

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**FORMULACION DE DATOS CARTOGRAFICOS NECESARIOS PARA LA  
CONSTRUCCION DEL GEOIDE EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:  
MIGUEL ANGEL CAÑAS MELENDEZ

PARA OPTAR AL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DEL 2005

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

Dra Maria Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :

Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIO :

Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

Ing. Luís Rodolfo Nosiglia Durán

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
INGENIERO CIVIL

Título :  
FORMULACION DE DATOS CARTOGRAFICOS NECESARIOS PARA LA  
CONSTRUCCION DEL GEOIDE EN EL SALVADOR

Presentado por :  
Miguel Ángel Cañas Meléndez

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :  
Ing. Jorge Oswaldo Rivera Flores

Docente Director :  
Ing. José Roberto Ramírez

San Salvador, Junio 2005

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes Directores:

Ing. Jorge Oswaldo Rivera Flores

Ing. José Roberto Ramírez

DOCENTES DIRECTORES:

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

ING. JOSE ROBERTO RAMIREZ (EXTERNO)

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DEL 2005

## **AGRADECIMIENTOS**

**GRACIAS A DIOS TODOPODEROSO QUE ES MI FUERZA Y SABIDURIA QUE NO ME DESAMPARA, Y A SU MADRE MARIA QUE ES PARTE IMPORTANTE EN MI VIDA.**

**A MIS PADRES:**

**POR HABERME APOYADO EN TODO MOMENTO EN ESTA Y OTRAS ACTIVIDADES DE MI VIDA, Y CON ESTE LOGRO ESPERO SEGUIR TODA MI EXISTENCIA CUMPLIENDO EL CUARTO MANDAMIENTO DE LA LEY DE DIOS “HONRARAS A TU PADRE Y A TU MADRE”, CON TODO MI AMOR GRACIAS**

**A MIS ABUELOS:**

**POR TODO EL AMOR Y LA FE QUE SIEMPRE TUVIERON DE ESTE MOMENTO Y POR SUS ORACIONES, GRACIAS MAMÁ MEMA, PAPA CHAMBA (DGR), MAMÁ CHAVE (DGR), PAPA TIN (DGR).**

**A MI HERMANO:**

**GRACIAS POR SU FE EN MI, Y SU PRESENCIA COMO EJEMPLO DEL ESFUERZO DE LO QUE SE TIENE QUE HACER PARA LOGRAR ESTE ÉXITO ACADEMICO.**

**A MI ESPOSA:**

**POR HABERME APOYADO A TERMINAR ESTE PROYECTO QUE TENIA INCONCLUSO EN MI VIDA, Y CON ESTO LE DEMUESTRO A MIS FUTUROS HIJOS QUE LOS LOGROS DEPENDEN DE LA VOLUNTAD CON QUE SE REALICEN, DEMOSTRANDO QUE EL CORDON DE TRES DOBLECES NO SE ROMPE PRONTO.**

**A MI DEMAS FAMILIA:**

**MIS TIOS, PRIMOS, FAMILIA POLITICA, Y EN UNA MENCION ESPECIAL A MI SOBRINITA FABIOLA QUE A LA MITAD DEL DIA ME HACE SENTIR, QUE HAY ESPERANZA EN ESTA TIERRA.**

**A MIS AMIGOS:**

**JORGE OSWALDO, MANUEL, TITO, EDGAR GAVI, JOAQUIN SERRANO, MARIO NIETO, RANULFO CARCAMO, Y TODOS LOS QUE ME APOYARON EN FORMA SINCERA EN ESTE PROYECTO.**

## INDICE

### CAPITULO I ANTEPROYECTO

1.1 Introducción.....	I
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivos Generales.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 Alcances.....	6
1.6 Limitaciones.....	7
1.7 Justificaciones.....	8

### CAPITULO II MARCO TEORICO

2.0 Introducción.....	10
2.1 Nociones de Geodesia GPS.....	10
2.1.1 Geodesia Esferoidal.....	10
2.1.2 Geodesia Física.....	11
2.1.3 Astronomía Geodésica.....	11
2.1.4 Geodesia Espacial o Cósmica.....	11
2.2 Geoide y Elipsoide de Referencia.....	13
2.2.1 Lugar Geométrico.....	13
2.2.2 Acción de Fuerzas.....	13

2.2.3 Nivel medio del Mar.....	16
2.2.4 Elipsoide Medio o General.....	17
2.2.5 Elipsoides Locales.....	18
2.2.6 Elipsoide Internacional de referencia.....	19
2.2.7 Elipsoides de referencia utilizados en Cartografía.....	21
2.2.8 Angulo radial Vertical.....	23
2.2.9 Desviación de la vertical.....	24

## **CAPITULO III SISTEMAS DE COORDENADAS UTILIZADOS EN GEODESIA**

3.1 Sistema de coordenadas astronómicas y geodésicas.....	25
3.2 Sistema de coordenadas rectangulares egocéntricas.....	30
3.3 Datum Geodésico.....	32
3.4 Datum empleados en Geodesia.....	34

## **CAPITULO IV DETERMINACIONES ALTIMETRICAS EN GEODESIA**

4.1 Determinaciones Altimétricas en Geodesia.....	35
4.1.1 Altura Elipsoidal.....	35
4.1.2 Cota Ortométrica.....	35
4.1.3 Ondulación del Geoide.....	35
4.1.4 Altura topográfica.....	36
4.2 Transformaciones entre los sistemas de coordenadas geodésicos..	39

4.3	Líneas Geodésicas.....	41.
4.4	Redes Geodésicas.....	43
4.5	La red Geodésica en El Salvador.....	47
4.6	Sistema de posicionamiento Global (GPS).....	49
4.6.1	Constitución del sistema GPS .....	52
4.6.2	Esquema del funcionamiento del GPS.....	55
4.6.3	Medición de la distancia a los satélites.....	57
4.6.4	Calculo de coordenadas.....	58
4.6.5	Códigos utilizados en sistema GPS.....	62
4.6.6	Fuentes de Error en el sistema.....	65
4.6.7	Niveles de Precisión alcanzados con GPS.....	71

## **CAPITULO V DATOS NECESARIOS PARA LA CREACIÓN DEL GEOIDE NACIONAL**

5.1	Proceso de las mediciones.....	72
5.2	Tiempo de procesamiento de datos.....	73
5.3	Recursos para procesamiento de datos.....	74
5.4	Datos obtenidos de mediciones en el ámbito nacional por el IGN..	75
5.5	Datos y Equipo que no se tienen El Salvador para seguir con las etapas siguientes del diseño del Geoide Nacional.....	77
5.6	Costos del Equipo que falta para la obtención de datos.....	79
5.7	Tiempo aproximado de trabajo para la creación del Geoide.....	80
5.8	Tablas de datos.....	81

## **CAPITULO VI FORMULACION DE ECUACIONES PARA LA CREACIÓN DEL GEOIDE**

**6.1 Ecuaciones necesarias para la formulación del Geoide Nacional...107**

**6.2 Ejemplo de formulación completa de un punto del Geoide utilizando  
datos del WGS84.....109**

## **CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**7.1 Conclusiones.....111**

**7.2 Recomendaciones.....112**

**Bibliografía**

**Anexos**

## INTRODUCCION

La geodesia estudia la forma, dimensiones y campo gravitatorio de la tierra en territorios extensos. Como ya sabemos esta es su principal diferencia con la topografía, la cual basa sus trabajos en superficies de extensión reducida en las cuales puede considerarse despreciable la esfericidad terrestre.

Debido a la gran evolución que han tenido los distintos aparatos, que nos han llevado a conseguir precisiones antes solo imaginables tras complejos trabajos, ha llegado a dificultar sobremanera el establecimiento de una separación clara entre estas dos ciencias. La Geodesia comienza sus trabajos donde termina la Topografía.

El campo de La Geodesia es muy amplio por lo cual es preciso dividirlo en distintas ramas.

**Geodesia Esferoidal:** Estudia la forma y dimensiones de la tierra y el empleo de elipsoide como superficie de referencia. Estudio de métodos de resolución de problemas sobre dicha superficie (medidas, distancias, etc.)

**Geodesia Física:** Estudia el campo gravitatorio de la tierra partiendo de mediciones del mismo (mediante estaciones gravimétricas. Estudio de los problemas de reducción de desviación vertical.

**Astronomía Geodesica:** Estudia los métodos astronómicos que permiten determinar las coordenadas geográficas sobre la superficie terrestre de una serie de puntos fundamentales conocidos con el nombre de “Datum” ó “Puntos astronómicos fundamentales” sobre los cuales se basará en él calculo de las posteriores redes geodesias.

**Geodesia Espacial o Cósmica:** utiliza satélites artificiales para sus determinaciones

Desde un punto de vista práctico una de las utilidades de la geodesia es que mediante sus técnicas es posible representar cartográficamente territorios muy extensos. Esto se consigue mediante el establecimiento de una red de puntos distribuidos por toda la superficie terrestre, de los cuales se determinaran sus coordenadas, así como su elevación sobre el nivel medio del mar con muy elevada precisión.

Tras el establecimiento de esta red de puntos de control, mas comúnmente denominados vértices geodésicos, se cuenta con una estructura precisa sobre la que podrán apoyarse otros levantamientos posteriores, densificando la red inicial y dando cobertura a todo el territorio nacional. Obviamente la Topografía será una de las grandes beneficiadas por este estudio.

Dado que es necesario referenciar estos puntos, habrá que elegir un sistema de referencia. La superficie de referencia para realizar la proyección de los vértices geodésicos es un elipsoide de revolución, que constituye una aproximación de la forma real de la Tierra.

## 1.2 ANTECEDENTES

En la actualidad los países desarrollados trabajan sus sistemas de referencias geodésicas con su propio Geoide, y esto genera que tengan una mayor precisión con los diseños de proyectos de tipo Hidráulico. (Abastecimiento, Alcantarillado e Hidrogeológico.)

Utilizando datos obtenidos del Geoide Estatal logran mejorar la calidad de los proyectos, ahorrando tiempo y costos de operación. Además se logra un ordenamiento Catastral con datos reales de cotas relativas al nivel medio del mar (cota 100.00), que es el nivel de referencia que se considera en las obras civiles.

En El Salvador se carece de un Geoide Estatal así que cuando se quiere obtener un dato aproximado de una cota se utiliza el Geoide denominado: GSW84, que fue desarrollado por los estados unidos de Norte América.

Actualmente se carece de un patrón de medición de la forma de la tierra o Geoide en El Salvador. Cuando se quiere asignar una elevación a un determinado proyecto de ingeniería civil, se toma como referencia el nivel del mar dándole el valor de 100.00mts y a medida la topografía de la zona aumenta su elevación así mismo el nivel real se incrementa. Los únicos antecedentes que existen del geoide en El Salvador fueron realizados por un grupo de personas de nacionalidad alemana, que fueron contratados por una empresa llamada KAMPSAX, y sólo se elaboro un modelo para aplicar a mediciones catastrales en el departamento de La Libertad.

De acuerdo a lo antes mencionado esto nos lleva a la conclusión que no existe un antecedente formal de la investigación del Geoide Estatal en El Salvador.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Para poder desarrollar el proceso de catastrar todo El País en una forma correcta se necesitan tener las coordenadas geodésicas y los niveles referenciados a un banco de marca real, y no una elevación elipsoidal, que es la proporcionada por el GPS mediante un satélite. Actualmente para calcular niveles en regiones arriba de 1000 metros de altura se utiliza el Modelo geoidal WGS84 que fue construido en los Estados Unidos de Norte América, el cual posee los factores de acuerdo a las condiciones propias de ese país (Topografía, gravimetría.), Así que cuando es utilizado por nuestro Instituto Geográfico Nacional, se reportan errores de niveles hasta de cuatro metros, y así este aumenta dependiendo de la zona donde se han replanteado mojones geodésicos en El Salvador.

El error que se viene cometiendo se puede catalogar como vicioso, ya que a pesar que en la actualidad hay organismos técnicos que están tratando de ordenar catastralmente el territorio Nacional, iniciando por la zona urbana y continuando por las regiones rurales, no se cuenta en la actualidad con un verdadero sistema de Elipsoide Nacional, esto significa que el trabajo desarrollado en la actualidad no esta completo y que la simulación del Geoide es falsa ya que se utilizan datos de otros países ( Estados Unidos de Norte América.

Ya que no existe una aproximación real de la forma de la Tierra que se encuentra sobre territorio Salvadoreño.

La situación traerá en un futuro grandes problemas que nos pueden ocasionar problema en el desarrollo de proyectos en conjunto con cualquier vecino país del istmo Centroamericano.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Comenzar la construcción del Geoide Nacional, en una primera etapa que será la obtención de datos y formulación de ecuaciones.

Con esta propuesta se comenzara a tener una idea de lo importante que es contar con un sistema propio de Geoide Nacional

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Dar a conocer la teoría del Geoide, incluyendo el proceso de construcción.
- Generar los datos cartográficos necesarios para poder construir el Geoide Nacional en el proceso que esta relacionada con el área de georeferencias catastrales.

## 1.5 ALCANCES

Se iniciará el estudio de la creación del Geoide Nacional, formulando la primera etapa de su construcción, que es establecer la teoría del Geoide con sus ecuaciones, así como la recolección de datos cartográficos necesarios para seguir en un futuro con el proceso de formulación de modelo Geoidal. Estos datos serán obtenidos con mediciones de GPS, y bancos proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional conseguidos, durante los últimos tres años en el proceso de catastrar el País.

También se mencionarán los procesos que llevan las etapas siguientes, para que los próximos investigadores tengan una base teórica del proceso de construcción del Modelo Geoidal Nacional.

Este trabajo de investigación será considerado como la introducción de la teoría del Geoide Nacional, así como la primera vez que se estudia la Geodesia Esferoidal.

## 1.6 LIMITACIONES

- Para poder determinar el Geoide Nacional se necesita de información proporcionada por estudios en los cuales se necesitan los siguientes equipos de medición:
- Gravímetro: Este aparato mide las variaciones en el modulo o magnitud de la gravedad en los diferentes puntos del territorio

Estos aparatos necesitan trabajar con una alta resolución del orden de  $10 \times 10^{-8}$  m/seg<sup>2</sup>.

En El Salvador este aparato no se encuentra en disponibilidad con el personal técnico del Instituto Geográfico Nacional, así que los datos de mediciones gravimétricas no podrán ser presentados en este trabajo de investigación, pero se tratara de exponer la más posible información para incentivar a los siguientes investigadores a solicitar a la entidad educativa, la adquisición de este aparato ya que en el área de topografía y vías terrestres es una herramienta mas, para realizar correcciones a datos para la terminación del Geoide Nacional.

## 1.7 JUSTIFICACIONES

Actualmente todos los proyectos que se han construido en El Salvador bajo normas y reglamentos de ordenamiento Catastral (OPAMSS Y VMVDU, MOP), están referenciados altimétricamente con bancos de marca establecidos a partir del nivel medio del mar. Pero a medida los proyectos se han alejado de las zonas costeras se trasladan niveles con muchas imprecisiones, siendo esto la causa de las grandes diferencias de niveles reales en el territorio nacional.

Con el avance tecnológico y la llegada del GPS, se puede actualmente saber la altura de un punto, pero con una precisión aproximada de 4-5 metros, mientras que países que tienen construido su Geoide llegan a tener precisiones de mediciones con GPS, de 15-20 cm., siendo esto considerado casi imperceptible en mediciones satelitales.

Si El Salvador no logra formular su geoide, todos los proyectos catastrales y obras civiles serán trabajados con niveles asumidos, o con alturas imprecisas de GPS. Mintiendo en la coordenada Z.

La precisión de niveles georeferenciados, ayudarían a mejorar los proyectos en zonas donde no se pueden trasladar niveles con aparato convencional y estación total.

Al crear el Geoide Nacional estamos ordenando El Salvador, ya que todos los niveles de los proyectos de obras de ingeniería civil y arquitectura que han sido ejecutados hasta este momento no tienen valores reales de niveles referenciados a la teoría del Geoide.



## 2.1 Nociones de Geodesia. GPS

### Introducción

La geodesia estudia la forma, dimensiones y campo gravitatorio de la Tierra en territorios extensos. Como ya sabemos, esta es su principal diferencia con la Topografía, la cual basa sus trabajos en superficies de extensión reducida en las cuales puede considerarse despreciable la esfericidad terrestre.

Como decíamos en el perfil, la gran evolución que han experimentado los distintos aparatos, que nos han llevado a conseguir precisiones antes sólo imaginables tras complejos trabajos, ha llegado a dificultar de sobremanera el establecimiento de una separación clara entre ambas ciencias. En esencia, la Geodesia comienza sus trabajos allí donde termina la Topografía. De todas formas, no debe acometerse el estudio de estas ciencias por separado, pues están íntimamente relacionadas, de tal manera que la Topografía necesitará apoyarse en la Geodesia para una gran cantidad de aplicaciones prácticas.

El campo abarcado por la Geodesia es muy amplio, razón por la cual resulta preciso dividirla en distintas ramas:

**2.1.1 - Geodesia Esferoidal** : estudia la forma y dimensiones de la Tierra y el empleo del elipsoide como superficie de referencia.

Estudio de métodos de resolución de problemas sobre dicha superficie (medida de distancias, etc.).

**2.1.2 - Geodesia Física:** estudia el campo gravitatorio de la Tierra, partiendo de mediciones del mismo (mediante estaciones gravimétricas). Estudio de los problemas de reducción y de desviación de la vertical.

**2.1.3 - Astronomía Geodésica:** estudia los métodos astronómicos que permiten determinar las coordenadas geográficas sobre la superficie terrestre de una serie de puntos fundamentales conocidos con el nombre de "Datum" o "Puntos astronómicos fundamentales" sobre los cuales se basará el cálculo de las posteriores redes geodésicas.

**2.1.4- Geodesia espacial o cósmica:** utiliza satélites artificiales para sus determinaciones

Desde un punto de vista práctico, una de las mayores utilidades de la Geodesia es que mediante sus técnicas es posible representar cartográficamente territorios muy extensos. Esto se consigue mediante el establecimiento de una red de puntos distribuidos por toda la superficie terrestre, de los cuales se determinarán sus coordenadas, así como su elevación sobre el nivel del mar con muy elevada precisión.

Tras el establecimiento de esta red de puntos de control, más comúnmente denominados vértices geodésicos (Fig. 1), se cuenta con una estructura precisa

sobre la que podrán apoyarse otros levantamientos posteriores, densificando la red inicial y dando cobertura a todo el territorio. Obviamente, la Topografía será una de las grandes beneficiadas.

Dado que es necesario referenciar estos puntos, habrá que elegir un sistema de referencia. La superficie de referencia para realizar la proyección de los vértices geodésicos es un elipsoide de revolución, que constituye una aproximación de la forma real de la Tierra, tal y como veremos a continuación.

