

El Modelo Gravimétrico Mundial EGM96 en la determinación de cotas ortométricas y su relación con las cotas geométricas de los pilares de nivelación de la Red Geodésica Nacional

Summary

The Earth Gravitational Model EGM96 consists of a 0.25 x 0.25-degree grid with values of Geoid Undulations (N) world-wide. These values can be determined for any point on the Earth that has coordinates in the WGS84 ellipsoid. When combining the ellipsoidal height (h) given by WGS84 with the geoidal undulation (N) of EGM96, the orthometric height (H) can be determined for the points in study, since: $H = h - N$

The importance and the reason of computing orthometric heights is to be able to relate them with the geometric height referred to the mean sea level used by our National Geodetic Network (RGN).

Mean sea level heights are those commonly used in all the engineering projects in our country. EGM96 was born to cover the requirements of the GPS users in order to determine elevation differences. This model was developed with data from all over the world, including classic and satellite data. After having the model, it has been tested in different parts of the world to prove their effectiveness and utility.

To date, in Chile it has not been carried out this type of study that is of great importance. To propose the model for its use, it cannot be taken into account only the results of tests carried out in North America or in Europe, where the density of the data, that those regions give for the development of the model, cannot be compared with the data given in Latin America and especially in our Country.

Since there are not specific studies on the EGM96 model in Chile, it is not known what it might happen in the determination of orthometric heights with the combined model WGS84 - EGM96 and their relationship with the levelling pillar heights of IGM (The Geographic Military Institute of Chile gives the official bench marks of our country). This is due to the distribution of masses East-West of our territory, that has a direct relationship with the orthometric height determination.

This project also considers traverse studies, tests of differential GPS levelling among pillars of the levelling lines, as well as the conservation condition of the same ones.

Resumen

El Modelo Gravimétrico Mundial EGM96 es una grilla de 0.25 grados a nivel mundial que entrega valores de Ondulación Geoidal (N). Estos valores pueden ser determinados para cualquier punto sobre superficie de la Tierra que tenga coordenadas en el sistema WGS84, al combinar la altura elipsoidal (h) entregada por WGS84 con la ondulación geoidal (N) de EGM96 se puede determinar la cota ortométrica (H) de los puntos en estudio, ya que: $H = h - N$

La importancia y el por qué tener cotas ortométricas, es para poder relacionarlas con las cotas geométricas referidas al nivel medio del mar de nuestra Red Geodésica Nacional.

Estas cotas son las usadas comúnmente en todos los proyectos de ingeniería en nuestro país. EGM96 nació para cubrir las necesidades de los usuarios de GPS en cuanto a diferencias de elevación se trata, el modelo se desarrolló con datos de todo el mundo tanto clásicos como satelitales. Luego de tener el modelo se han realizado pruebas en distintas partes del mundo para probar su eficacia y utilidad.

En Chile hasta ahora no se había realizado éste estudio que es de gran importancia, ya que para proponerlo para su uso no se puede tomar como parámetros los resultados de las pruebas realizadas en Norte América o en Europa donde la densidad de datos que esas regiones entregaron para el desarrollo del modelo no se pueden comparar con las entregadas en América Latina y especialmente en nuestro País.

En específico sobre EGM96 al no haberse desarrollado estudios en Chile no se sabía lo que sucede en la determinación de cotas ortométricas con el modelo combinado WGS84 - EGM96 y su relación con las cotas de los pilares de nivelación IGM (Instituto Geográfico Militar entrega los puntos de referencia oficiales de nuestro país), esto debido a la distribución de masas Este-Oeste de nuestro territorio lo que tiene una injerencia directa en la determinación de cotas ortométricas.

Este proyecto además considera estudios transversales, pruebas de nivelación diferencial GPS entre pilares de las líneas de nivelación, así como también el estado de conservación de las mismas.

Antecedentes

La tecnología GPS ya es un hecho en todo nuevo proyecto de ingeniería de gran envergadura en todo el mundo, y por supuesto también en Chile.

Introducir GPS en los proyectos ha resultado un tanto difícil, ya que en sus inicios existía reticencia hacia el sistema, pero luego de ver su gran precisión en el posicionamiento en dos dimensiones (latitud y longitud o norte y este) utilizándose para la determinación de movimientos tectónicos y control de deformaciones de grandes obras de ingeniería; su uso en sistemas bidimensionales es indiscutible.

Ahora bien, el gran problema que hasta el momento se mantiene es la determinación de la tercera componente del sistema “ la altura o cota.”

El sistema GPS entrega tres coordenadas, latitud γ , longitud λ y altura h donde: (h) es la altura elipsoidal; ésta es la altura medida desde el elipsoide hasta la superficie topográfica. Pero ésta tercera componente en el sistema geodésico clásico está referida al nivel medio del mar, la cual se relaciona por su mayor similitud con el concepto de cota ortométrica (H), que como es sabido, tiene una diferencia variable con la altura elipsoidal (h) en diferentes puntos de la Tierra; éstas se relacionan mediante el concepto de ondulación geoidal (N), así $h = N + H$. Esta diferencia variable puede ser determinada por medio de mediciones gravimétricas en cada uno de los puntos de estudio, lo cual resulta demasiado costoso de realizar, pero gracias a los avances tecnológicos este tipo de mediciones puede ser determinada en forma global por medio de satélites artificiales, creándose así modelos gravimétricos mundiales, siendo el último desarrollado el EGM96.

