigos. Estos estudios permitirán tener, por una parte, mejores modelos de elevación digital y por otra parte la medida de la velocidad de movimiento y tasas de acumulación de nieve. [13]

Establecimiento de una línea Base entre la Facultad de Ingeniería y la Universidad de Chapingo

Esta es otra de las aplicaciones de la Red Geodésica Nacional Activa que se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en colaboración con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), la Universidad de Chapingo y Leica Geosystems.

El objetivo fue establecer una línea base geodésica entre la Facultad de Ingeniería y la Universidad de Chapingo, utilizando para esto equipo GPS del INEGI y tomando como apoyo la estación de referencia que tiene Leica Geosystems. Todo este levantamiento se refirió al ITRF92 y a su elipsoide GRS80.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Referencias

REFERENCIAS

- [1] ARVIZU, D. R. "Toward the Redefinition of the Mexican Geodetic Network", Tesis Maestría, Departamento de Ingeniería Topográfica, Universidad de New Brunswick Fredericton, Canadá (1979)
- [2] ROBLES, A. VICTOR. "Determinación de alturas en función de la fuerza de gravedad" Congreso Internacional de Ingeniería Topográfica, San Luis Potosí, México (1998)
- [3] GUNTER, SEEBER. "Satellite Geodesy Foundations Methods and Applications", Walter de Gruyter Berlin-New York, Germany (1993)
- [4] VANICEK, P, E. KRAKIWSKY. "Geodesy: The Concepts", Segunda Edición. Elsevier, Netherlands (1996)
- [5] RUIZ, MORALES MARIO. "Manual de Geodesia y Topografía", Editorial Proyecto Sur de Ediciones S.A.L, España (1991)
- [6] RAMOS, GONZALEZ VICTOR. "Apuntes de la materia Geodesia Física", Facultad de Ingeniería, U.N.A.M, México (2002)
- [7] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). " La Red Geodésica Nacional Activa, El Cambio y sus Consecuencias", México (1994)
- [8] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). " Subred Geodésica Minera", Volumen 1,2,3,4,México(1994)
- [9] ARVIZU.D.R. "Sistemas de Coordenadas en Geodesia", Facultad de Ingeniería, UNAM, México (2002)
- [10] WOLFGANG, TORGE. "Geodesy", Segunda Edición. Walter de Gruyter, Berlín-New York, Germany (1991)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Referencias

R, SMITH JAMES. "Introduction to Geodesy", Primera Edición, Wiley-Interscience Publication, USA (1997)

VAN, SICKLE JAN. "GPS for Land Surveyor", Ann Arbor Press Inc. Chelsea, Michigan, USA (1996)

O, SCHMIDT MILTON, HORACE RAYNER WILLIAM. "Fundamentos de Topografía", Editorial Continental, México (1983)

E. J. KRAKIWSKY. "Sistemas de Coordenadas en Geodesia", Secretaría de Programación y Presupuesto, México (1978)

SOSA, TORRES RAFAEL. " Determinación del geoide a partir de datos Heterogéneos", Tesis de Maestría, Departamento de Ingeniería Topográfica, Universidad de New Brunswick Fredericton, Canadá (1978)

Las páginas de Internet:

[11] www.ineqi.gob.mx

[12] <http://lareq.ensq.ign.fr/ITRF/solutions.html>

<http://www.ineqi.gob.mx/territorio/espanol/normatividad/geodesia/08.html>

<http://schubert.ign.fr/CIAG/WITRF/ITRF-GPS.html>

[13] <http://tlacaelel.igeofcu.unam.mx/ramon/gps>

www.igeofcu.unam.mx