## **2.2. Geoide y elipsoide de referencia**

### **2.2.1 Lugar Geométrico**

La palabra geoide significa "forma de la Tierra" y fue introducida por Listing en el año 1873. El geoide es un esferoide tridimensional que constituye una superficie equipotencial imaginaria que resulta de suponer la superficie de los océanos en reposo y prolongada por debajo de los continentes y que sería la superficie de equilibrio de las masas oceánicas sometidas a la acción gravitatoria y a la de la fuerza centrífuga ocasionada por la rotación y traslación del planeta, de manera que la dirección de la gravedad es perpendicular en todos los lugares.

El geoide tiene en cuenta las anomalías gravimétricas (debidas a la distribución de las masas continentales y la densidad de los componentes de la Tierra) y el achatamiento de los polos, por el cual es una Superficie irregular con protuberancias y depresiones.

### **2.2.2 Acción de Fuerzas**

Por tanto, y resumiendo, podemos concluir que el Geoide será el lugar geométrico de los puntos que se encuentran en equilibrio bajo la acción de las siguientes sollicitaciones:

- Fuerzas de atracción gravitatoria del resto de los puntos de la Superficie del mismo.
- Fuerzas de atracción gravitatoria del resto de los astros del Sistema Solar.

- Fuerza centrífuga, debida al movimiento de rotación del La Tierra.

Mediante el estudio de estas solicitaciones o fuerzas y los potenciales que las mismas producen es posible llegar a la definición

En la Fig. 2 podemos ver la red española de estaciones gravimétricas. Se trata de una información disponible en el Banco de datos gravimétricos, de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, parte de la cual se halla presente en la red Internet, tal y como se indica en el pie de la figura. Asimismo, también se dispone de datos sobre las anomalías gravimétricas, etc.

Las mediciones gravitatorias se realizan mediante unos aparatos denominados gravímetros (Fig. 3). Su función básica es la de observar las variaciones periódicas en el módulo o magnitud de la gravedad ( $g$ ).

En la Fig. 3 se muestra la imagen de la instalación de un gravímetro en la Cueva de los Verdes (Lanzarote), propiedad del Instituto de Astronomía y Geodesia (Laboratorio de Lanzarote). Estos aparatos necesitan trabajar con una alta resolución, del orden de  $10^{-8}$  m/s<sup>2</sup>, para poder apreciar pequeñísimas variaciones en el valor de la gravedad.

En la Fig. 4 se puede ver el registro de observación del gravímetro anterior, durante el período de una semana. Dicho registro se representa mediante una

gráfica que relaciona el módulo de la gravedad con la variación del tiempo, en horas.

En la Fig. 5 podemos ver una representación del Geoide en la que las variaciones altimétricas son desniveles con respecto al elipsoide de referencia (magnitud N en la Fig. 11) y están dibujadas con diferentes colores. En la Fig. 6 se muestra otra representación del Geoide, esta vez mediante curvas de nivel con una equidistancia de 10 metros. Ambas imágenes han sido obtenidas partiendo de una malla cartesiana de coordenadas X (longitudes), Y (latitudes) y Z (elevaciones del geoide sobre el elipsoide de referencia WGS84), publicada por la "United States Defense Mapping Agency" con un intervalo de  $10^0$  (Fig. 7), tanto en longitud como en latitud.

El Departamento de Geodesia y Geofísica de la "National Imagery and Mapping Agency (NIMA)" , de Estados Unidos, publica un modelo del geoide referido también al elipsoide WGS84 con un intervalo de  $0,25^0$ , el cual permite obtener representaciones mucho más detalladas, como la que podemos ver en la Fig. 9.

La elevación en cualquier punto del geoide sobre el elipsoide de referencia indicado puede calcularse efectuando una interpolación lineal entre los cuatro puntos de la malla más cercanos. Con la utilización del software adecuado es posible generar sin grandes dificultades los distintos mapas de elevaciones presentados.

Fig. 5: Representación del Geoide. Obtenida mediante el tratamiento de la malla con intervalo de  $10^0$  publicada por la USDMA con el programa de tratamiento digital de imágenes ER-Mapper 5.5 (versión de evaluación)

### **2.2.3 Nivel Medio del Mar**

Para la correcta definición del Geoide es necesario establecer el concepto de nivel medio del mar, en contraposición con el que podríamos llamar nivel instantáneo, pues la superficie real de los mares no se adapta con exactitud al Geoide, debido a la existencia de mareas y corrientes.

Por lo tanto, podríamos definir al Geoide como la superficie equipotencial que se corresponde con el nivel medio de los océanos.

Como ya apuntábamos al principio de este capítulo, la desigual distribución de las masas continentales, así como la densidad variable de los materiales que componen nuestro Planeta, hacen que el Geoide no sea una superficie regular y que, en cambio, presente protuberancias y depresiones, apartándose de la superficie regular media en desniveles que alcanzan hasta los  $\pm 100$  metros (Fig. 10).

Fig. 10: Modelo tridimensional del geoide en el que se han amplificado sus ondulaciones para una mejor comprensión. Imagen obtenida con ER-Mapped 5.5

La obtención de una superficie de referencia, con una definición matemática sencilla que permita efectuar cálculos, es imprescindible para poder realizar la proyección de los puntos del relieve terrestre sobre la misma y permitir la elaboración de mapas y planos. El geoide no puede ser la superficie de referencia adoptada, pues, como hemos dicho, es muy compleja e irregular. Se toma entonces la hipótesis de escoger un elipsoide de revolución que se adapte en lo posible al geoide y que se define por unos parámetros matemáticos, denominándose Elipsoide de referencia.

#### **2.2.4 Elipsoide Medio General**

La elección del elipsoide es más que justificada, por razones de sencillez en su definición matemática y porque se ajusta con aproximación de primer orden al geoide. Hasta aquí, estaríamos hablando de lo que podemos denominar Elipsoide Medio o General, que se determinaría teniendo en cuenta los siguientes condicionantes:

- El centro gravitatorio terrestre debe coincidir con el centro del elipsoide.
- El plano definido por el Ecuador terrestre debe coincidir con el del elipsoide.
- La suma de los cuadrados de las alturas geoidales debe ser mínima.

### 2.2.5 Elipsoides Locales

Dada la gran dificultad que supondría realizar las observaciones necesarias para concretar este Elipsoide General, las distintas naciones han utilizado los llamados Elipsoides Locales, que constituyen una aproximación admisible en zonas geográficas concretas. Esto suele hacerse (según Bomford, 1980) adoptando valores arbitrarios (los que más convengan) para la latitud y longitud geodésicas en un punto de origen, además de una altura sobre el elipsoide. Posteriormente, mediante la utilización de las ecuaciones matemáticas necesarias, se buscará mantener el paralelismo entre el eje menor del elipsoide y el eje de rotación de la Tierra.

En la Fig. 11 vemos la comparación entre las tres superficies estudiadas, es decir, entre la superficie terrestre real, el Geoide y el elipsoide de referencia.

En topografía, es admisible la sustitución del elipsoide de referencia por una esfera de radio medio.

Como decíamos, los trabajos geodésicos llevados a cabo por los diferentes países han dado lugar a la definición de numerosos elipsoides de referencia, de forma que las medidas efectuadas por cada país están referidas al elipsoide elegido, lo que dificulta sobremanera la conexión de trabajos de ámbito internacional.

### 2.2.6 Elipsoide Internacional de referencia

Como es lógico, la tendencia desde entonces ha sido la de intentar establecer una cartografía uniforme, referida a un mismo elipsoide.

En este sentido, y haciendo un poco de historia, fue Hayford, en el año 1910 que estableció un elipsoide para la representación de EEUU, que fue adoptado en el año 1924 por la Asamblea Internacional de Geodesia y Geofísica como elipsoide internacional de referencia, con los parámetros:

$$a = 6.378.288,00$$

$$a = 1/297$$

Este elipsoide fue perfeccionado con posterioridad gracias a determinaciones obtenidas mediante satélites artificiales, estableciéndose uno con parámetros muy parecidos, que se adoptó como internacional en 1964, por la Unión Astronómica Internacional, en Hamburgo. Los parámetros fueron los siguientes:

$$a = 6.378.160,00$$

$$a = 1/298.25$$

Pocos años después, en 1967, fue Veis el que, basándose en nuevos datos disponibles, estableció unos nuevos parámetros para este elipsoide. Son los siguientes:

$$a = 6.378.142 \pm 6 \text{ m}$$

$$a = 1 / 298,255 \pm 0,005$$

Los parámetros que definen todo elipsoide de revolución, y la relaciones entre ellos, son los siguientes:

Semieje mayor .....  $a$

Semieje menor .....  $b$

$$A = a - b/a$$

Aplanamiento .....  $= a$

Excentricidad .....  $e = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$

2ª Excentricidad ....  $e' = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$

### 2.2.7 Elipsoides de referencia utilizados en cartografía

Nombre del elipsoide	a	b	e
<b>Airy 1830</b>	6,377,563.396	6,356,256.909	299.32496 0.081673
<b>Modified Airy</b>	6,377,340.189	6,356,034.448	299.32496 0.081673
<b>Australian National</b>	6,378,160.000	6,356,774.719	298.25000 0.081820
<b>Bessel 1841 (Namibia)</b>	6,377,483.865	6,356,165.383	299.15281 0.081697
<b>Bessel 1841</b>	6,377,397.155	6,356,078.963	299.15281 0.081697
<b>Clarke 1866</b>	6,378,206.400	6,356,583.800	294.97869 0.082272
<b>Clarke 1880</b>	6,378,249.145	6,356,514.870	293.46500 0.082483
<b>Delambre 1800</b>	6,375,635.000	6,356,564.000	334.00000 0.077288
<b>Everest (India 1830)</b>	6,377,276.345	6,356,075.413	300.80170 0.081473
<b>Everest (Sabah Sarawak)</b>	6,377,298.556	6,356,097.550	300.80170 0.081473
<b>Everest (India 1956)</b>	6,377,301.243	6,356,100.228	300.80170 0.081473
<b>Everest (Malaysia 1969)</b>	6,377,295.664	6,356,094.668	300.80170 0.081473
<b>Everest (Malay&amp;Sing 1948)</b>	6,377,304.063	6,356,103.039	300.80170 0.081473
<b>Everest (Pakistan)</b>	6,377,309.613	6,356,108.571	300.80170 0.081473
<b>Modified Fischer 1960</b>	6,378,155.000	6,356,773.320	298.30000 0.081813
<b>Helmert 1906</b>	6,378,200.000	6,356,818.170	298.30000 0.081813
<b>Hough 1960</b>	6,378,270.000	6,356,794.343	297.00000 0.081992
<b>Indonesian 1974</b>	6,378,160.000	6,356,774.504	298.24700 0.081821

<b>Hayford 1910 (Interna-</b>	6,378,388.000	6,356,911.946	297.00000	0.081992
<b>Krassovsky 1940</b>	6,378,245.000	6,356,863.019	298.30000	0.081813
<b>GRS 80</b>	6,378,137.000	6,356,752.314	298.25722	0.081819
<b>South American 1969</b>	6,378,160.000	6,356,774.719	298.25000	0.081820
<b>Struve 1924</b>	6,378,298.300	6,356,657.100	294.73000	0.082306
<b>Walbeck 1819</b>	6,376,896.000	6,355,833.000	302.80000	0.081210
<b>WGS 72</b>	6,378,135.000	6,356,750.520	298.26000	0.081819
<b>WGS 84</b>	6,378,137.000	6,356,752.314	298.25722	0.081819

Tras la definición del elipsoide de referencia, surge la pregunta sobre la necesidad del mismo y su relación con las observaciones que se efectúan sobre la superficie terrestre. Debe quedar claro que estas últimas deberán ser corregidas (reducción) y referidas al elipsoide, pues éste último será la base para la posterior elaboración mapas y planos. Posteriormente ampliaremos este concepto.

### 2.2.8. Ángulo radial de la vertical

Ya sabemos que la Tierra no es perfectamente esférica, sino que tiene forma elipsoídica debido a la rotación. De no existir ésta, la dirección de la plomada siempre coincidiría con el radio de La Tierra, como hemos visto, cada punto de la superficie terrestre está sometido a dos fuerzas:

- **Atracción gravitatoria** debida a la masa terrestre, en la dirección del centro de gravedad de la Tierra.

- **Fuerza centrífuga** (nula en los polos y máxima en el ecuador), en la dirección del radio del paralelo imaginario en que se encuentre dicho punto.

La resultante de estas dos fuerzas en cada punto es la vertical (vertical astronómica o vertical física), que seguirá la dirección del radio terrestre en el ecuador y en los polos, pero a otras latitudes formará un ángulo con el mismo, al que se llama ángulo radial de la vertical. Este ángulo es máximo aproximadamente a los  $45^\circ$  de latitud, alcanzado un valor de unos 11 minutos. No debemos confundir este concepto con el de las desviaciones de la vertical, que vemos en el siguiente epígrafe.

### 2.2.9. Desviación de la vertical

Se conoce como desviación de la vertical en un punto P del terreno, al ángulo que existe entre la vertical astronómica y la normal al elipsoide (vertical geodésica). Existen diferentes tipos de clinómetros. En la Fig. 14 se muestran dos de ellos, de larga base, de tipo WT (Water Tube), pues están basados en el principio de los vasos comunicantes, midiendo la diferencia de inclinación entre dos puntos separados una distancia determinada. Los clinómetros de corta base suelen ser de péndulos.

A partir de estas variaciones y del conocimiento de la vertical geodésica, puede determinarse la desviación entre ambas, mediante la aplicación de la ecuación de Laplace. La deducción y explicación de ésta es ciertamente compleja y, desde luego, se sale de los objetivos de este trabajo de investigación.

Los puntos en los que se calcula la desviación de la vertical se conocen como Puntos de Laplace y tienen gran importancia en Geodesia, ya que conociendo las desviaciones de la vertical en dos puntos, es posible determinar la separación existente entre el geoide y el elipsoide. La desviación de la vertical es nula en el Datum geodésico.

## CAPITULO III SISTEMAS DE COORDENADAS UTILIZADOS EN GEODESIA

Según el Dr. Terry Moore, del Institute of Engineering and Space Geodesy, en la Universidad de Nottingham (Reino Unido), los sistemas de coordenadas geodésicos han sido de escaso interés para la mayoría de los técnicos hasta la llegada de los modernos sistemas de posicionamiento por satélite, en particular el GPS, del que hablaremos más tarde.

Muchos de los problemas que se presentan hoy día con la utilización de estas nuevas técnicas, es la falta de conocimiento de la verdadera complejidad que presentan los sistemas de coordenadas empleados en geodesia.

### 3.1 Sistema de coordenadas astronómicas y geodésicas

Sea (Fig. 15) un punto A sobre el elipsoide de referencia, del cual queremos determinar sus coordenadas geodésicas y astronómicas.

Para ello, vamos a definir los siguientes elementos:

- **Meridiano de origen de longitudes (Greenwich): PO'P'**. El meridiano de origen es un plano arbitrario que contiene al eje de rotación terrestre. En la cartografía española antigua se tomaba el meridiano de Madrid. Actualmente se

toma el que pasa por Greenwich, existiendo una diferencia entre ellos de  $3^{\circ}41'15''$ .

- **Meridiano que pasa por el punto A: PAP'**

- **Plano ecuatorial: EO'E'**. El Ecuador es un plano perpendicular al eje de rotación de la Tierra, pasando por el centro de gravedad de la misma.

- **Vertical geodésica:** es la normal al elipsoide por el punto A: An.

- **Vertical astronómica:** es la línea, que en dicho punto, toma la plomada, en función del campo gravitatorio, y que será independiente del elipsoide adoptado. Se denomina también vertical local o vertical física, y es la normal al geoide en el punto considerado.

- **Vertical geocéntrica:** es la línea que pasa por el punto A y el centro del elipsoide (O).

Con estos elementos, podemos definir:

- **Latitud geodésica:** es el ángulo ( $\phi$ ) formado por la vertical al elipsoide desde el punto A (línea An, vertical geodésica) y el plano ecuatorial (EO'E'). Se mide en grados sexagesimales, partiendo del Ecuador, siendo positiva al Norte (de 0 a  $90^{\circ}$ ) y negativa al Sur (de 0 a  $-90^{\circ}$ ).

- **Longitud geodésica:** es el ángulo ( $\lambda$ ) formado por el plano del meridiano origen (plano  $PO'P'$ ) y el del meridiano que pasa por el punto A (plano  $PAP'$ ). Se mide en grados sexagesimales, de 0 a  $360^\circ$ , con sentido positivo al Oeste.

- **Latitud astronómica:** es el ángulo ( $\phi$ ) formado por la vertical astronómica y el plano ecuatorial. Se define el meridiano astronómico como el plano que pasa por la vertical astronómica en el punto A, y por la línea definida por el eje de rotación terrestre (o una línea paralela a éste).

- **Longitud astronómica:** es el ángulo ( $\lambda$ ) formado por el plano del meridiano astronómico local y el del meridiano de origen.

Debe quedar claro que las determinaciones geodésicas se realizan sobre la superficie terrestre, aunque para trabajar, como ya dijimos, necesitamos hacerlo sobre la superficie del elipsoide. Recordamos que el conjunto de métodos disponibles para trasladar las determinaciones sobre la superficie real de la Tierra al elipsoide se conoce como problemas de reducción.

Para resolver los problemas de reducción es necesario el conocimiento de las desviaciones entre la superficie real terrestre y la del elipsoide de referencia. Para ello tendremos que:

- Determinar la altura de los puntos que están sobre la superficie terrestre (ver 1.7).

- Medir las desviaciones de la vertical en dichos puntos (Fig.13).
- Calcular la fuerza gravitatoria en los puntos indicados, para lo cual suelen utilizarse los gravímetros, vistos anteriormente (Fig. 3).

Estas determinaciones entran de lleno en el campo de la Geodesia física, y su cálculo se realiza basándose en la Teoría del potencial gravitatorio, las ecuaciones de Laplace, etc. Un desarrollo relativamente simple de todos estos conceptos puede seguirse en el libro Topografía del profesor López-Cuervo (v. Bib.).

Las coordenadas definidas, aunque parezcan relativamente complejas, no son, según el Dr. Terry Moore, mas que simplificaciones de un problema todavía más complicado, pues se han despreciado los siguientes efectos:

- El eje de rotación instantáneo no está fijo con respecto a la masa sólida de la Tierra, sino que está afectado de un cierto movimiento, denominado movimiento polar. Este fue predicho por Euler en 1765, pero no ha sido determinado con exactitud hasta mucho tiempo después. Como resultado, la posición del Polo Norte (intersección del eje de rotación con la superficie terrestre) puede variar alrededor de 5 a 10 metros cada año. Por esta razón, lo más usual es definir las coordenadas con respecto a un eje medio, internacionalmente admitido, y no con respecto al eje de rotación instantáneo.