Planteamiento del problema

El cálculo de cotas GPS es hasta ahora poco preciso en Chile debido a la falta de modelos gravimétricos que representen en forma adecuada nuestra accidentada geografía. Se espera que esto sea solucionado por el Instituto Geográfico Militar IGM en los próximos años con el desarrollo de la red gravimétrica proyectada por este organismo.

Por el momento lo único que tenemos para alcanzar las mayores precisiones posibles es ajustar el EGM96 a nuestra realidad, ya que en teoría entrega diferencias máximas de ± 1 metro en la determinación de la ondulación geoidal (N), lo que junto con la red de nivelación IGM podría entregar precisiones cercanas al decímetro, o aún mejor

(con un debido ajuste), en la determinación de las cotas ortométricas y al nivel medio del mar (n.m.m).

Estado actual del problema

Hasta el momento la determinación de las cotas ortométricas y n.m.m en GPS, es realizada con modelos gravimétricos poco representativos a nivel mundial, pero este problema ya ha sido solucionado en parte con la aparición del EGM96, desarrollado por NIMA (National Imagery and Mapping Agency), OSU (Ohio State University), DoD (Department of Defense) y otros organismos, creando una grilla de 15' * 15' a nivel mundial de valores de N, lo cual mejora en forma notable lo existente, pero siempre se puede tener mejores resultados.

HISTORIA DE LA NIVELACIÓN EN CHILE

Los trabajos de nivelación geométrica del Instituto Geográfico Militar se inician en el año 1929 con la línea Cartagena-Santiago-Pelequén-Almahue. El punto de partida correspondió a una señal mareográfica, ubicada en la Playa Chica de Cartagena.

En 1931 se estableció un Punto Normal de Altitud en el Aéreo puerto de Los Cerrillos, el cual tiene como plano de referencia la escala mareográfica del Puerto de San Antonio.

Estas y todas las nivelaciones realizadas con posterioridad satisfacen las tolerancias del IPGH:

Para I Orden..... $4\text{mm} \sqrt{k}$

Para II Orden..... $6\text{mm} \sqrt{k}$

Para III Orden..... $8\text{mm} \sqrt{k}$

Siendo k el valor la distancia ida y vuelta en un tramo nivelado expresada en kilómetros.

Las líneas de nivelación incluidas en este estudio son de I Orden, todas ellas entrelazadas y referidas al Punto Normal de Altitud. Este punto fue renivelado en el año 1957, comenzando la nivelación en el mareógrafo de Valparaíso, haciendo cierre con San Antonio para la compensación correspondiente.

RECONOCIMIENTO DE LAS LÍNEAS DE NIVELACIÓN UTILIZADAS.

Descripción de Estados:

- Bueno** : El Pilar se encuentra en estado de ser utilizado aunque en muchos casos no se tenga la precisión a la décima de milímetro de la red, ya que se encuentran golpeados y/o deformados.
- No Visitado** : El Pilar no se visitó por seguridad personal o por falta de referencias para llegar al lugar.
- No Encontrado** : El pilar no se encontró por falta de referencias para llegar al lugar.
- Destruído** : El Pilar se encontró destruido por completo o sin la placa de identificación.

DETALLE POR LÍNEA DE NIVELACIÓN RECONOCIDA:

Línea 8E San Bernardo-Baños Morales

Total de Pilares 67

Buenos	No Visitados	No Encontrados	Destruídos
5	4	57	1

Observaciones: La Línea data de 1958. En ese entonces según las descripciones de las monografías gran parte del camino recorrido por la línea era de tierra, además muchos puntos están referidos a la Línea Férrea que no existe desde hace décadas. La baja densidad de puntos encontrados se puede explicar por la pavimentación de los sectores y el ensanche de los que ya lo estaban, así como el retiro de la línea férrea y ensanche del camino de tierra desde El Volcán hacia Baños Morales para el tránsito de camiones, con una fecha posterior a 1958 según referencias de lugareños, además se debe agregar a todo esto, constantes aluviones que se pueden apreciar a lo largo de todo el recorrido cordillerano.

Línea 14E Polígono Periférico Gran Santiago

Total de Pilares 48

Buenos	No Visitados	No Encontrados	Destruídos
12	10	0	26

Observaciones: La Línea data de 1975. Desde entonces a la fecha la ciudad ha crecido tanto en extensión como en parque vehicular lo que requiere ampliación de calles y avenidas. Esto por la ubicación de los pilares ha provocado su destrucción en gran parte de los casos, y que muchos de los que están en buen estado estén en peligro de destrucción. Estas mismas observaciones son aplicables para las Líneas 15E Avenida Matucana - Cerro Calán y 17E El Salto – La Florida

Línea 15E Avenida Matucana - Cerro Calán

Total de Pilares 16

Buenos	No Visitados	No Encontrados	Destruídos
7	0	0	9

Línea 16E Manuel Rodríguez – Peaje Angostura

Total de Pilares 45

Buenos	No Visitados	No Encontrados	Destruídos
12	0	1	32

Observaciones: La línea data de 1975. Al encontrarse la mayoría de los puntos en la carretera Panamericana o Ruta 5 Sur, muchos han sido destruidos por modificaciones y ampliaciones de la ruta (ensanches, cambio de puentes y alcantarillas). El futuro de los puntos en buen estado no es promisorio ya que en estos momentos se están realizando las modificaciones para licitar la ruta, que también contempla un nuevo acceso sur a Santiago.