· Por otra parte, el meridiano de origen no pasa por un punto en particular de Greenwich, sino que se define como el valor medio de las longitudes adoptadas para una serie de observatorios en todo el mundo. En este sentido, en el año 1988, el International Earth Rotation Service (IERS), cuya sede está en París, definió el eje de rotación medio, el IERS Reference Pole (IRP, Polo Norte de referencia) y el meridiano de origen, denominado el IERS Reference Meridian (IRM).

· Por último, si nos centramos en las coordenadas astronómicas, debemos saber que es posible que las direcciones de la vertical (según el vector gravedad) pueden ser paralelas en dos puntos distintos de la superficie terrestre, lo cual implicaría que ambos tendrían la misma latitud astronómica.

### **3.2 Sistema de coordenadas rectangulares geocéntricas (X,Y,Z)**

Una vez definidos el plano ecuatorial y el meridiano de origen, es posible definir un sistema de coordenadas cartesianas (X,Y,Z) asociado.

De esta forma, tenemos un triedro en el que el eje X suele tomar la dirección del meridiano de origen, el eje Z es perpendicular al plano ecuatorial, y el eje Y es perpendicular a los otros dos. El origen de este nuevo sistema de referencia puede ser el centro del elipsoide, o bien el centro de masas terrestre.

Con el desarrollo de la Geodesia Cósmica, los sistemas de coordenadas espaciales han cobrado una gran importancia. La resolución de los problemas geodésicos con estos sistemas se denomina Geodesia Tridimensional.

#### **Coordenadas geográficas**

Si tomamos como superficie de referencia la esfera en lugar del elipsoide, hablaríamos de longitud y latitud geográficas, con una definición equivalente a las anteriores.

#### **Coordenadas rectangulares planas**

En general, el sistema de coordenadas geográficas es muy adecuado para grandes superficies, pero a menudo su empleo es incómodo, debido principalmente a la complejidad de la geometría esférica en comparación con la

geometría plana. Así, empezaron a utilizarse, durante la Primera Guerra Mundial, cuadrículas de coordenadas rectangulares sobre los mapas. Actualmente, el empleo de sistemas de cuadrícula es prácticamente universal.

El sistema de coordenadas geodésicas resulta poco satisfactorio de cara a su utilización práctica en parte porque las unidades de medida son ángulos. Por ello, en la práctica, se suelen emplear sistemas de coordenadas rectangulares planas, que resultan mucho más cómodos de utilizar. Sin embargo, el cambio de un sistema a otro no es fácil, pues la superficie del elipsoide no es desarrollable, es decir, no puede extenderse sobre un plano sin sufrir deformaciones ni rasgaduras.

La solución que se ha adoptado es la de representar la superficie del elipsoide sobre un plano según una determinada ley matemática que podría expresarse como sigue:

$$x = f_1(\lambda, \varphi)$$

$$y = f_2(\lambda, \varphi)$$

donde  $(x, y)$  son las coordenadas rectangulares planas deducidas a partir de sus homólogas en el elipsoide  $(\lambda, \varphi)$ , mediante la aplicación de la relación matemática indicada.

Existen gran cantidad de leyes matemáticas que permiten la representación del elipsoide sobre un plano, pero una de las premisas fundamentales es la de obtener la mínima distorsión al proyectar los elementos de una superficie a la otra. Es entonces cuando entramos de lleno en los dominios de la Cartografía y de las proyecciones cartográficas, tal y como veremos en el capítulo siguiente.

En España, el sistema de proyección utilizado es el UTM (el más difundido internacionalmente), en el cual se basa la Red Geodésica Nacional.

### **3.3 Datum Geodésico**

El Datum geodésico está constituido por:

- Una superficie de referencia con definición geométrica exacta, generalmente un elipsoide de revolución, tal y como hemos venido viendo hasta ahora.
- Un punto Fundamental, en el que coinciden las verticales al geoide y al elipsoide (con lo que también coincidirán las coordenadas astronómicas y geodésicas).

En general, el datum es la superficie de referencia para el cálculo y determinación de coordenadas, estableciéndose unos datos iniciales de los cuales

se derivan el resto. En Geodesia se emplean dos tipos de datum, el vertical y el horizontal.

**El Datum Vertical** es la superficie de referencia que permite el cálculo de alturas. Por tanto, es la superficie de altura nula. Lo más usual es que esta superficie sea el geoide y las alturas a él referidas Sean Alturas ortométricas (ver 1.7).

El Datum Horizontal permite la determinación de la longitud y es importante señalar que las determinaciones altimétricas clásicas son referidas al geoide, mientras que la moderna utilización del sistema WGS-84 implica que éstas son referidas al elipsoide.

Se elige un punto en el cual las superficies del elipsoide de referencia y del geoide sean tangentes. De esta forma, ambas verticales (geodésica y astronómica respectivamente) coincidirán, así como las coordenadas astronómicas y geodésicas en dicho punto.

En la geodesia española, el elipsoide utilizado es el internacional de Hayford y el Datum Europeo o Datum Potsdam (por estar localizado en esta localidad alemana, en la Torre de Helmert, Fig. 19). Este datum se conoce con el nombre de ED-50 (European Datum, 1950). Posteriormente, en 1979, se realizó una nueva compensación de la red, en la cual se localizó el punto fundamental en Munich (Datum Munich), se siguió utilizando el elipsoide de Hayford, y las altitudes se refirieron al elipsoide en lugar de al geoide. A este datum se le denomina ED-79 (European Datum, 1979).

Este punto en el cual son tangentes las superficies del geoide y del elipsoide se denomina también Punto Astronómico Fundamental (ya que se determinan sus coordenadas por métodos astronómicos y se igualan a las respectivas geodésicas, pues ambas, como hemos indicado, son coincidentes) y es el que sirve como referencia para el posterior cálculo de las coordenadas de todos los vértices de una red geodésica.

Es obvio que en el mismo, la desviación de la vertical es nula.

### **3.4 Datums empleados en Geodesia**

A continuación presentamos una tabla con la mayoría de los Datums empleados en cartografía, así como los elipsoides de referencia correspondientes para el cálculo de coordenadas.

## **4.1 Determinaciones altimétricas en Geodesia.**

Las coordenadas geodésicas determinan la posición de la proyección de un punto de la superficie real de la Tierra sobre el elipsoide, según la normal a éste.

### **4.1.1 Altura Elipsoidal**

Pues bien, en este momento tenemos nuestro punto situado sobre el elipsoide, pero es necesario situarlo sobre la superficie terrestre si es que queremos trabajar con él. Para ello, nos bastará con saber cuál es la altura de dicho punto sobre la superficie del elipsoide (la cual se medirá, obviamente, sobre la vertical geodésica), que se conoce como altura elipsoidal ( $h$  en la Fig. 20).

### **4.1.2 Cota Ortométrica**

Normalmente, esta altura no es demasiado utilizada, sino que estamos más acostumbrados a oír hablar de la altura de un punto sobre el nivel medio del mar en algún lugar prefijado. Teniendo en cuenta la definición de geoide, no cabe duda de que esta segunda altura de la que hablamos estará referida a la superficie del mismo ( $H$  en la Fig. 20), a la que se denomina altura ortométrica.

### **4.1.3 Ondulación del Geoide**

La diferencia entre la altura elipsoidal ( $h$ ) y la altura ortométrica ( $H$ ) es la que llamamos altura geoidal ( $N$ ) u ondulación del geoide, pues en realidad representa las desviaciones del geoide con respecto al elipsoide de referencia. Por tanto, las imágenes 5, 6, 7, 8, 9 y 10 están representando alturas geoidales.

La ecuación que liga las tres alturas definidas en la Fig. 20, es la siguiente:

$$h = H + N$$

Por tanto, las coordenadas geodésicas de un punto estarán formadas por la longitud y latitud geodésica y, además, la altura del punto sobre el elipsoide de referencia, es decir, h. Por tanto, tenemos:

Coordenadas geodésicas del punto P: (p, p, hp)

#### **4.1.4 Altura Topográfica**

Por último, se define como altura topográfica a la distancia sobre la vertical local (astronómica) desde el punto considerado a la superficie del geoide (igual que la altura ortométrica), pero sin tener en cuenta las variaciones de la fuerza gravitatoria. Es el método usual empleado en Topografía.

El conocimiento de h no es inmediato, sino que será necesaria la determinación de H y N.

A continuación vemos, de una forma muy somera, cómo se efectúan dichas determinaciones:

- Las cotas ortométricas (H) se determinan mediante nivelación de alta precisión con respecto a un determinado Datum altimétrico, el cual define una superficie de cota nula

- La altura geoidal u ondulación del geoide (N), puede determinarse por varios métodos:
- Método de Helmert: se basa en el conocimiento de las coordenadas geodésicas y astronómicas en una serie de puntos (puntos de Laplace), lo cual permitirá calcular las componentes de la desviación de la vertical en los mismos y, por último, de las ondulaciones del geoide por el método de nivelación astro geodésica.
- Utilización de las anomalías gravimétricas: se aplica la fórmula de Stokes para calcular diferencias de ondulación del geoide entre unos puntos y otros. En combinación con el anterior permite obtener determinaciones de N con mayor precisión.
- Utilización de observaciones espaciales, del tipo GPS en puntos en los que se conoce la altura ortométrica(H).

En este caso, la resolución es como sigue:

Sean los puntos A y B, en los cuales conocemos  $H_A$  y  $H_B$  y además, por observaciones espaciales, se ha determinado la diferencia  $h_A-h_B$ . Tenemos, por tanto, que:

$$h_A = H_A + N_A$$

$$h_B = H_B + N_B$$

$$h_A - h_B = (H_A + N_A) - (H_B + N_B)$$

de donde

$$N_A - N_B = (h_A - h_B) - (H_A - H_B)$$

Como hemos dicho,  $(h_A - h_B)$  es conocido; y  $(H_A - H_B)$  se determina mediante nivelación de alta precisión, con lo cual, podemos obtener la diferencia  $(N_A - N_B)$ . De esta manera, calculamos las diferencias de ondulación del geoide entre dos puntos separados entre sí una cierta distancia. Partiendo de un punto en el que la ondulación del geoide sea nula (punto en el que coinciden las superficies del elipsoide y del geoide), podemos determinar el resto de alturas geoidales necesarias y, por lo tanto las alturas de dichos puntos sobre el elipsoide ( $h$ ).

## **4.2 Transformaciones entre los sistemas de coordenadas geodésicos**

Es posible efectuar transformaciones entre coordenadas geodésicas (longitud, latitud y altura elipsoidal) y rectangulares espaciales X,Y,Z. Para ello podemos emplear las siguientes fórmulas:

En este caso, a la vista de las fórmulas indicadas, es claro que resulta necesario proceder por iteraciones para llegar a un resultado satisfactorio.

El paso de coordenadas rectangulares espaciales a longitud y latitud geodésicas puede efectuarse como sigue:

### 4.3 Las líneas geodésicas

Una línea geodésica es la distancia más corta, sobre el elipsoide entre dos puntos dados. Veamos este concepto con mayor detalle.

No cabe duda de que la distancia más corta entre dos puntos es la línea recta, pero esto sólo se cumple si estamos hablando de una superficie plana. Supongamos, en primer lugar, esférica la superficie terrestre.

En ella, será imposible seguir tal línea recta, y la mínima distancia entre los puntos A y B (Fig. 21), vendrá determinada por la línea que resulta de la intersección del plano que pasa por los puntos A, B y por el centro de la esfera, con la superficie terrestre.

Si tomamos como superficie de referencia la del elipsoide, las cosas ya no son tan sencillas. En primer lugar, debemos tener en cuenta que "Las normales al elipsoide trazadas desde dos puntos con diferente latitud, se intersecan con el eje menor del elipsoide en puntos diferentes (Fig. 22)".

El problema se complica cuando los puntos A y B se encuentran en distintas elipses meridianas (tienen distinta longitud geodésica, caso más frecuente), pues las verticales al

elipsoide serán dos rectas que se cruzan en el espacio, siendo imposible determinar, al contrario que sucedía con la esfera, un único plano que contenga a los dos puntos y a las verticales trazadas desde ellos a la superficie del elipsoide. Por esta razón, suele decirse que el plano normal directo de A a B es el que pasa por estos puntos y contiene a la normal al elipsoide en A. Del mismo modo, el plano normal directo de B a A será el que pasa por estos puntos y contiene a la normal en B.

Está claro que las secciones generadas por estos dos planos con la superficie del elipsoide no serán coincidentes (Fig. 23).

Este efecto, aunque en principio podría parecer de poca importancia, es de gran trascendencia cuando estamos trabajando con el elipsoide y no con la esfera, es decir, cuando estamos en los dominios de la Geodesia.

La razón puede comprenderse con un ejemplo: supongamos que estacionados en un punto A, visamos otros dos puntos B y C, midiendo el ángulo horizontal correspondiente. Este ángulo estaría determinado por el diedro formado por los planos normales directos A-B y A-C. Si quisiéramos medir el resto de los ángulos del triángulo formado por estos tres puntos, nos situaríamos en B y C respectivamente. Desde B,

el ángulo estaría definido por el diedro que forman los planos normales directos B-A y B-C, y lo mismo pasaría con C. Como hemos dicho que los planos directos desde dos

puntos correlativos no coinciden, llegaríamos a obtener un triángulo sobre el elipsoide que no es cerrado.

La solución consiste en unir los vértices de los triángulos (A, B y C) mediante líneas geodésicas (mínima distancia entre cada dos puntos), y no mediante secciones normales.

Tras haber comprendido este concepto, podemos definir ya las líneas geodésicas como curvas alabeadas en las cuales su normal principal es coincidente con la normal al elipsoide en cada uno de los puntos de dicha curva.

#### **4.4. Redes Geodésicas**

El establecimiento de redes geodésicas es uno de los objetivos principales que se persiguen con la Geodesia, pues en ellas se basarán una gran cantidad de estudios y trabajos posteriores (levantamientos topográficos, etc.).

Las redes geodésicas consisten básicamente en una serie de puntos distribuidos por toda la superficie de un país, formando una malla de triángulos, en los cuales, tras un proceso de complejos cálculos, se conocen todos sus elementos, incluyendo las coordenadas de todos sus vértices.

Es conveniente recordar que, en una curva alabeada, el plano oscilador es el que contiene a la tangente y a la normal principal en un punto dado de dicha curva. La binormal es la normal a la curva que, a su vez, es perpendicular al plano osculador.

Para determinar las coordenadas de los vértices geodésicos se parte de las del Punto Astronómico Fundamental, que se determinan por métodos exclusivamente astronómicos, como ya hemos dicho anteriormente. Posteriormente, se irán determinando el resto de puntos mediante visuales que formen una malla triangulada. Es necesario medir con la máxima precisión, los tres ángulos de cada triángulo (triangulación), además de una línea determinada por dos vértices que suele tomarse hacia el centro del país, denominándose base, que, como su propio nombre indica, es la base de toda la red geodésica, razón por la cual es imprescindible establecerla con absoluta precisión, muy por encima de la que estamos acostumbrados a obtener en los trabajos topográficos convencionales.

A partir de la base, que constituye el lado de uno de los triángulos, y de la medición de los ángulos, se van determinando el resto de coordenadas, teniendo en cuenta que estos triángulos están sobre el elipsoide y sus lados serán líneas geodésicas (lo que complica los cálculos enormemente), y apoyándose unos triángulos en otros.

La Geodesia también necesita conocer la orientación, y se determina, en cada punto geodésico, la dirección Norte-Sur, que es la intersección del plano horizontal, tangente al elipsoide en ese punto y el plano del meridiano que pasa por el mismo punto. Esta línea se llama meridiana. El ángulo que forma la meridiana con una dirección dada del terreno se llama acimut de dicha dirección.

Para evitar en lo posible la lógica acumulación de errores que supone el cálculo de unos triángulos apoyados en los anteriores, se establecen redes geodésicas de distinta precisión u orden. Generalmente se disponen redes de primero, segundo y tercer orden, con precisiones progresivamente decrecientes.

- La red geodésica de primer orden está formada por triángulos de 30 a 80 Km de lado, pudiendo llegar en casos excepcionales a más de 200 Km (caso en la geodesia española del lado Mulhacén (Sierra Nevada)-Filhaussen (Argelia), con 270 Km.).

- La red de segundo orden se basa en la anterior y tiene triángulos de 10 a 30 Km.

- La red de tercer orden se apoya en la de segundo y tiene triángulos con lados de 5 a 10 Km.

Fig. 24: Red geodésica. Fuente: Topografía, Serafín López-Cuervo y

Estévez, Ed. MundiPrensa, 1993

Los triángulos de primer y segundo orden son elipsoídicos, es decir, se calculan sobre el elipsoide, pues con estas dimensiones no puede prescindirse de la esfericidad terrestre.

Los triángulos de tercer orden se calculan ya como planos, y el terreno limitado por ellos entra ya en los dominios de la Topografía.

En España, actualmente, tras la reconstrucción de la Red Geodésica Nacional, sólo se contemplan ya dos tipos de vértices: los de primer orden y los de orden inferior.

Completamos este apartado relativo a las redes geodésicas con palabras del profesor Mario Ruiz Morales<sup>7</sup>, el cual afirma con acierto que "el objetivo final de la red geodésica es el cálculo de las coordenadas geográficas de los vértices. Como la superficie de referencia es un elipsoide de revolución, se tratará entonces de calcular las coordenadas latitud y longitud relativas a una serie de puntos aislados sobre él situados. Tras las mediciones efectuadas en campo y realizados los correspondientes cálculos y compensaciones, se dispondrá de un conjunto de distancias, ángulos y acimutes que describen las figuras triangulares formadas por todos los vértices. Evidentemente, serán necesarios los datos de partida que establezcan la posición de la red sobre el elipsoide y su orientación sobre el sistema de meridianos y paralelos del mismo.

Estos datos de partida se pueden presentar de dos formas: Mediante las coordenadas geodésicas de un punto, la distancia entre dos vértices y el acimut del lado correspondiente.

Mediante las coordenadas geodésicas de dos vértices.

#### 4.5 La red Geodesica en El Salvador

En nuestro País la entidad encargada de realizar los estudios pertinentes para la creación de la redes geodesicas es El Instituto Geográfico Nacional Pablo Arnoldo Guzmán, el cual apartar de Noviembre de 1999, comenzó a reexhibir consultarías de por expertos en geodesia.

El proyecto mas ambicioso es la creación de una red activa que al mismo tiempo seria una herramienta para modernizar el sistema de catastro por medio del proyecto Chambita Medidor.

La instalación de esta red nacional será implementada mediante la asesora de El Nacional Geodetic Survey a principios del año 2000.

El proceso se llevaría un tiempo de trabajo aproximado de 3 años (1999, 2000, 2001).

Las fechas de inicio de estos procesos estaban programadas para las fechas:

- Comenzar la transformación de coordenadas (noviembre 1999).
- Desarrollar una proyección con el Sistema WGS84 (Noviembre 1999).
- Establecer un modelo del Geoide (noviembre 1999).

Comenzar un reglamento de Mensura (1999).

Las áreas en las cuales se esta desarrollando estos procesos fuera de la zona metropolitana son:

Departamento de Ahuachapan

Departamento de Santa Ana

Departamento de Sonsonete.

Esta área que se menciona en la actualidad se encuentra terminada en un 85 %, pero en la zona oriental y paracentral se sigue los trabajos de recolección de datos.

### **Arcos Principales de triangulación**

Como se pueden observar en la figura M-1, la distancia de separación entre las estaciones de medición que conforman los principales arcos de triangulación oscilan entre los 25 y 60 kilómetros, dejando zonas que podría de ser gran ayuda para mejorar la red del País.

### **Red de nivelación Geodesica**

Al igual que la red de triángulos, se dejan muchas zonas con elevaciones importantes, principalmente en las zonas altas de centro del territorio (Cumbres de Chalatenango)

También falta recolección de datos en zonas de baja latitud como las costeras de área de La paz, esto se puede observar en la figura M-2.

## 4.6 El sistema de posicionamiento global (GPS)

El GPS (Global Positioning System, o Sistema de Posicionamiento Global) fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) como un sistema de navegación de precisión con fines militares.

Anteriormente, desde el año 1967, se venía utilizando el sistema TRANSIT (del que hablaremos posteriormente). A partir de 1973 se comenzó el desarrollo de lo que sería la actual constelación NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging, o Navegación por satélite con medición de tiempo y distancia), hasta que se lanzó el primer satélite de que formaría parte de la misma, concretamente el día 22 de Febrero de 1978.

El propósito era lograr un sistema con precisiones 10 veces superiores a las del sistema TRANSIT.

Fig. 25: Satélite de la constelación NAVSTAR

Actualmente la constelación NAVSTAR está formada por 27 satélites (24 principales y 3 de reserva), que dan un alto grado de disponibilidad al sistema GPS en todo momento del día y en cualquier lugar.

Fig. 26: Esquema de la constelación NAVSTAR

Sin embargo, no debe olvidarse que se trata de un sistema cuyo objetivo principal es servir como sistema de navegación para operaciones militares, razón por la cual el DoD puede alterar su funcionamiento en caso de considerarlo necesario.

Hoy día no se concibe el GPS como un sistema exclusivamente diseñado para la navegación, sino que se le han encontrado multitud de aplicaciones de gran interés, todas ellas basadas en la posibilidad de "posicionar" puntos sobre la superficie terrestre con gran precisión. Tanto es así que podemos hablar de una "nueva era de la Topografía.

Actualmente se están empleando con éxito las técnicas GPS a la Topografía y la Geodesia, de manera que en muchas ocasiones resulta mucho más rentable que los procedimientos convencionales (basta con el ejemplo de que mediante GPS puede realizarse la batimetría de un embalse con rendimientos próximos a los 3.000 puntos diarios, superando de forma contundente a lo que podría obtenerse mediante una moderna estación total y permitiendo realizar complejos trabajos en plazos de tiempo antes inimaginables). Además, no sólo es un sistema rápido a la hora de captar la información, sino que diversos añadidos (colectores de datos, software específico, etc.) permiten automatizar todo el proceso de toma y tratamiento de datos. Si lo combinamos con un ordenador personal y el software adecuado, los resultados son sorprendentes.

Si hablamos de precisión, los resultados en la medición de bases cortas son comparables a los obtenidos con distanciometría electrónica (EDM, Electronic Data Measurement) y en

la determinación de grandes bases similares a los obtenidos con los métodos SLR (Satellite Laser Ranging) o VLBI (Very Long Baseline Interferometry).

Quiere todo esto decir que cada vez es más probable que nos encontremos con uno de estos aparatos en el ejercicio de nuestra actividad, tal y como se refleja en el título de la obra "GPS: La Nueva Era de la Topografía", por Alfonso Núñez-García del Pozo, José Luis Valbuena Durán y Jesús Velasco Gómez. Datos suministrados por la empresa extremeña ATICSA (Asistencia Técnica de Ingeniería Civil, S.A.), relativos a uno de los trabajos realizados por personal de la misma.

El funcionamiento del sistema GPS a nivel básico es bastante sencillo, aunque encierra un sinfín de complejidades técnicas que, sin embargo, no deben preocuparnos excesivamente, pues los modernos receptores están muy avanzados y permiten su utilización por personal no especialmente cualificado. La complejidad está dentro, igual que en otros muchos aparatos que normalmente utilizamos (como los teléfonos móviles GSM), aunque no nos demos cuenta de su existencia.

#### **4.6.1. Constitución del sistema GPS**

El sistema GPS está formado por tres "segmentos", a saber:

- Segmento espacial
- Segmento de control
- Segmento de usuario

Está constituido por los satélites de la constelación NAVSTAR. Como se dijo anteriormente, en la actualidad esta constelación está formada por un total de 27 satélites, de los cuales 3 son de reserva y los otros 24 están distribuidos en 6 planos orbitales (cada uno de ellos con 4 satélites en una órbita prácticamente circular, a 20.180 Km de altitud.

Fig. 27). Estos 6 planos están igualmente espaciados entre sí en  $60^\circ$  y forman un ángulo de unos  $55^\circ$  con el plano definido por el Ecuador.

La constelación NAVSTAR, así configurada, permite que sobre el horizonte de cualquier lugar de la Tierra puedan verse simultáneamente entre 6 y 11 satélites (normalmente denominados SVs, o Space Vehicles), lo cual posibilita la continuidad de las observaciones durante las 24 horas del día.

#### **El segmento de control**

La constelación NAVSTAR está controlada desde tierra a través de una serie de cinco estaciones oficiales de seguimiento repartidas por todo el planeta (Fig. 33). Existe una

estación central (la de Colorado Springs, y otras cuatro estaciones secundarias, en Hawaii, Ascensión, Diego García y Kwajalein).

Fig. 28: GPS. Segmento de control. Estaciones de seguimiento.

Veremos más adelante que se necesitan como mínimo cuatro satélites para determinar las coordenadas de un punto.

Las estaciones de seguimiento, tal y como se observa en el mapa de la Fig. 29, están espaciadas regularmente en longitud y sus coordenadas están determinadas con suma precisión. Su misión es la de estar en continua comunicación con los satélites, recibiendo las señales emitidas por estos, para así poder determinar sus órbitas con gran exactitud.

Los datos recogidos por las estaciones secundarias son enviados a la principal, donde son debidamente procesados, calculándose las efemérides el estado de tiempos, etc. Toda esta información se transmite a los satélites en los cuales queda almacenada.

Por tanto, queda claro que es posible, desde tierra, determinar las posiciones exactas de cualquiera de los satélites GPS en un momento determinado.

### **. El segmento usuario**

Está formado por los instrumentos que nosotros, los usuarios, necesitamos para utilizar el sistema GPS de cara a la navegación, posicionamiento, control preciso de tiempos, etc.

Básicamente, un equipo GPS está compuesto por un receptor o sensor con antena (que puede ser externa o integrada en el propio sensor, Fig. 30 que se comunica con los

satélites, y por una unidad de control que permite la interoperatividad con el usuario. Adicionalmente, cada vez se incluyen mayor número de accesorios con diversas funcionalidades.

Las efemérides son el conjunto de posiciones de los cuerpos celestes calculadas para diferentes instantes separados uniformemente en el tiempo. Fuente: Enciclopedia Multimedia PlanetaDeAgostini.

Fig. 31: Sensor GPS con antena integrada. Fuente: <http://www.leica.com>

Fig. 32: Unidad de control para GPS. Permite al usuario utilizar el sistema.

Fuente: <http://www.leica.com>

Los modernos sistemas GPS son muy ligeros, tanto que todo el equipo necesario puede transportarse en un maletín (Fig. 36), a excepción de otros elementos de mayores dimensiones como el trípode o el bastón de aplomar.

Fig. 36: En un pequeño maletín cabe todo el equipo, desde el sensor y la unidad de control hasta las baterías, soportes, cables, etc. Fuente: <http://www.leica.com>

Bien, tras haber hecho una introducción y una visión rápida de los tres segmentos que conforman el sistema GPS, vamos a estudiar los principios de funcionamiento del mismo.

#### 4.6.2 Esquema de funcionamiento del GPS

Hasta ahora hemos visto que existe una constelación de satélites distribuidos en órbitas determinadas, de los cuales puede determinarse su posición en un momento concreto en función de la posición de una serie de estaciones de seguimiento en tierra que cuentan con coordenadas bien definidas.

Asimismo, hemos visto que el segmento del usuario se compone de unos receptores que se comunican con los satélites NAVSTAR y que nos van a permitir determinar su posición basándonos en la de los satélites.

La base de todo el sistema es una medición exhaustiva de la distancia que nos separa de los satélites.

La explicación es sencilla: si sabemos que nos encontramos a 20.000 Km de un satélite determinado, está claro que estaremos situados dentro de la superficie de la esfera que, con centro en el satélite, tiene un radio de 22.000 Km (Fig. 37).

Si disponemos de las distancias a dos satélites, las posibilidades se reducen, y nos encontraremos dentro de la circunferencia de intersección entre las dos esferas que tienen centros en cada uno de los satélites y radio las distancias a cada uno de ellos respectivamente (Fig. 38).

Por último, si disponemos además de la distancia a un tercer satélite, nuestra posición estará determinada por la intersección de la tercera esfera con la circunferencia anterior (intersección de las dos primeras esferas). La intersección de una esfera con una circunferencia da como resultado dos puntos del espacio, que serán los únicos en los que podemos encontrarnos si disponemos de las distancias a tres satélites distintos (Fig. 39).

En estos momentos puede surgir la pregunta de cómo podemos saber cuál de los dos puntos obtenidos representa realmente nuestra posición. Bien, para ello existen varios métodos. Uno de ellos consistiría en realizar otra medición más (la cuarta) a otro satélite. Otro suele ser el descartar uno de los puntos por ser absurdo, lo que sucede a menudo. Adicionalmente, si conocemos nuestra altitud también podemos descartar uno de los puntos.

Fig. 37: Con la distancia a un solo satélite nuestra posición estará dentro de la esfera de la figura

Fig. 38: Disponiendo de la distancia a dos satélites, nos encontraremos dentro de la circunferencia intersección de las esferas de la figura

Fig. 39: Con las distancias a tres satélites solamente existen dos puntos del espacio en los que podemos estar

Como puede verse, el fundamento del sistema GPS es sencillo y claro. En palabras de Jeff Hurn , "todo lo demás que se diga acerca del mismo, no serán más que detalles técnicos destinados a llevar a cabo este proceso de medición de distancias".

#### **4.6.3 Medición de la distancia a los satélites**

De nuevo, el concepto es muy sencillo, pues se basa en que los satélites GPS emiten señales en forma de ondas de radio, las cuales "viajan" a la velocidad de la luz (aproximadamente 300.000 Km/seg. En el vacío). Si sabemos el momento en que un satélite emite una señal y el momento en el que la recibimos en nuestro receptor, el cálculo de la distancia es tan sencillo como aplicar la fórmula:

$$S = C t$$

donde C es la velocidad de la luz y t el tiempo transcurrido durante el viaje de la señal desde el satélite hasta el receptor.

Lo que ya no es tan sencillo es disponer de la tecnología suficiente como para medir con gran exactitud intervalos muy cortos de tiempo. ¿Por qué son tan cortos dichos intervalos?. Pues basta con hacer un rápido cálculo: Si suponemos que un satélite GPS se encuentra a unos 20.000 Km de distancia y que la luz viaja a 300.000 Km/seg., serán necesarios solamente 6/100 segundos (0,06 seg.) para que la señal llegue hasta nosotros.

Por tanto, se necesitan relojes de gran precisión, tanto en los satélites como en los receptores, para obtener resultados satisfactorios. Los primeros disponen de relojes atómicos, con precisiones que oscilan entre  $10^{-11}$  y  $10^{-14}$  segundos ( $10^{-11}$  a  $10^{-12}$  en los osciladores de Rubidio,  $10^{-12}$  a  $10^{-13}$  en los de Cesio y  $10^{-14}$  en los de Hidrógeno). Los receptores cuentan con osciladores de cuarzo (mucho más baratos) muy precisos (del orden de nanosegundos,  $10^{-9}$  seg.).

#### **4.6.4 Cálculo de coordenadas**

La diferencia de precisión entre unos relojes y otros es enorme (la luz recorre 30 cm en  $10^{-9}$  seg., pero tan solo recorre 0,003 mm en  $10^{-14}$  seg.). Esto va a causar cierta ambigüedad a la hora de determinar nuestra posición.

Una solución al problema sería instalar relojes atómicos también en los receptores, pero el inconveniente es el enorme costo de estos dispositivos. Existe una solución mucho más sencilla y económica, basta con efectuar una cuarta medición a otro satélite. Se establece así un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas (las tres coordenadas del punto y la desviación del reloj del receptor), tal y como se muestra en el siguiente desarrollo:

Recordando la ecuación de una esfera de centro  $(X_0, Y_0, Z_0)$  y radio  $R$ :

$$(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2 = R^2$$

En nuestro caso, disponemos de cuatro esferas, con radios  $R_1, R_2, R_3$  y  $R_4$ ; de tal manera que:

$$R_1 = C \times t_1$$

$$R_2 = C \times t_2$$

$$R_3 = C \times t_3$$

$$R_4 = C \times t_4$$

donde  $C$  es la velocidad de la luz y  $t_n$  es el intervalo de tiempo que transcurre desde que el satélite "n" envía la señal hasta que el receptor la capta.

Teniendo en cuenta que las distancias así calculadas contienen ciertos errores derivados de la imprecisión de los relojes de los receptores, podemos corregirlas introduciendo una nueva incógnita que sea la desviación de los mismos, generalmente designada por  $CB$  (Clock Bias). De manera que tendríamos:

$$R_1' = C \times t_1 - CB$$

$$R_2' = C \times t_2 - CB$$

$$R_3' = C \times t_3 - CB$$

$$R_4' = C \times t_4 - CB$$

Por tanto, el sistema de ecuaciones quedaría establecido de la forma siguiente:

$$(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2 = (R_1 - CB)^2$$

$$(X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2 = (R_2 - CB)^2$$

$$(X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2 + (Z - Z_3)^2 = (R_3 - CB)^2$$

$$(X - X_4)^2 + (Y - Y_4)^2 + (Z - Z_4)^2 = (R_4 - CB)^2$$

donde  $(X, Y, Z)$  son las coordenadas del punto que queremos determinar,  $CB$  es la desviación del reloj y  $(X_n, Y_n, Z_n)$  las coordenadas de los centros de cada una de las cuatro esferas (conocidas, pues coinciden con la posición de cada satélite).

Lógicamente, nosotros no tenemos que encargarnos de resolver este sistema de ecuaciones, sino que la unidad de control que acompaña al receptor GPS (Fig. 35) será la que los efectúe y nos presente los datos finales en pantalla. Además, esta unidad dispone de muchas funciones adicionales que veremos más adelante.

El hecho de que necesitemos al menos cuatro determinaciones, implica que el receptor GPS debe ser capaz de recoger de forma simultánea las señales de cuatro satélites como mínimo, es decir, deberá contar con cuatro canales independientes. Los modernos receptores cuentan con 9 y hasta 12 canales, lo cual permite efectuar otras tantas determinaciones a satélites distintos simultáneamente.

Esto tiene una gran importancia, pues veremos posteriormente que la posición espacial de unos satélites es más favorable que la de otros. Está claro que si disponemos de más

satélites y de un sistema que analice sus posiciones relativas y efectúe los cálculos con los más favorables (como de hecho lo hacen los actuales receptores), obtendremos mayor precisión.

#### 4.6.5 Los códigos utilizados en el sistema GPS

¿Cómo sabemos cuándo envió el satélite la señal que recibimos?. Esta pregunta es de gran importancia, pues sin respuesta a la misma, no habría forma de medir el tiempo. De nuevo, todo está pensado. Tanto los satélites como los receptores GPS están diseñados de tal manera que el oscilador presente en ambos genera el mismo código a la misma hora.

El código del satélite tardará algún tiempo en llegar hasta nosotros, así que si lo comparamos con el código generado por nuestro receptor, podremos determinar el desfase existente entre ambos.

Vayamos en primer lugar con los satélites: Los osciladores de estos generan una frecuencia fundamental de 10,23 MHz. De ésta se derivan el resto de frecuencias utilizadas, en concreto las dos frecuencias portadoras L1 y L2, obtenidas de la siguiente forma:

Fundamental (10,23MHz ) × 154 = Portadora L1 (1575,42MHz )

Fundamental (10,23MHz ) × 120 = Portadora L2 (1227,60 MHz )

Estas dos frecuencias<sup>15</sup> portadoras (L1 y L2) se denominan con la letra L porque pertenecen a dicha banda de radiofrecuencias, la cual está comprendida entre 1 GHz y 2 GHz.

Sobre estas dos frecuencias portadoras se transmiten, a su vez,

Veremos un poco más adelante, en el epígrafe dedicado a las fuentes de error inherentes al sistema GPS, que la utilización de dos frecuencias distintas va a permitir el cálculo del retraso ionosférico y la corrección de esta fuente de error.

Para ello, necesitaremos los hoy generalizados receptores de doble frecuencia dos códigos, a saber:

- El código C/A (Course/Acquisition) o también denominado S (Standard) es el de menor frecuencia (utiliza la fundamental dividida por 10, es decir, 1,023 MHz). En principio es el que ofrece menores precisiones y se utiliza en el llamado SPS (Standard Positioning Service, o Servicio de Posicionamiento Standard), para uso civil. Se transmite sobre la portadora L1.

- El código P (Precise) se transmite directamente a la frecuencia fundamental (10,23 MHz), ofrece mayor precisión y se utiliza en el denominado posicionamiento preciso (PPS, Precise Positioning Service). Se transmite sobre las portadoras L1 y L2.

Junto con estos dos códigos, se envía un mensaje, que es el que suministra toda la información que necesitan los usuarios del sistema GPS.

Cada satélite debe emitir un código diferente, pues en caso contrario, como todos se basan en las mismas frecuencias portadoras, que a su vez se derivan de una única frecuencia fundamental, no habría forma de distinguirlos entre sí.

La complejidad del código generado es muy grande, pues se basa en desarrollos polinómicos, dando lugar a códigos que más se parecen a una serie de impulsos aleatorios (XX), razón por la que se han denominado códigos pseudos-aleatorios.

#### 4.6.6 Fuentes de error en el sistema

A pesar de que, dentro de lo posible, se ha intentado que cada uno de los componentes del sistema GPS tenga una elevada precisión existen fuentes conocidas de error que afectan a los resultados finales.