Línea 17E El Salto – La Florida

Total de Pilares 17

Buenos	No Visitados	No Encontrados	Destruídos
5	0	0	12

También se realizó el reconocimiento de la línea de nivelación **19E Santiago-Valparaíso**. El detalle de esta línea no se entrega, ya que a la fecha el Instituto Geográfico Militar se encuentra realizando tareas de remediación para recuperarla, sin embargo, los pilares encontrados en el reconocimiento aún tienen carácter de oficial, por lo que son válidos para este proyecto, así como también para cualquier otro desarrollado en la zona.

Para la reconstrucción y conservación de las líneas de nivelación es muy importante que se divulgue la información, acerca de que es un pilar de nivelación y para que sirve, a través de los Atlas del Instituto Geográfico Militar, ya que educando a los niños al respecto,

éstos lo haran con sus padres, y así tendremos menos pilares destruidos al estar los ciudadanos informados de lo importantes que son para el País estas marcas de referencia.

EL GEOIDE WGS84 - EGM96

Generalidades

En aplicaciones geodésicas se utilizan principalmente tres superficies de referencia de la Tierra: 1) la superficie topográfica de la Tierra, 2) la superficie geométrica tomada de un elipsoide de revolución, y 3) el geoide.

Cuando el potencial de gravedad (W) es una contante, define una familia de superficies equipotenciales (geops) del campo gravitacional de la Tierra. El geoide es aquel geop particular que está íntimamente asociado a la superficie del nivel medio del mar.

Tradicionalmente, cuando el geoide es desarrollado, la constante (W), representa el potencial en cualquier parte de esta superficie, se conviene o asume igual al potencial normal (U_0) de un elipsoide mejor ajustado. A través de este trabajo de refinamiento, a veces los autores reconocen que el elipsoide WGS84 no representa un verdadero elipsoide mejor ajustado. Las diferencias entre el semi-eje mayor del WGS84 y el correcto elipsoide mejor ajustado, tiene un valor de 0,54 m. En términos del geoide este efecto es manejable a través de aplicaciones de una ondulación (N_0) “orden cero” del geoide. Con esta aproximación, el elipsoide WGS84 puede ser retenido sin introducir errores adicionales por no usar el elipsoide mejor ajustado.

En la práctica común el geoide es expresado dando puntos en términos de distancia, sobre (+N) o bajo (-N) el elipsoide. Por razones prácticas el geoide ha sido usado y definido como una superficie de referencia vertical, por alturas al nivel medio del mar. En áreas donde los datos de elevación no están disponibles para al nivelación convencional,

una aproximación de alturas al nivel medio del mar, es usar alturas ortométricas, que pueden ser obtenidas de la siguiente ecuación.

$$h = H + N$$

$$H = h - N$$

Donde :

h = altura o cota elipsoidal

N = ondulación geoidal

H = altura o cota ortométrica

Alternativamente algunos países reemplazan las alturas ortométricas con alturas normales y ondulaciones geoidales con alturas de anomalías. Este uso de alturas de anomalías elimina la diferencia de densidad de masa entre el geoide y la superficie topográfica. Por lo tanto la ecuación anterior se puede re-formular como:

$$h = H + N = H^* + \zeta$$

donde

H^* = altura normal

ζ = altura de anomalía

Fórmulas, representación y análisis

Una significativa depuración desde prácticas pasadas ha sido la implementación para determinar alturas geoidales. Las ondulaciones geoidales WGS84EGM96 están basadas en alturas de anomalías calculadas desde el WGS84EGM96 coeficientes esféricos armónicos completos de grado y orden 360. Para transformar desde anomalías de alturas a ondulaciones geoidales, el término de grado cero es $-0,53$ metros, y los coeficientes de

corrección de WGS84EGM96 a través de orden y grado 360, son aplicados. El valor de -0,53 metros está basado en la diferencia entre un elipsoide “ideal” de la Tierra en un sistema de mareas libres y el elipsoide WGS84. El elipsoide ideal fue definido por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG). El elipsoide ideal de la Tierra, en un sistema de mareas libres, está definido por:

$$a = 6738136,46 \text{ metros} \quad \text{y} \quad 1/f = 298,25765.$$

Fórmulas utilizadas

La fórmula para calcular las ondulaciones geoidales WGS84EGM96 parte con el cálculo de la anomalía de altura ζ

$$\zeta(\phi, \lambda, r) = \frac{GM}{\gamma(\phi)r} \left[\sum_{n=2}^m \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n \left(\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda \right) \bar{P}_{nm}(\sin \phi) \right]$$

Donde : $\bar{C}_{nm}$ y $\bar{S}_{nm}$ son la completa normalización de los coeficientes de potencial de grado n y orden m desde EGM96. En la ecuación es evaluada en un punto P(ϕ, λ, r) en o sobre la superficie de la Tierra.

GM = Constante gravitacional de la Tierra

r = Distancia geocéntrica al punto P

a = Semi-eje mayor del elipsoide de referencia.

ϕ = Latitud Geocéntrica.