A continuación mostramos cuáles son:

##### **.Retraso ionosférico y atmosférico**

Ya comentamos que el GPS utiliza ondas de radio en las transmisiones. El hecho es que al estar los satélites a unos 20.000 Km de altitud, las señales deben atravesar sucesivamente el vacío, la ionosfera y la troposfera.

Hemos visto que las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz, que normalmente se supone un parámetro inmutable y fijo de valor igual a 300.000 Km/seg. Sin embargo esta es la velocidad de propagación de la luz en el vacío, cuando se propaga en otro medio existe un cierto retardo que, aunque pudiera parecer muy pequeño, afecta de una manera importante a las precisas mediciones efectuadas por los sistemas GPS.

El principal problema se encuentra en la ionosfera, una capa situada entre los 100 y los 1.000 Km de altitud en la que se ioniza (debido a la radiación solar) una parte de las moléculas de gas existentes, liberándose electrones en tal proceso. Estos electrones libres afectan directamente a la velocidad de propagación de las señales de radio, tanto más cuanto mayor cantidad de ellos sea interceptada por dichas señales.

Este problema tiene una solución bastante efectiva. Todo se basa en el conocimiento de que el retraso de las señales GPS es inversamente proporcional al cuadrado de las frecuencias de las mismas, es decir, cuanto menor sea la frecuencia (y por tanto mayor la longitud de onda), mayor será el retraso.

Teniendo esto en cuenta, si se emiten desde el satélite dos señales con frecuencias distintas en un instante determinado, podemos examinar, una vez que llegan al receptor, el desfase existente entre dos partes de dichas señales que, teóricamente, deberían haber llegado al mismo tiempo. De esta forma puede calcularse con bastante aproximación el retraso ionosférico (partiendo de las frecuencias de ambas señales y del desfase medido entre ambas en la recepción).

Por esta razón, se diseñó el sistema con las portadoras L1 y L2 anteriormente mencionadas.

Para poder aplicar estas correcciones necesitaremos un receptor que sea capaz de leer las portadoras L1 y L2. A este tipo de receptores se les llama de "doble frecuencia", y su precio es bastante superior a los de una sola.

Una vez atravesada la ionosfera, queda todavía la troposfera, en la cual las fuentes de error más importantes son la variación de temperatura del aire seco y la presencia de vapor de agua. La primera tiene mucha mayor influencia (alrededor del 90%), pero el gradiente térmico puede determinarse con relativa facilidad, con lo que se eliminaría de igual

manera el error cometido por este factor. Aunque la influencia del vapor de agua es mucho menor, es muy difícil determinar la distribución del mismo en la troposfera, y por tanto corregir esta fuente de imprecisión.

Existen unos aparatos que pueden medir la cantidad de vapor de agua en una determinada dirección. Se llaman radiómetros de vapor de agua y se utilizan solamente en circunstancias excepcionales en las que se requiera máxima precisión.

### **.Otras fuentes de error**

Podríamos destacar la imprecisión de los relojes, tanto en los satélites (muy pequeña, pero existente), como en los receptores. Ya hemos visto que la imprecisión del reloj de tierra puede eliminarse utilizando una cuarta determinación. Los relojes atómicos de los satélites son controlados regularmente por el DoD, efectuando las correcciones oportunas.

Otro error de cierta importancia es el conocido como "multipath" o "multisenda", que se produce cuando las señales no van directamente del satélite al receptor, sino que se desvían y sufren varios rebotes antes de alcanzar su objetivo. Los receptores GPS actuales incorporan diversos mecanismos para evitar este fenómeno y minimizar su influencia.

## Dilución de la precisión geométrica (GDOP)

Anteriormente vimos, muy por encima, que la precisión final obtenida no solamente depende de que tengamos a nuestra disposición un cierto número de satélites, sino también de que estos tengan una situación espacial favorable de cara a las determinaciones geométricas que vamos a efectuar. Esto puede verse claramente en las siguientes figuras.

Fig. 40: Si los satélites están situados favorablemente, la zona en la que puede encontrarse el receptor es más pequeña

Fig. 41: Una distribución espacial desfavorable de los satélites, origina una mayor indeterminación en la situación del receptor

La GDOP es un valor adimensional representativo de la situación espacial de los satélites favorable o desfavorable. El valor ideal es 1, y va creciendo según empeoran las condiciones de los satélites visibles, hasta llegar a cierto límite en el cual no debería realizarse ninguna medición (establecido generalmente en 6).

Los receptores modernos, como ya se dijo, cuentan con funciones que les permiten evaluar la distribución espacial de los satélites y seleccionar los más adecuados para la medición, presentando en la pantalla de la unidad de control la GDOP mínima disponible (Fig. 35). Por ello, repetimos que es mejor disponer de varios canales<sup>16</sup> adicionales en

el receptor, de forma que éste puede efectuar el seguimiento simultáneo de un mayor número de satélites y minimizar el error GDOP.

### **La disponibilidad selectiva**

Es una técnica mediante la cual el Departamento de Defensa de E.E.U.U. (DoD) se reserva el derecho de degradar la precisión del método SPS (Standard Positioning Service) con el objeto de impedir a los usuarios civiles obtener mejores de 100 metros.

A esta técnica se la ha denominado SA (Selective Availability, o disponibilidad Selectiva) y se aplicó por primera vez en Marzo de 1990, como consecuencia del descubrimiento de que el SPS ofrecía precisiones mucho mayores de lo que se esperaba (casi tan grandes como las del PPS), lo cual, lógicamente, en previsión de momentos de crisis, no interesaba a las fuerzas militares norteamericanas.

Actualmente, en receptores de calidad, se están imponiendo modelos de 9 y hasta 12 canales independientes.

Actualmente, la SA puede ser aplicada sin previo aviso, lo que podría originar errores de gran importancia en nuestras medidas.

## **El Anti Spoofing (AS)**

Es otra técnica mediante la cual el DoD puede convertir el código P, utilizado para el posicionamiento preciso (PPS), en código Y. Este último consiste en una combinación del código P con otro código secreto, el W. De esta forma, en un determinado momento, puede restringirse por completo el acceso al código P, salvo a determinados centros militares autorizados.

Por tanto, no debe confundirse la Disponibilidad Selectiva (SA) mediante la cual se degrada el contenido del mensaje emitido junto con los códigos P y C/A -, con el Anti Spoofing (AS) mediante el cual puede encriptarse el código P para transformarlo en Y.

#### **4.6.7 Nivel de precisión alcanzado con el GPS**

La utilización del GPS con fines geodésicos ha pasado por gran cantidad de pruebas y experimentos para asegurar su precisión y efectividad. Podemos decir que hace pocos años se midió de nuevo la base de Madrideojos en España obteniendo errores del orden de  $10^{-6}$ . Esta exactitud lo convierte en un método increíblemente adecuado para el control de redes geodésicas en primer término y, hoy día, dados los enormes avances que el método ha experimentado y su menor costo, para su utilización con fines topográficos convencionales.

## 5.1 Proceso de Mediciones

El proceso de mediciones que se están desarrollado en el país son realizadas por el Centro Nacional de Registros por medio del Instituto Geográfico Nacional Pablo Arnoldo Guzmán como se explico en el capitulo anterior.

Ya que el proyecto de implementar un nuevo sistema registral que integre el registro de la propiedad con el catastro nacional, se ha requerido implementar las siguientes actividades:

Desarrollar el concepto de registro, dentro de un marco jurídico Registral, Diseñar un software que permita desarrollar el concepto de estas mediciones, y siendo lo mas difícil, levantar un inventario de 1.8 millones de inmuebles en el territorio nacional.

Todas estas condiciones implican establecer la infraestructura de telecomunicaciones y adecuar los registros de la propiedad, siendo esto una evolución en la operación de los registros.

Al implementar los levantamientos de esta información de carácter de campo se podrá relacionar la información registral con la catastral, también se modernizara la red geodesia que es la base del Geoide nacional.

## 5.2 Tiempo de procesamientos de Datos

El tiempo de procesamiento de datos depende de su totalidad en la capacidad de personal capacitado que se tena para llevar la implementación del programa de recolección de datos para la formación de la red Nacional y nuevo Catastro.

No se puede utilizar mano de obra que no sea capaz de identificar con claridad los términos físicos como linderos, mojones, colindantes, servidumbres, etc.

Es fácil contratar personal que solo obtenga datos de direcciones, propietarios nombres de colindantes, pero como en nuestro país se comiézale ordenamiento de la propiedad no existieran gran cantidad de recursos humanos con especialización en levantamientos catastrales.

Para tener un parámetro del tiempo en que se podrá tener una cantidad de datos que sean considerados suficientes para la elaboración del Geoide en El Salvador solo refiriéndose en el aspecto Geodésico si tomar en cuenta la red Gravimétrica que conjuntamente acompaña el resto de datos recolectados es aproximadamente de 6 a 7 años.

Solo Venezuela realizo un trabajo impresionante de 6 años de mediciones para poder tener un modelo geoidal con muy buena aproximación al contorno terrestre.

### **5.3 Recurso para procesamiento de datos.**

Los recursos para el levantamiento y procesamiento de información se dividen en varias actividades:

Fotogrametría: Esta se sub.-divide a la vez en una serie de controles terrestres mediante la red local geodesia y puntos de control. Luego continúa la fotografía aérea, y se continúa con el estudio de las ortofotos si es la zona rural y restituciones si es la zona urbana.

Campo: Esta etapa es la de los levantamientos topográficos y la elaboración de fichas catastrales. Luego se toman datos de las ortofotos y levantamientos topográficos.

Con los datos obtenidos de los procesos anteriores se pueden digitalizar los mapas.

La infamación de las fichas catastrales y la digitalización de mapas se complementan la información del registro y catastro nacional.

Toda la información es enfocada en los archivos del Centro Nacional de Registro de El Salvador.

#### 5.4 Datos obtenidos de mediciones en el ámbito nacional por el IGN

Los datos obtenidos por el instituto Geográfico Pablo Arnoldo Guzmán, que se encuentra en el Centro Nacional de Registro de El Salvador se concentran específicamente en los tres elementos del espacio que son : Longitud , Latitud y elevación.

Estos datos se obtienen directamente de campo con cuadrillas topográficas, utilizando en la actualidad Estaciones totales, Niveles fijos y GPS de precisión.

La red principal se identifica por monumentos de concreto con una placa en la parte superior donde se encuentra el nombre e identificación del mismo, ejemplo:

Sheet No.		No.	Point Name	Lambert Projection		Elevation	System
E.S	C.A.			X (W)	Y (N)		
271	2257 I	1	ABREGO	441,103.11	314,234.34	764.77	Z
264	2256 IV	1	ACAJUTLA	410,935.49	274,879.37	52.12	N
374	2357 IV	1	ACEITUNO	452,756.05	314,378.94	648.28	Z
273	2257 III	1	ACEVEDO	402,103.81	287,693.31	104.01	Z
274	2257 IV	1	ACHAPUCO	410,973.02	315,936.93	674.30	Z
292	2259 II	1	ACHIOTES	436,016.89	373,164.18	1172.80	Z
362	2356 II	1	ACHOTAL	496,586.04	253,838.87	15.57	N
261	2256 I	1	ACIMUT CABALLERO	423,471.71	274,765.34		
463	2456 III	1	ACUARIO	521,179.95	257,934.24	30.10	Z
562	2556 II	1	ADELA	584,980.93	260,932.83	206.24	Z
272	2257 II	1	AGRONOMIA	423,932.22	293,595.76	422.39	Z
563	2556 III	1	AGUA	557,301.47	247,529.87	114.20	Z
274	2257 IV	2	AGUA CALIENTE	410,004.34	308,373.93	1021.52	Z
383	2358 III	1	AGUA CALIENTE	450,407.31	329,848.36		
383	2358 III	2	AGUA ESCONDIDA	448,592.16	337,747.46	773.35	Z
381	2358 I	1	AGUA FRIA	475,402.35	345,905.19	872.25	Z
462	2456 II	1	AGUA FUERTE	529,129.81	254,618.89	12.68	Z
272	2257 II	2	AGUA SANTA	420,399.92	287,860.52	231.58	N
473	2457 III	1	AGUA ZARCA	514,072.06	297,268.33	692.66	Z
674	2657 IV	1	AGUACATE	611,085.59	302,082.46	1164.37	Z
493	2459 III	1	AGUACATILLO	518,815.28	365,840.80	2428.82	Z
473	2457 III	2	AGUACAYO	517,541.36	289,724.15	683.48	Z
273	2257 III	2	AGUACHAPIO	392,144.40	290,676.13	80.47	Z

Estos datos se identifican por medio de un número asignado a la hoja geodesica y al cuadrante identificándoles con un nombre que los relacione con el lugar de ubicación por ejemplo el punto 264 pertenece al cuadrante 2256 IV que se encuentra en la ciudad costera de Acajutla.

Cada punto de la tabla anterior tiene asignaciones descritas en la explicación del punto anterior.

### **5.5 Datos y Equipo que no se tiene en El Salvador para seguir con las etapas siguientes del diseño del Geoide Nacional.**

La red cartográfica nacional tiene que llevar un estudio en forma paralela de levantamientos gravimétricos, que conforman una red.

Los aparatos que son utilizados para medir la aceleración de la tierra en un punto se llama Gravímetro.

Como dijimos en capítulos anteriores

El geoide tiene en cuenta las anomalías gravimétricas (debidas a la distribución de las masas continentales y la densidad de los componentes de la Tierra) y el achatamiento de los polos, por el cual es una Superficie irregular con protuberancias y depresiones.

Por tanto, y resumiendo, podemos concluir que el Geoide será el lugar geométrico de los puntos que se encuentran en equilibrio bajo la acción de las siguientes solicitaciones:

- **Fuerzas de atracción gravitatoria del resto de los puntos de la Superficie del mismo.**
- **Fuerzas de atracción gravitatoria del resto de los astros del Sistema Solar.**
- **Fuerza centrífuga, debida al movimiento de rotación de La Tierra.**

Mediante el estudio de estas solicitaciones o fuerzas y los potenciales que las mismas producen es posible llegar a la definición.

Al no tener este equipo no podemos ajustar el Geoide aunque en la actualidad se tengan datos de red con elevaciones ortométricas. Es la falta de equilibrio gravitatorio de los puntos los que no dejan terminar el proyecto que beneficiaría al país de una manera grande, y nos adelantaría en la Geodesia.

Otros aparatos que son necesarios para la creación del Geoide son los **Clinómetros**, ya que se necesita saber como se comporta la desviación de la vertical en un punto P del terreno, al ángulo que existe entre la vertical astronómica y la normal al elipsoide, este aparato es el utilizado para medir las variaciones.

A partir de estas variaciones y del conocimiento de la vertical geodésica, puede determinarse la desviación entre ambas, mediante la aplicación de la ecuación de Laplace. La deducción y explicación de ésta es ciertamente compleja y, desde luego, se sale de los objetivos de este trabajo de investigación.

Los puntos en los que se calcula la desviación de la vertical se conocen como Puntos de Laplace y tienen gran importancia en Geodesia, ya que conociendo las desviaciones de la vertical en dos puntos, es posible determinar la separación existente entre el geoide y el elipsoide. La desviación de la vertical es nula en el Datum geodésico.

## 5.6 Costos del Equipo que falta para la obtención de datos

Seria imposible saber el monto exacto del costo de la cantidad de aparatos que son necesarios para la creación de la red gravimetrica, ya que esto dependerá de la precisión que quiera manejar el Centro Nacional de Registro.

Entre mas cerca se encuentren las bases de obtención de puntos, mayor calidad se obtendrán en los datos.

El costo en el mercado de un Gravímetro como el visto en la figura tres del capitulo dos, tiene un costo aproximado sin accesorios de instalación a tierra incluyendo ancla, sin mano de obra: \$ 2,200.00 dólares Americanos, siendo un modelo que no es actualmente el ultimo en tecnología digital pero con muy buena exactitud. (Fig.-3)

Los costos del Clinómetro en las mismas condiciones del Gravímetro tiene un costo aproximado de \$ 1200.00 dólares Americanos.

Lo descrito en los párrafos anteriores es solamente el costo de lo aparatos que son necesarios para obtención de datos faltantes, mas sin embargo no son los únicos gastos que tienen que hacerse para comenzar a trabajar con una red de mediciones, la protección de las bases donde se encontraran estos equipos coinciden con lugares apartados y escondidos como cuevas y montanas en la zona rural.

Esto nos obliga a educar a la población a no tocar ó dañar estos equipos que se encuentran en estos lugares, ya que no podría estarse realizando cambios y reparaciones todo el tiempo.

### **5.7 Tiempo Aproximado para la Creación del Geoide**

El tiempo para implementar una red de estacione gravimétricas así como la instalación de clinómetros, dependerá de los recursos económicos y con la capacidad de recursos humanos tecnificados que tenga en el momento de comenzar el proyecto el CNR, o la institución que se haga cargo de las investigación, que por motivos de logística tiene que ser empresa de carácter privado-nacional.

Tomando como referencia de tiempo de construcción del geoide de un país como Venezuela con una extensión territorial de gran dimensión, pero con mayores recursos económicos y humanos que los nuestros, se llevo un tiempo aproximado de siete años en un proyecto continuo hasta el procesamiento de datos.

Para un país como el nuestro, el tiempo aproximado puede estimarse posible de **Cuatro Años.**

## **5.8 Tablas de datos**

En las hojas siguientes se encuentran los puntos con su asignación de cuadrante, y nombre con sus respectivos datos geodésicos de la red actual nacional.

Los datos que tienen son los siguientes: Longitud, Latitud, Elevación.

Estos datos fueron recopilados mediante la instalación de toda la red siendo cada punto referencia del resto.

Mapa 1/50,000		Sec.	NOMBRE	X	Y	Elevacion
Cuadrante	Hoja					
171	2157 I	1	CHAGALAPA	387525.41	302612.15	227.02
171	2157 I	2	ESTACION 64	383160.98	306126.51	
171	2157 I	3	HACHADURA	382633.88	301667.68	25.39
171	2157 I	4	JUTE	387547.46	316255.12	689.00
171	2157 I	5	LAGUNA GRANDE	372316.96	307704.63	129.60
171	2157 I	6	LAVANDERAS	377882.77	312304.42	501.60
171	2157 I	7	MIRON	390715.17	310710.13	652.36
171	2157 I	8	MONTANONA	391351.09	306166.95	674.31
171	2157 I	9	SALAMAR	379855.98	302277.10	30.40
171	2157 I	10	SAN PEDRO	389791.64	313940.69	445.10
171	2157 I	11	SILENCIO	379020.96	319747.27	1474.80
171	2157 I	12	SURIANO	384166.16	305102.52	150.95
171	2157 I	13	TALPETATES	386680.78	305520.73	305.50
171	2157 I	14	VISNAGRAS	384965.03	310556.81	502.10
171	2157 I	15	ZOPE	388510.28	310036.68	378.10
172	2157 II	1	BOCANA	387229.37	287626.26	6.17
172	2157 II	2	BOLA DE MONTE	379263.99	290993.44	3.76
172	2157 II	3	BORJA	390018.28	295644.46	145.26
172	2157 II	4	CARA	385863.30	294261.12	6.15
172	2157 II	5	CARA SUCIA	388504.05	294706.56	35.50
172	2157 II	6	CASTANO	381284.90	293826.64	6.62
172	2157 II	7	CEIBA	386738.67	299564.69	94.04
172	2157 II	8	DORATE	383900.29	292585.81	4.92
172	2157 II	9	ENRIQUE	382804.28	296780.32	8.56
172	2157 II	10	GAMBOA	387221.95	297359.75	60.54
172	2157 II	11	GARITA	383640.65	289926.88	6.75
172	2157 II	12	GUAYABO	380693.05	300499.93	15.68
172	2157 II	13	GUISNAY	387593.88	299132.27	112.07
172	2157 II	14	MAGANA	379329.50	296685.27	9.67
172	2157 II	15	MONUMENTO 4	378381.93	291402.41	6.90
172	2157 II	16	NUEVA YORK	389767.75	292723.95	65.68
172	2157 II	17	PLAYONES	379980.76	298608.65	15.20
172	2157 II	18	PORVENIR	385093.58	288591.45	5.60
172	2157 II	19	SANTIAGO	391406.22	285582.76	7.70
172	2157 II	20	SILVESTRE	389622.58	300054.87	265.38
172	2157 II	21	TIHUILOTE	387536.06	291909.78	3.48
172	2157 II	22	ZAPOTE	388954.22	287457.70	4.77

182	2158 II	1	CONGUACO	389119.80	325153.46	
182	2158 II	2	MOYUTA	381809.37	323086.39	1665.00
261	2256 I	1	ACIMUT CABALLERO	423471.71	274765.34	
261	2256 I	2	ALABI	440405.87	275168.48	521.87
261	2256 I	3	ALEMAN	422232.65	281046.30	201.97
261	2256 I	4	ANIELLO	421504.80	269851.69	23.05
261	2256 I	5	APANCOYO	432350.42	276799.50	305.30
261	2256 I	6	ASISCLO	429124.83	276932.98	201.64
261	2256 I	7	AYACACHAPA	429752.43	267524.77	3.68
261	2256 I	8	BAMBU	441620.30	273153.91	544.26
261	2256 I	9	BARRA CIEGA	421965.43	267925.73	13.78
261	2256 I	10	BOLSITA	421041.55	277375.73	117.51
261	2256 I	11	CABALLERO	424497.51	274875.75	190.26
261	2256 I	12	CACAO	427995.98	282201.45	297.57
261	2256 I	13	CAJAL	426080.56	269181.48	2.08
261	2256 I	14	CAMPO	424036.80	272827.62	118.27
261	2256 I	15	CANOA	435960.56	274416.73	416.77
261	2256 I	16	CASTILLO	429280.84	272377.28	201.57
261	2256 I	17	CHIMAPALA	419400.89	270136.61	15.50
261	2256 I	18	CHIQUELECA	434068.03	268818.59	362.22
261	2256 I	19	COMBO	423218.93	276162.59	108.43
261	2256 I	20	COQUIAMA	430730.22	279115.80	385.51
261	2256 I	21	CORNELIA	431780.32	266921.74	4.29
261	2256 I	22	COROZAL	432027.66	270918.93	270.18
261	2256 I	23	CRUZONA	438974.19	279210.20	662.89
261	2256 I	24	CUELLAR	440107.92	270724.92	428.91
261	2256 I	25	CUERVO	431058.46	267969.51	207.89
261	2256 I	26	CUISNAHUAT	435650.45	280133.60	517.74
261	2256 I	27	EDEN	420008.90	280978.69	150.73
261	2256 I	28	EL ESCALON	437295.23	281999.39	615.19
261	2256 I	29	EL MOJON	442118.67	282020.84	825.00
261	2256 I	30	ELADIO	420701.29	279589.89	160.76
261	2256 I	31	FRANCIA	435703.45	277448.86	402.67
261	2256 I	32	ISHUATAN	437370.76	275744.65	445.34
261	2256 I	33	LA ENSENADA	430491.83	282362.48	415.35
261	2256 I	34	LA PEDRERA	425608.36	271961.98	142.33
261	2256 I	35	MARIA	425546.37	277919.52	177.80
261	2256 I	36	MATAZANO	444274.99	277194.05	790.10
261	2256 I	37	MEDIA LUNA	421826.53	273451.03	53.83
261	2256 I	38	MIZATA	436252.08	265913.76	224.79
261	2256 I	39	PASO DE CANOA	432849.36	273222.36	237.68
261	2256 I	40	PETROZZINO	422068.69	267969.00	14.75
261	2256 I	41	PRESIDIO	421710.86	272102.78	36.39
261	2256 I	42	PRESIDIO 56	423249.70	270562.93	35.26
261	2256 I	43	QUEBRACHAL	438030.17	272931.82	477.28
261	2256 I	44	RICARDO	419176.28	276943.78	92.26
261	2256 I	45	ROBLEDO	427387.42	273671.30	217.22
261	2256 I	46	RODRIGUEZ	422270.70	270220.10	125.74

264	2256	IV	1	ACAJUTLA	410935.49	274879.37	52.12
264	2256	IV	2	AGUJA	417800.94	272996.26	43.67
264	2256	IV	3	ATALAYITA	414051.38	279517.26	96.28
264	2256	IV	4	BOCANA CAUTA	401919.46	280166.95	4.24
264	2256	IV	5	BOCANA HUISCOYOL	417847.36	267927.99	4.07
264	2256	IV	6	CERROS	418560.83	279925.19	132.32
264	2256	IV	7	CESSA	410158.06	272482.24	42.27
264	2256	IV	8	COLONIZACION	406724.89	281889.10	57.35
264	2256	IV	9	COMUNIDAD	404950.79	282050.33	29.78
264	2256	IV	10	EL HUACAL	402838.87	282662.99	26.34
264	2256	IV	11	EL PEROL	410393.90	281144.46	69.61
264	2256	IV	12	FELIX	409959.31	278432.78	29.15
264	2256	IV	13	FLOR	414696.69	269923.97	33.00
264	2256	IV	14	GUIROLA	414831.42	272451.78	52.55
264	2256	IV	15	ISLA LA	401875.21	280259.47	
264	2256	IV	16	KM 78	414910.53	278651.87	
264	2256	IV	17	LA ATALAYA	408418.30	276639.58	16.08
264	2256	IV	18	LOS COBANOS	413069.45	268165.10	23.65
264	2256	IV	19	METALIO	404428.65	280385.65	7.57
264	2256	IV	20	MIRAVALLE	417041.10	275886.27	102.12
264	2256	IV	21	NAPOLEON	417269.16	279655.92	123.15
264	2256	IV	22	PROVIDENCIA	413388.26	271404.32	36.74
264	2256	IV	23	PUNTA REMEDIOS	412801.78	267109.66	
264	2256	IV	24	RAUL	418244.53	274345.82	54.51
264	2256	IV	25	REGALADO	412121.39	270039.93	25.70
264	2256	IV	26	SALAVERRIA	411851.36	272501.10	39.84
264	2256	IV	27	SALINITAS	411464.73	268987.49	22.27
264	2256	IV	28	SAN CARLOS	408010.04	279308.63	29.47
264	2256	IV	29	SHONENBERG	412350.07	276776.86	67.49
264	2256	IV	30	SIMON	417343.91	279716.09	121.05
264	2256	IV	31	SUNCITA	407814.82	277999.55	10.66
264	2256	IV	32	VENADO	413714.76	275209.72	68.18
264	2256	IV	33	VICTOR	418368.78	269603.14	16.09
271	2257	I	1	ABREGO	441103.11	314234.34	764.77
271	2257	I	2	APANTES	423485.13	302085.51	1080.75
271	2257	I	3	AQUINO	444854.07	303949.15	945.97
271	2257	I	4	AYUTEPEQUE	431831.70	311565.84	1013.38
271	2257	I	5	BOSQUE LIA	428805.93	307228.92	1907.60
271	2257	I	6	BUENOS AIRES	430627.71	305831.73	1798.76
271	2257	I	7	CACERES	420284.96	307484.51	1415.21
271	2257	I	8	CACHILLO	419801.30	308906.22	1841.12
271	2257	I	9	CADENAS	427639.89	319300.70	717.04
271	2257	I	10	CALVARIO	426213.31	316349.96	833.05
271	2257	I	11	CANITAS	442649.09	308068.41	1002.08
271	2257	I	12	CASTRO	428968.58	317009.82	766.58
271	2257	I	13	CERRO LEONA	442163.40	308981.60	1103.00
271	2257	I	14	CHALCHUAPA	425662.06	319243.22	695.91

271	2257 I	11	CANITAS	442649.09	308068.41	1002.08
271	2257 I	12	CASTRO	428968.58	317009.82	766.58
271	2257 I	13	CERRO LEONA	442163.40	308981.60	1103.00
271	2257 I	14	CHALCHUAPA	425662.06	319243.22	695.91
271	2257 I	15	CHALCHUAPA IGLESIA	426486.58	318218.46	
271	2257 I	16	CHELON	438119.42	307357.56	1265.53
271	2257 I	17	CHOCHILLO	419801.26	308906.28	
271	2257 I	18	COLOMBIA	424445.92	310637.22	1283.80
271	2257 I	19	CRUZ GORDA	423560.07	305187.89	1220.75
271	2257 I	20	CULEBRERO	445592.56	319447.58	621.44
271	2257 I	21	DE SOLA	432084.70	305928.94	1737.37
271	2257 I	22	EL AGUILA	424239.40	307919.40	2035.97
271	2257 I	23	EL REFUGIO	421921.29	319509.84	628.10
271	2257 I	24	ERAZO	419096.59	305559.43	1181.88
271	2257 I	25	GUINEO	445217.64	306154.87	923.07
271	2257 I	26	HILARIO	424102.75	317601.67	744.43
271	2257 I	27	IGLESIA DEL CARMEN SANTA ANA	439831.84	318769.62	
271	2257 I	28	ISCAQUILIO	422193.32	316610.35	738.87
271	2257 I	29	KM 77	429001.92	318488.02	697.49
271	2257 I	30	LA PIEDRONA	422217.59	301487.43	1062.32
271	2257 I	31	LAS CRUCES	428856.74	309601.31	1162.07
271	2257 I	32	LEONOR	441762.29	316031.05	699.61
271	2257 I	33	LIDIA	427021.49	316165.05	850.46
271	2257 I	34	MALACOFF	444938.05	313651.55	784.34
271	2257 I	35	MALACOFF II	444934.04	313658.56	784.82
271	2257 I	36	MENENDEZ	421800.41	310232.32	1387.22
271	2257 I	37	MI TIERRA	431907.57	309318.69	1226.45
271	2257 I	38	MORAGA	439159.40	319596.48	639.78
271	2257 I	39	MORENA	425758.80	312416.18	1045.69
271	2257 I	40	MORRO	443349.18	302996.37	1105.64
271	2257 I	41	OCHUPSE	436270.33	305739.51	1489.64
271	2257 I	42	OLIMPO	425342.47	309102.13	1965.86
271	2257 I	43	OMOA	431166.88	319732.58	694.95
271	2257 I	44	PACAS	435398.50	309242.67	
271	2257 I	45	PALMAR	438189.64	316318.07	741.09
271	2257 I	46	PENATE	440504.29	316002.29	714.99
271	2257 I	47	PERIQUERA	426834.82	303467.12	1332.43
271	2257 I	48	PLAN DE HERNANDEZ	419139.59	308864.60	1842.85
271	2257 I	49	PORTEZUELO	435843.85	317942.61	784.94
271	2257 I	50	PRADO	440903.17	316923.65	685.29
271	2257 I	51	PRIMAVERA	443869.43	315454.92	676.69
271	2257 I	52	QUINONEZ	437631.34	319567.98	912.31
271	2257 I	53	RANAS	422734.01	308460.46	1951.51
271	2257 I	54	RANAS LAS	422503.43	308942.91	
271	2257 I	55	RETIRO	430190.80	308476.33	1474.74
271	2257 I	56	REYES	444241.92	304583.25	1040.84
271	2257 I	57	SAN PEDRO	428228.22	312135.32	956.20
271	2257 I	58	SAN SEBASTIAN	430605.54	315510.10	834.97
271	2257 I	59	SANTA	422221.22	302222.52	2222.42

271	2257 I	55	RETIRO	430190.80	308476.33	1474.74
271	2257 I	56	REYES	444241.92	304583.25	1040.84
271	2257 I	57	SAN PEDRO	428228.22	312135.32	956.20
271	2257 I	58	SAN SEBASTIAN	430605.54	315510.10	834.97
271	2257 I	59	SANTA	430904.26	303308.56	2362.42
271	2257 I	60	SANTA ANA	432067.80	303719.81	2381.10
271	2257 I	61	SANTA ANA 2	431506.71	304173.78	2365.07
271	2257 I	62	SANTA LUCIA	438297.01	318733.02	799.26
271	2257 I	63	SOLORZANO	437710.91	313630.38	859.17
271	2257 I	64	TAPACUN	419324.34	310281.52	1269.09
271	2257 I	65	TAZUNAL 1960	427155.69	317498.66	740.28
271	2257 I	66	TECANA	441833.42	319019.04	800.44
271	2257 I	67	TESORO	440120.05	310907.64	910.90
271	2257 I	68	TIJIBOY	425129.52	318017.05	725.65
271	2257 I	69	UNION	420228.26	303622.04	1106.92
271	2257 I	70	VALENCIA	434020.30	305322.06	1707.32
271	2257 I	71	ZACAMIL	424349.19	315354.24	914.08
272	2257 II	1	AGRONOMIA	423932.22	293595.76	422.39
272	2257 II	2	AGUA SANTA	420399.92	287860.52	231.58
272	2257 II	3	ARENAL	420905.89	293495.42	499.30
272	2257 II	4	ARMAS	432005.31	287849.35	576.19
272	2257 II	5	ASUNCION 63	427069.04	291646.85	437.50
272	2257 II	6	ATECOZOL	428540.88	291316.94	413.06
272	2257 II	7	BALSAMAR	434810.38	283901.02	592.34
272	2257 II	8	BEBEDERO	436666.59	291320.63	561.68
272	2257 II	9	BENJAMIN	435621.34	292160.79	568.75
272	2257 II	10	BOLENS	431981.05	283566.71	484.85
272	2257 II	11	CABALLITO	443844.48	289059.51	1083.11
272	2257 II	12	CACALUTA	437538.16	284585.10	743.41
272	2257 II	13	CALUCO	427564.55	288872.57	402.73
272	2257 II	14	CALVO	429734.81	296241.96	834.43
272	2257 II	15	CANALES	421004.14	300950.94	1024.25
272	2257 II	16	CEMENTERIO	420819.72	289465.67	297.17
272	2257 II	17	CERRO ALTO	440917.08	289969.89	953.45
272	2257 II	18	CERRO VERDE	432530.20	300718.55	2030.43
272	2257 II	19	CHACARA	430140.71	286975.70	512.94
272	2257 II	20	CHAPINA	426551.48	287313.04	337.52
272	2257 II	21	CHINITO	435688.08	298165.55	1323.29
272	2257 II	22	CHORRO ARRIBA	429915.95	293061.73	553.12
272	2257 II	23	COMALAPA	430109.16	286570.85	663.28
272	2257 II	24	CUAITA	430675.27	291187.72	494.61
272	2257 II	25	CUARTEL	421381.82	290216.18	343.49
272	2257 II	26	CULVERT	440597.56	293512.43	682.69
272	2257 II	27	CUSAMALUCO	421934.58	298317.11	783.75
272	2257 II	28	CUYAGUALO	432685.32	294032.50	690.75
272	2257 II	29	DURAN	428923.50	284172.26	468.08
272	2257 II	30	ESPEJOS	438892.45	293052.05	635.75
272	2257 II	31	GUAMATEPE	412512.72	285127.22	782.22

272	2257 II	27	CUSAMALUCO	421934.58	298317.11	783.75
272	2257 II	28	CUYAGUALO	432685.32	294032.50	690.75
272	2257 II	29	DURAN	428923.50	284172.26	468.08
272	2257 II	30	ESPEJOS	438892.45	293052.05	635.75
272	2257 II	31	GIAMMATTEI	440516.72	295137.92	729.66
272	2257 II	32	HDA CUAITA	430651.46	291216.98	494.81
272	2257 II	33	HECTOR	419273.16	285547.52	183.78
272	2257 II	34	HERRADO	421645.74	283566.96	185.54
272	2257 II	35	HNOS REGALADO	436123.91	296051.49	902.78
272	2257 II	36	ISIDRO	440132.34	295942.14	747.77
272	2257 II	37	IZALCO	425711.89	290471.80	395.17
272	2257 II	38	JULIETA	426994.03	300268.12	999.11
272	2257 II	39	LA LEONA	435200.36	287656.57	801.98
272	2257 II	40	LA VIRGEN	429655.33	294429.42	664.91
272	2257 II	41	LAGARTOS	439147.30	290094.02	533.03
272	2257 II	42	LAVA	431195.22	297187.98	1093.45
272	2257 II	43	LOMA CHATA	438649.86	298315.67	941.05
272	2257 II	44	MACARENA	430352.84	301034.46	1616.85
272	2257 II	45	NAHUILINGO	423237.57	288317.27	235.64
272	2257 II	46	NANAHUAZIN	445520.80	287904.78	1164.74
272	2257 II	47	NICARAGUA	426751.24	284599.04	393.62
272	2257 II	48	NOYOLA	425552.43	288849.60	323.76
272	2257 II	49	OVEJAS	425042.57	284043.34	296.81
272	2257 II	50	PACHAS	433662.80	290534.34	519.26
272	2257 II	51	PAJA	440375.34	288658.65	755.42
272	2257 II	52	PANCOTA	425790.69	286323.48	314.72
272	2257 II	53	PAPALUATE	419845.40	299508.31	875.12
272	2257 II	54	PENA BLANCA	439490.32	284818.40	814.03
272	2257 II	55	PERICO	438834.78	300625.79	1124.40
272	2257 II	56	PETACAS	442803.37	287694.27	968.00
272	2257 II	57	PLAN AMAYO	429477.60	285315.59	298.44
272	2257 II	58	PRESA	444081.64	298950.65	664.36
272	2257 II	59	RITO	419492.45	289000.72	297.36
272	2257 II	60	RODORIGUEZ	436727.12	293870.73	704.18
272	2257 II	61	SABANA	423211.55	295606.98	605.83
272	2257 II	62	SAN BERNARDO	424585.64	298123.26	726.95
272	2257 II	63	SAN CAYETANO	442007.32	296960.61	709.72
272	2257 II	64	SAN JOSE	444636.60	294056.84	600.98
272	2257 II	65	SAN MARCOS	419604.73	295027.91	619.46
272	2257 II	66	SHUCA	437789.38	286056.52	777.76