Para calcular la ondulación geoidal N (en metros) se usa la fórmula:

$$N(\phi, \lambda) = N_0 + \zeta(\phi, \lambda, r) + \frac{\Delta g_{BA}(\phi, \lambda)}{\gamma} H(\phi, \lambda)$$

donde:

$N_0 = -0,53$ metros (término de grado cero)

y los parámetros para calcular la corrección y los términos tratados son:

$\Delta g_{BA}(\varphi, \lambda)$ = Anomalía de gravedad de Bouger desde EGM'96

$\bar{\gamma}$ = Valor medio de la gravedad normal

$H(\varphi, \lambda)$ = Definido desde análisis armónico de base de datos de alturas de JGP95E

(proyecto conjunto de gravedad 1995)

Las anomalías de Bouger pueden ser calculadas desde el set esférico armónico de EGM96 y el análisis armónico de bases de datos de elevación del JGP95E. EGP95E es el archivo de elevación digital para todo el mundo a 5', desarrollado por NIMA y NASA/GSFC desde las mejores fuentes disponibles del proyecto EGM96.

$$\Delta g_{BA}(\varphi, \lambda) = \Delta g_{FA}(\varphi, \lambda) - 0,1119 * H(\varphi, \lambda)$$

donde:

$\Delta g_{FA}(\varphi, \lambda)$ = Anomalía de gravedad de aire libre desde EGM96

Sistemas permanentes de mareas

En el cálculo de ondulaciones geoidales del modelo geopotencial EGM96 el coeficiente del segundo grado zonal esta dado por el sistema de marea libre. La definición de marea libre dice que cualquier ondulación geoidal calculada desde EGM96 existe para una marea libre de la Tierra sin todos los efectos (directos e indirectos) del Sol y la Luna.

Otros geoides a considerar son el geoide medio (geoide que podría existir en la presencia del Sol y la Luna) y el geoide cero (geoide que existe si los efectos directos permanentes del Sol y la Luna son removidos, pero los efectos indirectos relacionados con la deformación elástica de la Tierra se mantienen).

Para calcular el geoide en el sistema de marea cero se usa la fórmula:

$$N_z = N_n + 2,97 - 8,88 \sin^2 \phi \text{ cm}$$

donde:

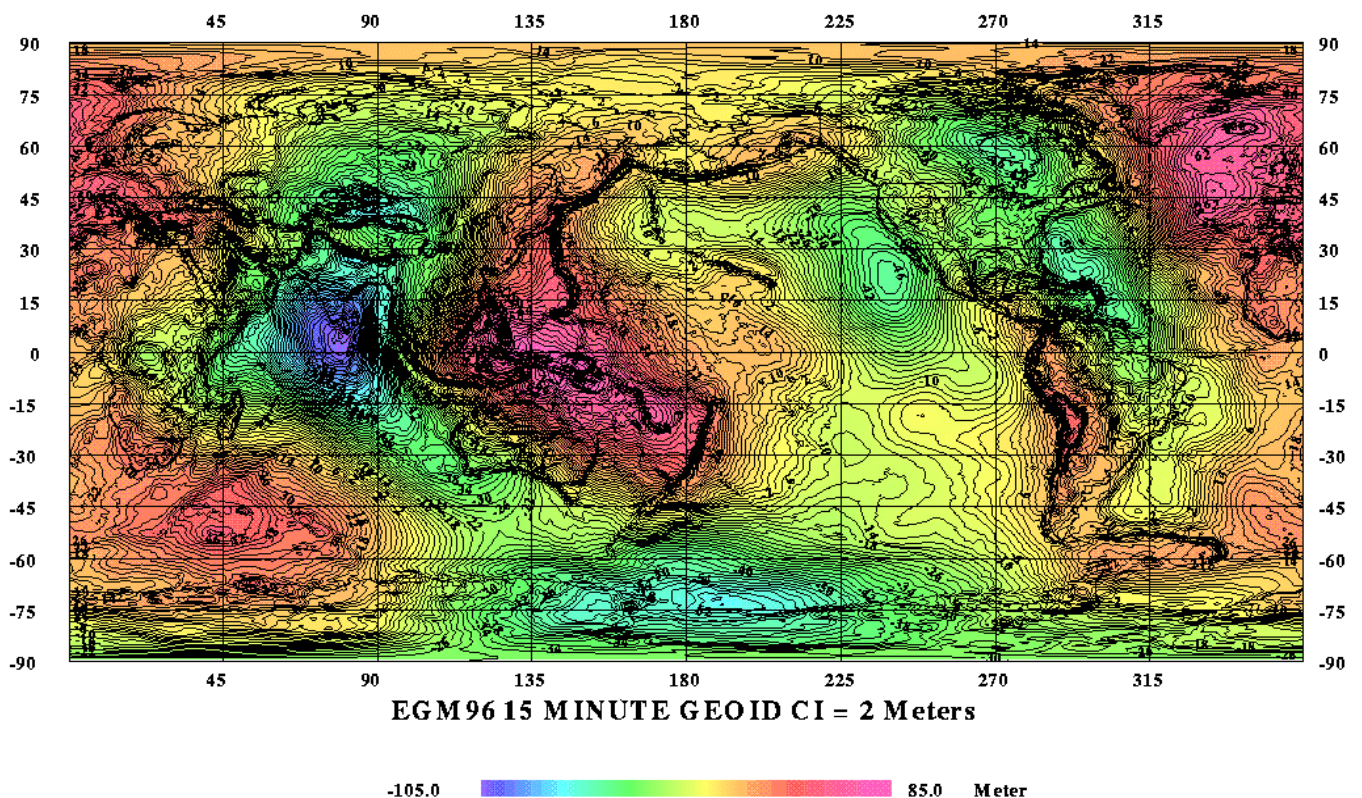
N_z = geoide marea cero

N_n = geoide marea libre

Representación y análisis

Las ondulaciones geoidales pueden ser representadas como un contorno en mapas que muestren las desviaciones del geoide desde el elipsoide seleccionado como la superficie matemática de la Tierra. La siguiente figura es el mapa mundial WGS84 EGM96 de contornos de ondulaciones geoidales desarrollado desde una grilla de todo el planeta de 15' * 15' de ondulaciones geoidales calculadas usando los parámetros WGS84 y los coeficientes WGS84EGM96 con $n=m=360$ en la ecuación:

$$N(\phi, \lambda) = N_0 + \zeta(\phi, \lambda, r) + \frac{\Delta g_{BA}(\phi, \lambda)}{\gamma} H(\phi, \lambda)$$