272	2257 II	27	CUSAMALUCO	421934.58	298317.11	783.75
272	2257 II	28	CUYAGUALO	432685.32	294032.50	690.75
272	2257 II	29	DURAN	428923.50	284172.26	468.08
272	2257 II	30	ESPEJOS	438892.45	293052.05	635.75
272	2257 II	31	GIAMMATTEI	440516.72	295137.92	729.66
272	2257 II	32	HDA CUAITA	430651.46	291216.98	494.81
272	2257 II	33	HECTOR	419273.16	285547.52	183.78
272	2257 II	34	HERRADO	421645.74	283566.96	185.54
272	2257 II	35	HNOS REGALADO	436123.91	296051.49	902.78
272	2257 II	36	ISIDRO	440132.34	295942.14	747.77
272	2257 II	37	IZALCO	425711.89	290471.80	395.17
272	2257 II	38	JULIETA	426994.03	300268.12	999.11
272	2257 II	39	LA LEONA	435200.36	287656.57	801.98
272	2257 II	40	LA VIRGEN	429655.33	294429.42	664.91
272	2257 II	41	LAGARTOS	439147.30	290094.02	533.03
272	2257 II	42	LAVA	431195.22	297187.98	1093.45
272	2257 II	43	LOMA CHATA	438649.86	298315.67	941.05
272	2257 II	44	MACARENA	430352.84	301034.46	1616.85
272	2257 II	45	NAHUILINGO	423237.57	288317.27	235.64
272	2257 II	46	NANAHUAZIN	445520.80	287904.78	1164.74
272	2257 II	47	NICARAGUA	426751.24	284599.04	393.62
272	2257 II	48	NOYOLA	425552.43	288849.60	323.76
272	2257 II	49	OVEJAS	425042.57	284043.34	296.81
272	2257 II	50	PACHAS	433662.80	290534.34	519.26
272	2257 II	51	PAJA	440375.34	288658.65	755.42
272	2257 II	52	PANCOTA	425790.69	286323.48	314.72
272	2257 II	53	PAPALUATE	419845.40	299508.31	875.12
272	2257 II	54	PENA BLANCA	439490.32	284818.40	814.03
272	2257 II	55	PERICO	438834.78	300625.79	1124.40
272	2257 II	56	PETACAS	442803.37	287694.27	968.00
272	2257 II	57	PLAN AMAYO	429477.60	285315.59	298.44
272	2257 II	58	PRESA	444081.64	298950.65	664.36
272	2257 II	59	RITO	419492.45	289000.72	297.36
272	2257 II	60	RODORIGUEZ	436727.12	293870.73	704.18
272	2257 II	61	SABANA	423211.55	295606.98	605.83
272	2257 II	62	SAN BERNARDO	424585.64	298123.26	726.95
272	2257 II	63	SAN CAYETANO	442007.32	296960.61	709.72
272	2257 II	64	SAN JOSE	444636.60	294056.84	600.98
272	2257 II	65	SAN MARCOS	419604.73	295027.91	619.46
272	2257 II	66	SHUCA	437789.38	286056.52	777.76

273	2257 <sup>III</sup>	30	MILLA	394312.16	296777.22	344.61
273	2257 <sup>III</sup>	31	MONTE HERMOSO	399090.38	297881.27	685.86
273	2257 <sup>III</sup>	32	MORRO GRANDE	408871.93	284377.83	128.46
273	2257 <sup>III</sup>	33	MOSCUA	409190.04	286426.23	183.07
273	2257 <sup>III</sup>	34	PLATANARES	409172.69	289200.62	280.41
273	2257 <sup>III</sup>	35	PUENTECITOS	408286.00	293670.45	508.73
273	2257 <sup>III</sup>	36	PUXTLA	412159.04	295098.92	615.00
273	2257 <sup>III</sup>	37	RANCHON	416335.81	283301.14	153.22
273	2257 <sup>III</sup>	38	RAUDA	418797.60	297483.69	816.48
273	2257 <sup>III</sup>	39	RICO	413354.84	283200.46	115.61
273	2257 <sup>III</sup>	40	RIO FRIO	418778.07	291448.66	421.60
273	2257 <sup>III</sup>	41	ROSA	417183.27	288041.23	272.64
273	2257 <sup>III</sup>	42	ROSARIO ARRIBA	405538.54	296918.76	623.65
273	2257 <sup>III</sup>	43	SALAMO	411237.88	283808.21	116.48
273	2257 <sup>III</sup>	44	SALCOATITAN	417592.18	300549.26	1056.92
273	2257 <sup>III</sup>	45	SALTO EL	401054.12	296025.61	721.50
273	2257 <sup>III</sup>	46	SALTO 59	401055.36	296040.26	718.99
273	2257 <sup>III</sup>	47	SAN BENITO	393173.46	295709.56	248.05
273	2257 <sup>III</sup>	48	SAN MARTIN	404906.59	288284.59	193.29
273	2257 <sup>III</sup>	49	SANTA ELENA	406609.43	285779.88	134.69
273	2257 <sup>III</sup>	50	SANTA EMILIA	416349.74	284974.82	202.84
273	2257 <sup>III</sup>	51	SUBURBIO	408107.52	283199.20	97.33
273	2257 <sup>III</sup>	52	SULTANA	416330.09	300423.03	1127.16
273	2257 <sup>III</sup>	53	TALCHICA	401982.46	295583.55	682.80
273	2257 <sup>III</sup>	54	TEPANACTA	418624.38	295528.74	690.23
273	2257 <sup>III</sup>	55	TEQUENDAMA	411736.34	298777.26	941.67
273	2257 <sup>III</sup>	56	TEXISPULCO	414134.80	293934.09	560.43
273	2257 <sup>III</sup>	57	TEXUCIN	410081.21	300256.26	1133.66
273	2257 <sup>III</sup>	58	TIHUICHA	403146.92	293262.79	442.65
273	2257 <sup>III</sup>	59	TONO	396773.93	284320.21	3.86
273	2257 <sup>III</sup>	60	VALENZUELA	397307.09	295797.71	419.41
273	2257 <sup>III</sup>	61	VALLE MORA	404176.95	284033.71	61.03
274	2257 <sup>IV</sup>	1	ACHAPUCO	410973.02	315936.93	674.30
274	2257 <sup>IV</sup>	2	AGUA CALIENTE	410004.34	308373.93	1021.52
274	2257 <sup>IV</sup>	3	AHUACHAPAN PARROQUIA	408333.45	310879.67	
274	2257 <sup>IV</sup>	4	ALFONSO	406541.33	303273.17	1436.82
274	2257 <sup>IV</sup>	5	ALTA CRESTA	412700.86	301886.65	1816.05
274	2257 <sup>IV</sup>	6	APANECA CERRO	412689.95	301896.21	1818.80

274	2257	IV	7	APANECA IGLESIA DE CRUZ	412984.13	304277.56	
274	2257	IV	8	ARTERO	414063.96	303806.84	1595.06
274	2257	IV	9	ATACO	408968.52	302687.77	1393.96
274	2257	IV	10	ATACO IGLESIA DE CRUZ	408108.36	305472.66	
274	2257	IV	11	ATQUIZAYA IGLESIA	418303.21	317262.13	621.70
274	2257	IV	12	BALSAMERO	393235.80	301588.02	537.32
274	2257	IV	13	CAMPANA SUR	401234.26	303998.69	1422.83
274	2257	IV	14	CAMPANA SUR II	401275.92	303962.60	1426.05
274	2257	IV	15	CARLOS	402552.86	309762.40	770.02
274	2257	IV	16	CARMELO	418081.04	315211.66	746.06
274	2257	IV	17	CARTAGO	406070.59	307841.28	930.92
274	2257	IV	18	CERRITOS	411143.86	312997.33	745.31
274	2257	IV	19	CHAYAL	418920.43	313327.61	881.53
274	2257	IV	20	CUSMAPA	397973.83	309928.29	677.66
274	2257	IV	21	EL CABALLO	396372.91	305164.71	1297.06
274	2257	IV	22	EL CERRITO	413880.89	303871.75	1621.99
274	2257	IV	23	EL CHICO	406790.20	305608.68	1425.39
274	2257	IV	24	EL ROBLE	410364.67	318518.92	638.52
274	2257	IV	25	EL RODEO	398686.30	312376.25	589.61
274	2257	IV	26	EMPALIZADA	407704.46	307114.10	1385.45
274	2257	IV	27	ESPINO	407479.08	312945.69	749.14
274	2257	IV	28	FEDERICO	396825.56	316703.86	543.63
274	2257	IV	29	FINCONA	393407.08	302481.02	668.15
274	2257	IV	30	HUATALES	406458.48	310090.79	735.23
274	2257	IV	31	INGENIO	417833.63	309498.39	1439.70
274	2257	IV	32	JOBO	414802.00	316822.84	560.06
274	2257	IV	33	JUAYUA	418675.73	301695.42	1024.24
274	2257	IV	34	JUNQUILLO	407465.68	319312.01	632.77
274	2257	IV	35	LA CAPILLA	415977.72	310202.31	998.47
274	2257	IV	36	LABOR 59	414925.43	313849.31	670.00
274	2257	IV	37	LAGUNA VERDE CM DE L	415161.64	308188.12	1699.01
274	2257	IV	38	LAGUNA VERDE II	415532.50	307703.10	1829.12
274	2257	IV	39	LOMA DE ALARCON	414113.29	318837.63	542.26
274	2257	IV	40	LOMA LARGA	395350.29	315420.08	441.70
274	2257	IV	41	LOS HORCONES	402823.77	317068.56	623.00
274	2257	IV	42	MAX	401039.53	318150.01	620.87
274	2257	IV	43	MONTOSO	392197.02	312650.66	716.13
274	2257	IV	44	MORAN	412539.31	319338.10	591.58
274	2257	IV	45	ORO	416355.36	303009.68	1527.99
274	2257	IV	46	PANDEADURA	403517.57	307807.12	923.41
274	2257	IV	47	PIQUE	403275.09	312970.18	716.44
274	2257	IV	48	RINCON DEL MACHO	400123.62	319661.33	513.80
274	2257	IV	49	SAITILLAL	412502.58	307195.87	1465.09
274	2257	IV	50	SANTA MARIA	405908.60	314470.00	95.20
274	2257	IV	51	SILVA	405685.20	314041.07	763.27
274	2257	IV	52	TACUBA	399188.73	309230.73	693.59
274	2257	IV	53	TACUBA TORRE RELOJ	399214.55	309215.06	716.00
274	2257	IV	54	TAMBOR	394833.84	307975.49	1266.73
274	2257	IV	55	TOLUCA	393379.99	311999.75	994.99

274	2257 IV	51	SILVA	405685.20	314041.07	763.27
274	2257 IV	52	TACUBA	399188.73	309230.73	693.59
274	2257 IV	53	TACUBA TORRE RELOJ	399214.55	309215.06	716.00
274	2257 IV	54	TAMBOR	394833.84	307975.49	1266.73
274	2257 IV	55	TOLES	399070.00	314833.75	604.28
274	2257 IV	56	TURIN EAST	417032.30	315568.24	644.04
274	2257 IV	57	TURIN WEST	412291.71	314327.11	626.24
274	2257 IV	58	VINAS	407132.98	316666.14	703.53
281	2258 I	1	ASUNCION MITA TORRE DE LA COMA	423421.83	356733.47	
281	2258 I	2	CALCINAPA	444901.27	344936.48	592.67
281	2258 I	3	CAMPANA NORTE	431042.58	341893.22	958.60
281	2258 I	4	CERRON	431981.42	342372.00	977.70
281	2258 I	5	CONYUCA	444053.29	341689.14	553.70
281	2258 I	6	CUCHARA	442023.89	338757.51	706.54
281	2258 I	7	CUSMAPA	443661.01	345304.37	677.66
281	2258 I	8	EL TIGRE	441463.28	341869.10	631.23
281	2258 I	9	ESTACION 1250 M	427518.39	339132.96	
281	2258 I	10	ESTACION 19	432953.54	342301.74	937.37
281	2258 I	11	ESTORAQUE	436254.75	340131.86	799.50
281	2258 I	12	LA BARRA	441059.20	349423.05	437.70
281	2258 I	13	LA PIEDRA	445538.94	338485.35	640.40
281	2258 I	14	LOMA PAJOSA	433521.57	341296.31	802.20
281	2258 I	15	LOS NEGRITOS	443091.79	354602.91	632.81
281	2258 I	16	MONGOY	424033.90	345863.29	947.00
281	2258 I	17	OSUTUA	439532.36	356716.30	511.14
281	2258 I	18	PAJONAL	436902.23	341334.39	544.66
281	2258 I	19	PINALITO	438984.86	338940.36	871.08
281	2258 I	20	SAN CRISTBAL	428013.05	340280.93	654.30
281	2258 I	21	SANTIAGO FRONTERA	433912.56	339289.02	565.51
281	2258 I	22	TAMASURAPA PUNTE DE TORRE NOF	422608.41	353481.50	
281	2258 I	23	TECOMAPA	444265.45	354679.25	583.56
281	2258 I	24	TIPA	443339.48	346739.28	436.70
281	2258 I	25	TONTO	442813.18	356608.64	657.94
281	2258 I	26	TULTEPEQUE	422324.58	355673.76	634.00

282	2258 II	1	AYUTA	435132.55	324321.47	810.63
282	2258 II	2	BATALLA	441830.55	321942.65	570.47
282	2258 II	3	BERGANZA	442009.22	335620.03	586.20
282	2258 II	4	CAMALOTE	432187.61	329635.88	647.74
282	2258 II	5	CAMPO SANTO	422687.98	335766.27	1027.30
282	2258 II	6	CANDELARIA	429676.56	332673.46	711.30
282	2258 II	7	CANTON MIGUEL	438576.69	335312.41	705.05
282	2258 II	8	CASACA	442824.01	329046.99	560.05
282	2258 II	9	CASUN	420040.40	320971.86	633.93
282	2258 II	10	CERRO COLORADO	440101.59	336889.99	691.03
282	2258 II	11	CERRO LAGUNETA	424239.70	327726.93	882.93
282	2258 II	12	CHINA	442737.76	319846.96	798.09
282	2258 II	13	CHINGO	421658.47	332985.90	1777.40
282	2258 II	14	CHIVOS	440594.37	330261.47	1133.73
282	2258 II	15	CLEMENTE	440553.96	323963.30	980.63
282	2258 II	16	COCO	422062.44	328620.17	823.39
282	2258 II	17	COMPANIA	420923.69	336962.54	897.50
282	2258 II	18	CRUZ VERDE	445999.59	332589.48	483.62
282	2258 II	19	CUJUCUYO	445024.74	328998.25	553.96
282	2258 II	20	EL FARO	438709.52	322368.34	1114.57
282	2258 II	21	EL PINITO	430258.62	338015.90	1057.16
282	2258 II	22	EL PINTO	430258.55	338015.90	
282	2258 II	23	ELISEO	434839.91	328249.10	677.84
282	2258 II	24	FOLLAJE	433309.86	321235.47	891.94
282	2258 II	25	GALAN	428670.39	336049.56	1003.61
282	2258 II	26	GALEANO	425505.87	321155.76	689.74
282	2258 II	27	GRANADA	436294.71	322364.80	1018.81
282	2258 II	28	GUASHALA	422850.97	322395.33	647.95
282	2258 II	29	HERMINIA	443332.36	333402.74	485.51
282	2258 II	30	ISLAMATEPEQUE	426719.39	337277.91	1203.07
282	2258 II	31	JUNTA CHINGO	420866.25	323260.54	639.60
282	2258 II	32	KM. 5	443053.85	323037.30	544.01
282	2258 II	33	KM. 9	444254.63	326170.45	515.67
282	2258 II	34	LA MAGDALENA	424446.32	324285.63	623.49
282	2258 II	35	LA OLLA	420721.64	326358.66	932.10
282	2258 II	36	LAS ARADAS	429246.22	327331.46	947.75
282	2258 II	37	MAL PASO	436392.58	338219.48	910.90
282	2258 II	38	MALACARA	425553.51	328572.81	924.92
282	2258 II	39	MARIANO	444266.40	331705.57	513.63
282	2258 II	40	MEDRANO	424554.70	320565.97	689.38
282	2258 II	41	MILAGRO	442544.88	323113.16	639.45
282	2258 II	42	MINERAL	438180.58	325456.58	1107.07

282	2258 II	43	MONUMENTO 189 ESTACION	420137.26	328269.90	640.60
282	2258 II	44	NISPERO	443333.85	325783.75	854.92
282	2258 II	45	OSUCURO	424074.57	325437.07	672.25
282	2258 II	46	PADRE	445303.54	336149.63	688.67
282	2258 II	47	PASTE	423375.28	334135.89	1370.26
282	2258 II	48	PINAL	432241.32	334486.17	1132.23
282	2258 II	49	PINAL NORTE	432475.45	335102.59	1123.15
282	2258 II	50	QUEMADO	429302.48	329478.34	841.29
282	2258 II	51	SAN ISIDRO	424481.29	332396.00	1088.26
282	2258 II	52	SAN JERONIMO	435753.43	330192.21	717.98
282	2258 II	53	SANTA RITA	433236.11	337792.61	765.07
282	2258 II	54	SAYULZA	438691.33	322391.14	1112.50
282	2258 II	55	SENCA	429458.73	323566.70	970.65
282	2258 II	56	SINGUIL	431785.31	325631.08	962.40
282	2258 II	57	SINGUIL II	431785.26	325630.77	957.17
282	2258 II	58	TABLAS	427574.60	323833.30	1035.46
282	2258 II	59	TACHIPEGUE	427177.80	321584.23	847.56
282	2258 II	60	TANQUE	423159.24	329816.04	999.30
282	2258 II	61	TECOMATAN CM DEL	438849.71	332342.40	1211.74
282	2258 II	62	TEJAS	435627.56	332290.85	757.27
282	2258 II	63	TRAPICHE	440354.74	321766.97	665.91
282	2258 II	64	YUPE	426234.34	333342.82	1581.41
283	2258 III	1	ANTEOJO	408199.32	320711.62	587.98
283	2258 III	2	ARTILLERIA	402738.42	322137.03	550.62
283	2258 III	3	ARTILLERIA II	402796.95	321491.18	579.21
283	2258 III	4	ATIQUIZAYA	418337.05	320868.80	635.63
283	2258 III	5	CHINAMAS	405169.76	320479.64	571.48
283	2258 III	6	COMAPA	400112.24	331579.33	1460.20
283	2258 III	7	CRUCES LAS	416300.40	327169.55	1085.50
283	2258 III	8	ESCALANTE	405777.29	322142.73	532.48
283	2258 III	9	FRIO	411087.00	321579.80	556.51
283	2258 III	10	GIGANTE	396587.37	320507.82	
283	2258 III	11	GUASCOTA	414393.07	321793.31	580.30
283	2258 III	12	JICARAL	412936.71	325913.69	
283	2258 III	13	JICARAL 59	411650.44	325593.43	516.73
283	2258 III	14	JUNTA PAZ	408364.53	327222.86	737.30
283	2258 III	15	LINDA VISTA	416614.68	322552.79	612.31
283	2258 III	16	PAJA LA	396345.45	327473.27	528.70
283	2258 III	17	PINAL	414064.67	327595.36	1068.80
283	2258 III	18	PINOS LOS	418178.29	327122.77	
283	2258 III	19	PORTILLO EL	416154.38	323207.75	
283	2258 III	20	PULULA	401584.29	323089.65	528.60
283	2258 III	21	ZUNCA	416446.19	319940.04	606.02