Las ondulaciones geoidales WGS84EGM96 toman todo el mundo en base de una grilla de 15'x15', mostrando las siguientes estadísticas:

Promedio	=	-0,57 metros
Desviación estándar	=	30,56 metros
Mínimo	=	-106,99 metros
Máximo	=	85,39 metros
Ubicación de Mínimo:	$\phi = 4,75^\circ \text{ N}, \lambda = 78,75^\circ \text{ E}$	
Máximo:	$\phi = 8,25^\circ \text{ S}, \lambda = 147,25^\circ \text{ E}$	

Esta desviación estándar indica la diferencia típica entre el geoide y el elipsoide de referencia.

Las ondulaciones geoidales WGS84EGM96 tienen un rango de error de $\pm 0,5$ a $\pm 1,0$ metros para todo el mundo.

¿ CÓMO OBTENER LA ONDULACIÓN GEOIDAL EGM96 ?

Se puede obtener de tres formas:

1. Mediante los softwares de procesamiento GPS, seleccionando en modelos geoidales EGM96, el programa le entregará la cota ortométrica calculada, la ondulación geoidal además de la altura elipsoidal y las coordenadas.
2. También se puede realizar el cálculo en línea vía Internet, donde se ingresan las tres coordenadas del punto y el programa entrega la ondulación y la cota ortométrica calculada.

3. Por último si se tiene un set de coordenadas y se desea conocer la ondulación de todas ellas al mismo tiempo, se deben bajar de Internet los programas que permiten realizar estos cálculos. La dirección es la siguiente:

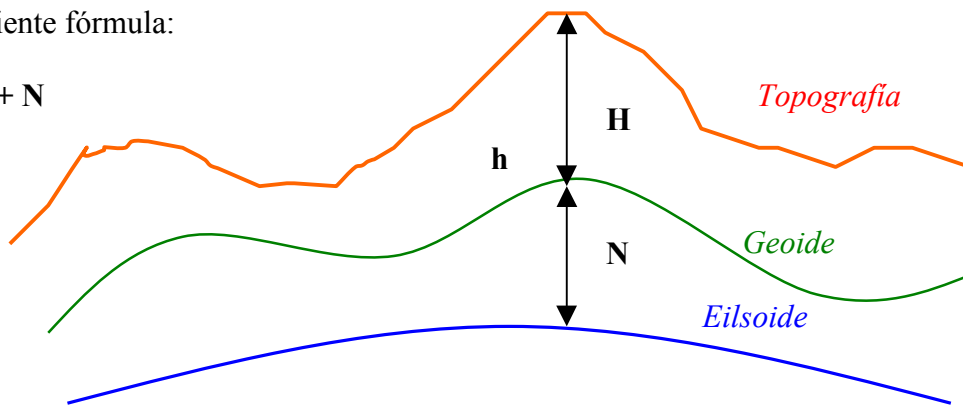
<http://164.214.2.59/GandG/wgs-84/egm96.html>

Desde esta dirección se tiene acceso a todo lo relativo al EGM96. Antes de ingresar valores o bajar los programas de cálculo de ondulación debe leer atentamente el archivo **README File** el cual le indicará paso por paso como determinar la ondulación geoidal de las coordenadas deseadas.

¿ PARA QUÉ OBTENER LA ONDULACIÓN GEOIDAL ?

La ondulación geoidal se define como la diferencia de altura existente entre el geoide y el elipsoide, además se relaciona con el concepto de altura elipsoidal por medio de la siguiente fórmula:

$$h = H + N$$



Mediante esta fórmula de relación se puede determinar la cota ortométrica (H) la cual representa la altura de un punto en la superficie de la Tierra respecto de una superficie equipotencial del campo de gravedad, esta superficie de referencia es el geoide, el cual también se define como la prolongación imaginaria de los océanos en los continentes. Es así como nace y se relaciona el término de alturas sobre el nivel medio del mar utilizado en nuestras nivelaciones geométricas. Entonces podríamos decir que, EGM96 nos permite

relacionar nuestras alturas o cotas sobre el nivel medio del mar con las alturas elipsoidales determinadas por GPS.

VENTAJAS DE MANEJAR EL VALOR DE H EN FORMA ABSOLUTA

El principal beneficio de manejar los valores de H en forma absoluta es lograr densificación de redes de nivelación en tramos extensos para el desarrollo de proyectos de ingeniería o minería que se encasillen dentro de las precisiones entregadas por el estudio, por ejemplo en el Manual de Carreteras se entrega una tolerancia para una nivelación geométrica corriente de $2\sqrt{k}$ cm, siendo k la distancia en kilómetros de ida y regreso, así en una distancia de 50 Km. la tolerancia sería:

$$T = 2\sqrt{(50+50)} \text{ cm}$$

$$T = 20 \text{ cm}$$

Estos valores podrían ser alcanzables por EGM96 después del estudio que determine su correlación con las cotas de los pilares de nivelación IGM.

EGM96 EN EL MUNDO

EGM96 ofrece precisiones a nivel Mundial de ± 0.5 a ± 1.0 metros, sin embargo sus precisiones son muy variables alrededor del mundo, a continuación se muestra sus tablas de comparación entre alturas determinadas por nivelación clásica y mediciones GPS, además de su comparación con el modelo anterior OSU91A. Las tablas que a continuación se presentan, entregan las precisiones alcanzadas por EGM96, en los sectores mencionados, tras las pruebas de nivelación GPS realizadas por Goddard Space Flight Center (GSFC), los valores son expresados en centímetros.

**PRUEBA DE NIVELACIÓN/GPS
GSFC**

MODELO	USA			CANADA		
	Mínimo	Desv. Stand.	N° Puntos	Mínimo	Desv. Stand.	N° Puntos
OSU91A	-94,96	56,15	1889	-23,57	94,71	297
EGM96	-104,86	52,59	1889	-21,92	51,56	298

**PRUEBA DE NIVELACIÓN/GPS
GSFC**

ÁREA	EUROPA		CANADA		AUSTRALIA	
N° Puntos	60		63		38	
MODELO	Mínimo	Desv. Stand.	Mínimo	Desv. Stand.	Mínimo	Desv. Stand.
OSU91A	13,38	46,64	23,59	27,75	-55,35	25,55
EGM96	7,8	31,57	30,77	27,35	-79,5	27,95

Ahora el desafío es saber qué pasa en nuestro País, si las precisiones alcanzadas en Chile fueran cercanas a las entregadas en la última tabla, sin lugar a dudas tendríamos un excelente Modelo Gravimétrico que nos represente nuestra realidad.

Para saber como trabaja el modelo en nuestro País es preciso realizar las pruebas de nivelación versus Mediciones GPS. Este trabajo es muy extenso de realizar, ya que implica campañas de reconocimiento, medición y posteriormente proceso y análisis de la información, a todo esto se le debe agregar el valor económico del trabajo el que es muy difícil de cubrir debido al estado de la ciencia e investigación en nuestro País.

EGM96 EN CHILE

El presente trabajo pretende mostrar lo que sucede en la zona central de nuestro País, definida por: 33° a 34° de latitud Sur y 70° a 72° de longitud Oeste.

Mostrar lo que sucede con los Pilares de Nivelación de la Red Geodésica Nacional, es el principal objetivo del estudio, pero también la Red Geodésica Nacional cuenta con Puntos Trigonométricos que tienen coordenadas y cotas geodésicas, a continuación se muestra una tabla con 25 Trigonométricos que entrega los valores alcanzados por las diferencias entre las cotas IGM y las cotas definidas por el EGM96.

TRIGONOMÉTRICOS nmm*. VERSUS GPS EGM96

*(nivel medio del mar)

Los valores son truncados por razones de seguridad, pero se encuentran a la venta en el Instituto Geográfico Militar

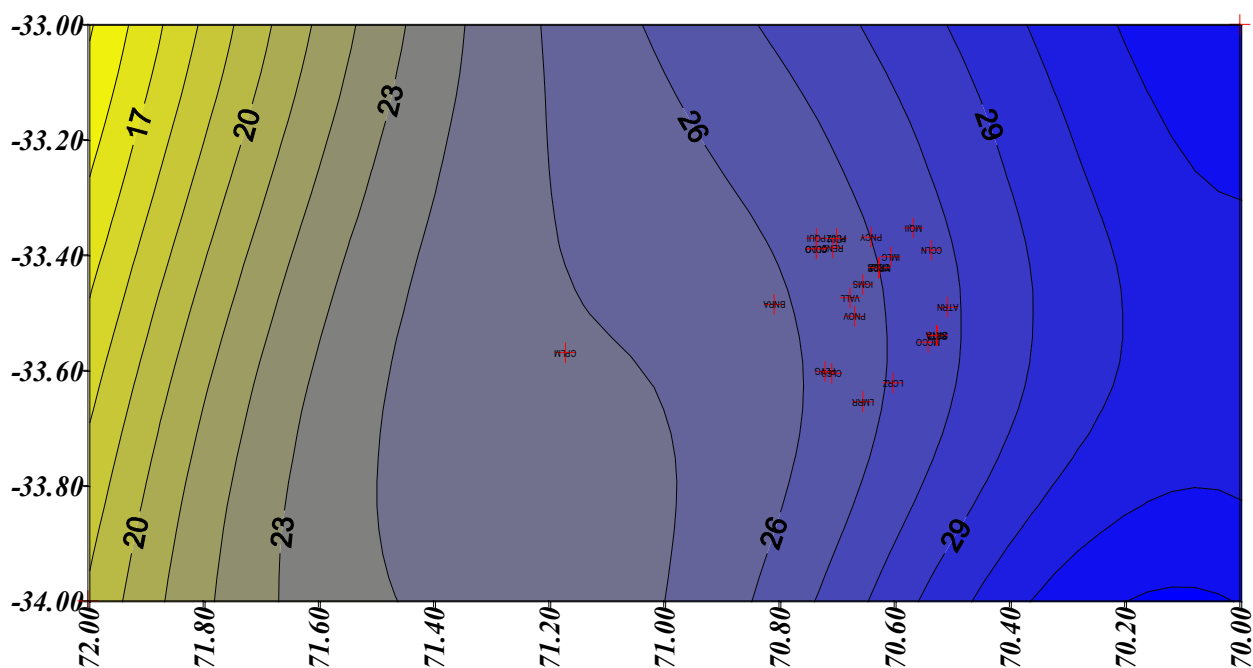
Punto	Latitud	Longitud	h elip.	Hort. EGM96	Ondulación	Hnmm	Hnmm - Hort.
ATRN	33,294468	70,304442	1085	1058	28	1057	-0,97
CCLN	33,235055	70,321240	903	875	28	875	-0,68
HTIN	33,222979	70,420050	593	566	27	566	-0,47
MQII	33,211985	70,340037	1347	1319	28	1319	-0,83
STRS	33,323678	70,314944	1121	1094	28	1093	-0,25
VALL	33,284701	70,405953	564	537	27	537	-0,31
BNRA	33,291468	70,485014	704	678	26	677	-0,93
CLDO	33,233551	70,441167	747	721	26	720	-0,57
PLUZ	33,222739	70,420182	592	566	27	565	-0,43
PQUI	33,222541	70,441210	589	563	27	562	-0,67
REN2	33,232626	70,423986	930	903	27	903	-0,60
COLO	33,233550	70,441167	748	721	26	720	-0,79
ECLA	33,253122	70,375984	889	862	27	861	-0,50
IMLC	33,241987	70,363558	826	799	27	799	-0,41
MRDR	33,253576	70,375917	850	823	27	823	-0,44
TRRZ	33,253153	70,375967	887	860	27	859	-0,51
IGMS	33,270567	70,392861	607	580	27	580	-0,67
LMRR	33,392825	70,392713	657	631	27	630	-0,17
MCCO	33,330830	70,324851	816	788	28	788	-0,52
RSTA	33,324030	70,315708	1076	1048	28	1047	-0,54
SRTA	33,323809	70,315670	1085	1057	28	1056	-0,60
CLSB	33,363168	70,425266	634	608	26	607	-0,37
CPLM	33,341583	70,702593	633	606	27	606	-0,03
LCRZ	33,373168	70,361230	764	736	27	736	-0,08
PLVG	33,361321	70,432056	688	662	26	661	-0,57
PNCY	33,221467	70,384436	605	577	27	577	-0,19
PNOV	33,303882	70,401531	575	548	27	548	-0,39

Estadísticas de la comparación.

Promedio	-0,50
Dest.	0,24
Max.	-0,97
Min.	-0,03

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS TRIGONOMÉTRICOS SOBRE EL MAPA DE ONDULACIÓN GEOIDAL EGM96 PARA LA ZONA

LATITUD 33° A 34° SUR – LONGITUD 70° A 72° OESTE



El comportamiento del modelo respecto de los Trigonómicos, así como también el de los Pilares de Nivelación será entregado en extenso durante la exposición en el Congreso, además de poner en línea el estudio en Internet.

A continuación se muestran los mapas de distribución de los Pilares de Nivelación en la zona, además del mapa de Pilares + Trigonométricos, los que muestran una visión de la cobertura del estudio.

GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS PILARES DE NIVELACIÓN SOBRE EL MAPA DE ONDULACIÓN GEOIDAL EGM96 PARA LA ZONA

LATITUD 33° A 34° SUR – LONGITUD 70° A 72° OESTE

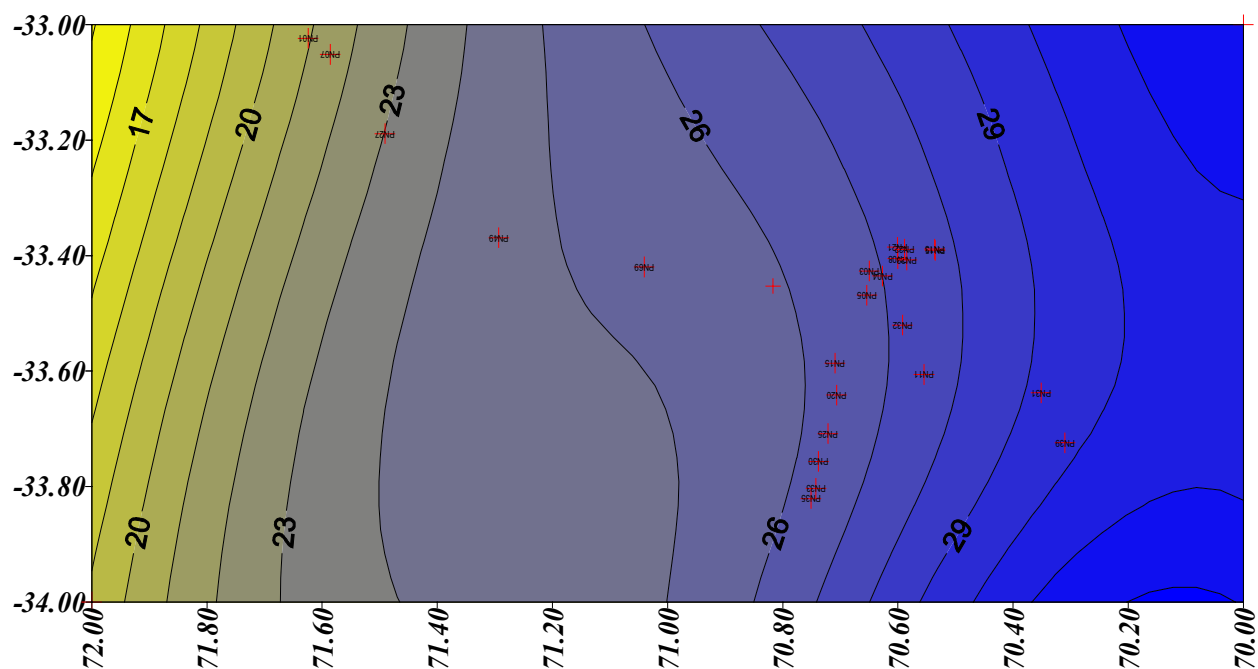
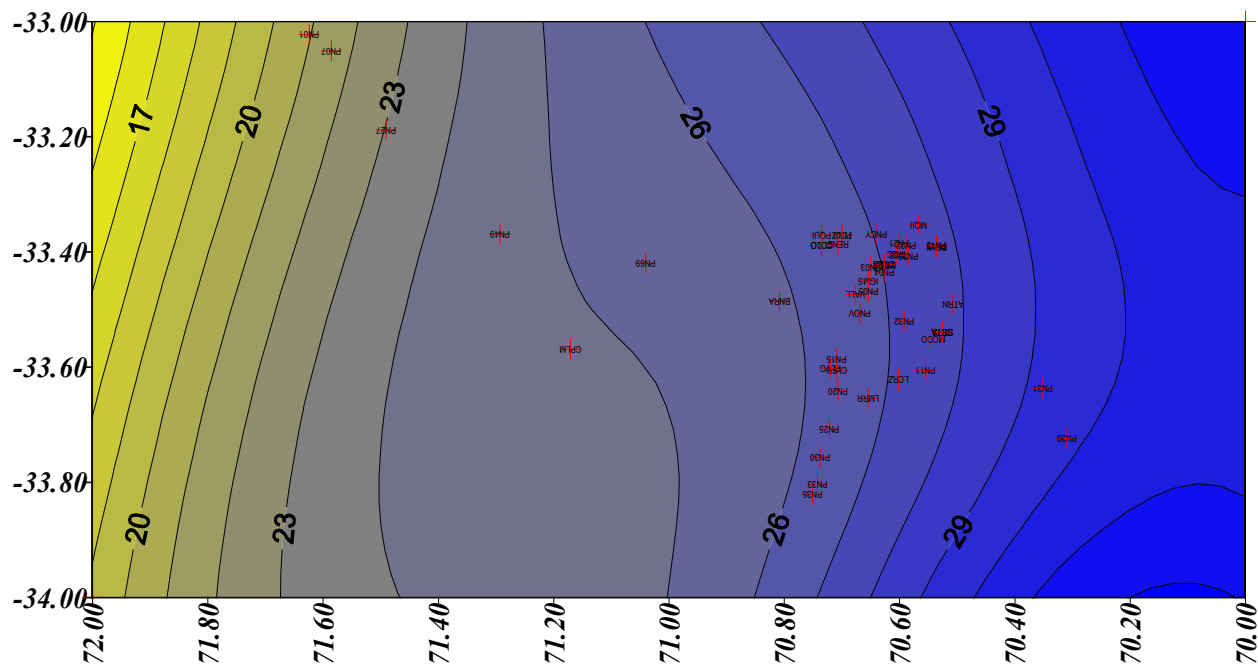


GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS TRIGONOMÉTRICOS + PILARES DE NIVELACIÓN SOBRE EL MAPA DE ONDULACIÓN GEOIDAL EGM96 PARA LA ZONA

LATITUD 33° A 34° SUR – LONGITUD 70° A 72° OESTE



BIBLIOGRAFÍA

Geodesia Física Weikko A. Heiskanen – Helmut Moritz

Instituto Geográfico Nacional, Instituto de Astronomía y Geodesia
Madrid, España 1985.

Geodesia y Cartografía Matemática Fernando Martín Asín

Univesidad Politécnica de Madrid, Instituto Geográfico Nacional
Madrid, 1983.

La Nueva Era de la Topografía Alonso Nuñez García del Pozo

José Luis Valbuena Durán – Jesús Velasco Gómez

Ediciones Ciencias de laTierra S.A 1992, Madrid España.

Manual de Carreteras Volumen II Ministerio de Obras Públicas, Chile 1983

Anuarios 8-9-10-11 del Instituto Geográfico Militar de Chile

Technical Report NIMA TR8350.2 Third Edition 4 July 1997

Disponible en la página de NIMA en Internet.

**The Development of the Joint NASA GSFC and National Imagery and Mapping
Agency (NIMA) Geopotencial Model EGM96 Goddard Space Flight Center July
1998**

Curriculum

Alfredo Antonio Yáñez Yáñez Ingeniero Geomensor de la Universidad de Santiago de Chile egresado en el año 1998, alumno ayudante de las asignaturas de Topografía I, Topografía II y Ajuste Geodésico durante los años de permanencia en la Universidad. En 1998 Director de Gestión del Centro de Extensión y Desarrollo de Estudiantes de Geomensura USACH (CEDEG), realizándose durante el periodo la Primera Exposición de Softwares y Equipos Geodésicos EXPOGEO'98. Práctica realizada en obras camineras para el Ministerio de Obras Públicas en 1997, en 1999 práctica en el Servicio Aéreo Fotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile SAF, pasando por todos los departamentos de este organismo para conocer su funcionamiento paso por paso. Durante el segundo semestre del mismo año también se realiza práctica en el Departamento de Cálculo del Instituto Geográfico Militar, participando de la Campaña SAGA 1999 de mediciones GPS para control de deformaciones tectónicas entre la Primera y Segunda Regiones de Chile, Además desarrolla el estudio teórico de EGM96 que concluyó con las tareas que hicieron posible el artículo “El Modelo Gravimétrico Mundial EGM96 en la determinación de cotas ortométricas y su relación con las cotas geométricas de los pilares de nivelación de la Red Geodésica Nacional.”