284	2258 IV	1	YUPI CM DE L	413330.92	342579.04	1442.70
291	2259 I	1	CEIBA LA	432825.63	375668.25	
291	2259 I	2	PETAQUILLA	430427.08	375779.74	1008.90
292	2259 II	1	ACHIOTES	436016.89	373164.18	1172.80
292	2259 II	2	AGUAJE	441267.26	370672.08	950.40
292	2259 II	3	AMATE LOMA DEL	430667.65	370575.29	
292	2259 II	4	BLANCO	443549.51	361509.38	617.20
292	2259 II	5	BRUJILLO	432382.14	371430.20	1212.60
292	2259 II	6	CERRO LAJAS	438956.81	359604.94	522.19
292	2259 II	7	CHATA	438816.50	363482.24	746.03
292	2259 II	8	CHEPE	443701.09	359366.32	799.31
292	2259 II	9	CIMA LA	434355.39	371151.92	
292	2259 II	10	COROZO	440797.77	358877.52	542.95
292	2259 II	11	DAVID	446057.79	359675.06	530.13
292	2259 II	12	GORDO	435115.29	367959.93	1029.60
292	2259 II	13	GUAYABILLAS	441221.01	364293.60	783.00
292	2259 II	14	IXTEPEQUE	426324.92	366710.17	1295.00
292	2259 II	15	JUNQUILLO	436344.29	356892.39	639.60
292	2259 II	16	LAJAS	436309.17	371948.84	1091.00
292	2259 II	17	MATILDE	444904.78	358547.38	737.28
292	2259 II	18	MINA LA	440891.06	360442.70	591.50
292	2259 II	19	PAPALGUAPA	430832.65	369110.59	
292	2259 II	20	PIEDRA PINTADA	434915.95	365761.17	975.20
292	2259 II	21	SHISTE	438165.08	364807.59	811.90
292	2259 II	22	TANQUE ANGUIATU	437710.21	358664.14	
292	2259 II	23	TORO EL	442642.20	364297.50	671.60
292	2259 II	24	URRUTIA	449329.12	362480.20	536.49
292	2259 II	25	VALERIO	446011.32	360267.94	867.11
293	2259 III	1	SUCHITAN	417031.40	363712.58	2005.10
361	2356 I	1	ALDEA SAN SEBASTIAN	486252.39	269526.53	442.36
361	2356 I	2	AMAQUILCO	474097.45	272855.37	630.02
361	2356 I	3	ANASTASIA	491493.02	278074.65	862.47
361	2356 I	4	BARBARA	477275.68	265230.63	173.33
361	2356 I	5	BARROSAS	478790.17	269742.63	482.47
361	2356 I	6	CHILAHUACAL	499738.98	278146.30	959.93
361	2356 I	7	CHILTE	490723.52	276034.88	867.04
361	2356 I	8	CHULO	479402.40	278048.80	
361	2356 I	9	CHULO II	479403.77	278050.44	1131.21
361	2356 I	10	DIABLO	479669.36	278478.63	1149.19
361	2356 I	11	EDUARDO	475042.43	267092.77	336.19
361	2356 I	12	EL AMATAON	494364.95	270018.01	350.33

361	2356 I	12	EL AMATAON	494364.95	270018.01	350.33
361	2356 I	13	HPP 4-155-Y	491067.95	282587.42	
361	2356 I	14	HUIZA	475381.27	271990.11	571.75
361	2356 I	15	HUIZUCAR	474280.01	274600.26	673.34
361	2356 I	16	KM-6	478169.23	282478.26	824.47
361	2356 I	17	LOMA LARGA	481197.23	280342.36	1123.13
361	2356 I	18	LOS ANDES	488662.37	271689.40	463.81
361	2356 I	19	MIGUEL	496980.12	273626.51	451.35
361	2356 I	20	MIRADOR	480062.96	280341.98	1019.51
361	2356 I	21	MONTANO	477798.48	271201.77	555.48
361	2356 I	22	NANCERA	492287.14	267947.25	281.08
361	2356 I	23	OLOCUILTA	487706.34	271184.27	509.85
361	2356 I	24	PALO GRANDE	476847.32	269560.53	443.77
361	2356 I	25	PANCHIMALCO	481538.98	277658.70	826.51
361	2356 I	26	ROSARIO II	499442.86	266601.15	518.09
361	2356 I	27	ROSARIO MORA	478757.11	272730.73	641.39
361	2356 I	28	SAN ANTONIO MASAHUAT	495921.47	271859.98	320.66
361	2356 I	29	SAN JUAN TEPEZONTES	499313.04	276916.73	775.30
361	2356 I	30	SOLEDAD	475476.01	282614.45	998.73
361	2356 I	31	TECUAN	478038.88	266653.98	626.83
361	2356 I	32	TEPEZONTES	493684.94	277910.36	1002.79
361	2356 I	33	TEXACUANGOS	487272.92	280144.07	786.87
361	2356 I	34	TUNANSHILO	480936.68	274141.55	815.37
362	2356 II	1	ACHOTAL	496586.04	253838.87	15.57
362	2356 II	2	ALFREDO	483781.92	257929.86	8.16
362	2356 II	3	AMATECAMPO	484318.78	254725.65	4.91
362	2356 II	4	APATACTA	488625.68	258729.64	21.74
362	2356 II	5	ASTORIA	494907.93	259373.27	37.68
362	2356 II	6	BETAGLIO	494015.04	261044.90	50.63
362	2356 II	7	BOCANITAS	481918.19	256017.07	3.81
362	2356 II	8	CANGREJERA	479658.73	260819.57	16.95
362	2356 II	9	CANGREJERA II	479811.32	260672.83	12.77
362	2356 II	10	CANTON EL PORVENIR	494112.78	252647.60	8.67
362	2356 II	11	CARRIZAL	486269.27	258603.48	14.58
362	2356 II	12	DIAMANTES II	486767.52	255448.93	6.47
362	2356 II	13	DUKE	494531.99	256523.00	20.34
362	2356 II	14	EVA	483067.78	261905.77	47.70
362	2356 II	15	GALLO	485229.24	262321.77	105.05
362	2356 II	16	HERVEDOR	490907.78	256666.09	15.70
362	2356 II	17	JIBOA	495578.83	254444.70	14.21
362	2356 II	18	LAS HOJAS	495185.54	248850.50	2.79
362	2356 II	19	LAS HOJAS 1960	495307.51	248796.00	3.54
362	2356 II	20	LAS PAMPAS	490938.97	259657.38	27.26
362	2356 II	21	LOS DIAMANTES	486680.04	255084.34	5.82
362	2356 II	22	LUNA	499762.62	253708.69	16.40
362	2356 II	23	MARCELINO	497364.24	247873.98	3.87
362	2356 II	24	MARISCAL	492222.17	258815.28	28.44
362	2356 II	25	MEDALA	476226.99	232211.11	79.19

362	2356 II	21	LOS DIAMANTES	486680.04	255084.34	5.82
362	2356 II	22	LUNA	499762.62	253708.69	16.40
362	2356 II	23	MARCELINO	497364.24	247873.98	3.87
362	2356 II	24	MARISCAL	492222.17	258815.28	28.44
362	2356 II	25	MERALA	476006.63	263011.11	78.49
362	2356 II	26	PALERA	479614.96	258277.74	5.29
362	2356 II	27	PEDREGAL	497443.73	258471.54	28.90
362	2356 II	28	TECUALUYA	489507.24	260923.64	34.57
362	2356 II	29	TIHUAPA	480273.18	261646.74	21.47
362	2356 II	30	TRES CEIBAS	497903.50	251741.56	8.32
362	2356 II	31	ZORRAL	499143.82	261357.15	64.13
363	2356 III	1	SIGNAL HILL	465404.43	263775.87	146.29
364	2356 IV	1	ANTONIO	456212.72	277971.24	1160.34
364	2356 IV	2	ATRIO	449463.47	274388.23	767.57
364	2356 IV	3	AYAGUALO	468878.72	278504.38	902.33
364	2356 IV	4	CHILTIUPAN	449551.60	273520.11	720.77
364	2356 IV	5	COMASAGUA	458642.28	278417.24	1066.78
364	2356 IV	6	CORONADA	449786.89	270889.77	591.78
364	2356 IV	7	CUMBRE	450644.58	281573.83	1500.12
364	2356 IV	8	EL CENIZO	456486.84	267507.67	432.68
364	2356 IV	9	EL COYOLAR	471843.95	266405.22	296.94
364	2356 IV	10	GLORIA	469127.85	282333.70	1085.42
364	2356 IV	11	GLORIA II	469127.97	282335.02	1085.23
364	2356 IV	12	GUALCONCITO	468200.01	270605.63	454.74
364	2356 IV	13	JOAQUIN	456421.21	277134.71	1113.42
364	2356 IV	14	JULUPE	451309.31	267416.58	453.95
364	2356 IV	15	MOSOTE	452707.40	274398.54	592.69
364	2356 IV	16	PALOMA	446795.27	270017.75	451.81
364	2356 IV	17	PEÑON	459294.57	274879.91	958.13
364	2356 IV	18	PIEDRA DEL TORO	447855.68	281329.22	1251.98
364	2356 IV	19	SAN PABLO	447037.72	271858.91	550.46
364	2356 IV	20	SHILA	462109.24	270385.71	452.28
364	2356 IV	21	TAMANIQUE	455282.81	276282.99	926.23
364	2356 IV	22	ZONTE	453279.31	264536.39	240.45

371	2357 I	1	AGUILARES	480087.51	315130.96	295.71
371	2357 I	2	ALBERGUE	497586.67	316811.88	243.11
371	2357 I	3	ASUNCION	485893.03	315393.41	303.43
371	2357 I	4	GUAZAPA	487707.17	308752.08	1420.24
371	2357 I	5	LA CAVA	494487.52	308071.24	622.39
371	2357 I	6	LIBANO	483280.92	315250.77	283.51
371	2357 I	7	LOMA ESPINO	474209.94	305145.97	600.75
371	2357 I	8	MOLINA	480619.47	309172.36	382.77
371	2357 I	9	MONTEPEQUE	494310.90	302344.11	1010.84
371	2357 I	10	PLATANAR	493634.68	312285.41	503.82
371	2357 I	11	SUCHITOTO	497753.30	313359.09	363.66
371	2357 I	12	TRAPICHON	484948.21	318557.44	264.15
371	2357 I	13	TUNAS	476398.27	312127.90	618.34
371	2357 I	14	TUNAS II	476398.08	312128.03	618.43
372	2357 II	1	ANTIGUO	473603.30	283719.51	854.76
372	2357 II	2	BASE A	481703.21	298338.54	
372	2357 II	3	BASE B	480820.16	298467.14	
372	2357 II	4	BEETHOVEN	474761.34	286728.72	775.93
372	2357 II	5	CARMEN E.E.U.U. Y G.S.	478096.42	291348.64	797.77
372	2357 II	6	CARMEN II	478076.26	291355.23	796.76
372	2357 II	7	CARTOGRAFIA	481516.75	287939.73	651.92
372	2357 II	8	CENTRAL	479437.95	286119.07	684.57
372	2357 II	9	CHORIZO	473274.58	283829.05	844.38
372	2357 II	10	COLISEO	479575.06	286260.39	672.91
372	2357 II	11	CUTALILLO	499666.43	283694.13	550.06
372	2357 II	12	DREYFUS	482124.31	284821.74	952.40
372	2357 II	13	EJE	486176.62	288149.82	622.57
372	2357 II	14	ESCALON	473322.39	287386.20	895.75
372	2357 II	15	ESPERANZA	478028.60	287778.18	690.78
372	2357 II	16	GRUPO	480293.65	290004.52	683.19
372	2357 II	17	GUAYABAL	489951.17	301005.75	595.04
372	2357 II	18	GUAYCUME	482510.73	300432.87	762.16
372	2357 II	19	HESPERIA	483083.82	284460.12	938.34
372	2357 II	20	HPP 8-87-X	499538.60	283588.42	
372	2357 II	21	HPP-8-89-W	495387.51	287197.22	
372	2357 II	22	ILOPANGO	487549.22	285992.06	
372	2357 II	23	ILOPANGO CERO	487531.10	285428.24	616.04
372	2357 II	24	INSTITUTO	476028.81	285896.83	731.66
372	2357 II	25	INTERSECCION	491059.23	298432.30	
372	2357 II	26	JOSEFINA	480721.73	283739.93	969.88
372	2357 II	27	LA FUENTE	487848.63	291810.27	732.27
372	2357 II	28	LAS MINAS	493387.97	287476.89	732.68
372	2357 II	29	MEDINA	490014.38	287051.97	671.88
372	2357 II	30	MONSERRAT	476613.91	284292.71	814.41
372	2357 II	31	MUNOZ	498412.23	295341.59	916.89
372	2357 II	32	NEJAPA	477073.85	299765.40	918.78
372	2357 II	33	OBSERVATORIO USCEGS	478786.14	284221.55	672.68
372	2357 II	34	PATULLUYA	488887.58	288884.78	888.78

372	2357 II	30	MONSERRAT	476613.91	284292.71	814.41
372	2357 II	31	MUNOZ	498412.23	295341.59	916.89
372	2357 II	32	NEJAPA	477073.85	299765.40	918.78
372	2357 II	33	OBSERVATORIO USCEGS	478786.14	284221.55	672.68
372	2357 II	34	PATULUYA	493297.50	298684.73	628.79
372	2357 II	35	PERULAPIA	494960.15	293742.64	650.77
372	2357 II	36	PINO	483643.94	290945.78	677.47
372	2357 II	37	PORVENIR	476361.59	287714.77	737.09
372	2357 II	38	PROVIDENCIA	478412.06	284968.96	695.72
372	2357 II	39	PUNTO F	481177.51	298194.70	
372	2357 II	40	RUA	479183.59	287810.45	673.36
372	2357 II	41	SAN JACINTO	482541.64	284031.71	
372	2357 II	42	SAN JACINTO II	482544.29	284036.29	1151.91
372	2357 II	43	SANTA ROSA	484112.16	287561.69	694.58
372	2357 II	44	SEMINARIO	475859.64	286874.90	757.95
372	2357 II	45	SOL	474962.58	284405.00	836.39
372	2357 II	46	TECOLUCA	498459.84	295331.69	918.57
372	2357 II	47	TANACATEPEQUE	486138.59	295541.55	
372	2357 II	48	TAVAR	491310.43	291587.57	873.42
372	2357 II	49	TROPICAL	477942.57	288725.40	710.37
372	2357 II	50	VICTORIAS	492,714.61	288,143.09	737.96
373	2357 III	1	AGURICULTURA	456126.89	298296.21	481.53
373	2357 III	2	ARCE	451907.31	301292.94	
373	2357 III	3	BARRERA	455907.20	288794.40	711.84
373	2357 III	4	BERNAL	470366.54	287285.47	1260.10
373	2357 III	5	BOQUERON	468253.82	290374.31	1892.58
373	2357 III	6	CHANMICO	461734.28	293393.05	516.32
373	2357 III	7	COPAPAYO	450666.80	293016.58	466.43
373	2357 III	8	CUCHARO	455647.31	294059.79	459.39
373	2357 III	9	EL CASTILLO	472378.64	289084.71	1270.28
373	2357 III	10	EL PLAYON	464095.95	299028.59	665.46
373	2357 III	11	FERNANDO	452489.70	290783.42	629.32
373	2357 III	12	GRANADILLAS	464326.99	296240.45	557.35
373	2357 III	13	GRUPO ARCE	451849.56	301253.56	616.74
373	2357 III	14	HDA CUYAGUALO	458245.22	290975.15	507.46
373	2357 III	15	HAD LIMON	459144.16	287140.81	683.30
373	2357 III	16	JABALI	465512.50	293981.06	907.52
373	2357 III	17	JOSE	457167.46	297823.34	461.77
373	2357 III	18	KM. 28	459947.52	294030.92	485.35
373	2357 III	19	LAGRIMAS	449263.09	298902.86	574.78
373	2357 III	20	LOMAS SANTIAGO	458186.24	300122.30	687.60
373	2357 III	21	LOS NARANJOS	465045.76	283127.63	1194.32
373	2357 III	22	MARACAIBO	453257.95	293721.98	459.92
373	2357 III	23	MARTE	470322.26	286844.31	1172.63
373	2357 III	24	MERLIOT	470878.47	284199.04	891.89
373	2357 III	25	NINO	460832.21	290969.70	540.06
373	2357 III	26	PUERTO ARTURO	447019.82	294802.25	564.00

373	2357 III	23	MARTE	470322.26	286844.31	1172.63
373	2357 III	24	MERLIOT	470878.47	284199.04	891.89
373	2357 III	25	NINO	460832.21	290969.70	540.06
373	2357 III	26	PUERTO ARTURO	447019.82	294802.25	564.00
373	2357 III	27	QUEZALTEPEQUE	471486.52	299409.11	613.69
373	2357 III	28	ROBERTO	469917.03	286707.77	1128.42
373	2357 III	29	SACACOYO	447487.39	290181.09	835.10
373	2357 III	30	SAN ANDRES	458409.29	296061.89	458.62
373	2357 III	31	SAN SALVADOR	472255.58	291411.47	1959.97
373	2357 III	32	SITIO	460326.05	297086.31	453.96
373	2357 III	33	TEPEYAC	446677.54	284813.00	1313.93
373	2357 III	34	ULISES	454693.98	291972.78	468.59
373	2357 III	35	VERACRUZ	452622.29	298296.75	528.07
373	2357 III	36	ZAPOTITAN	452114.72	296347.48	477.52
374	2357 IV	1	ACEITUNO	452756.05	314378.94	648.28
374	2357 IV	2	ALVAREZ	452153.66	312004.80	777.69
374	2357 IV	3	ARRAZOLA	448894.71	307763.11	817.01
374	2357 IV	4	BARRANCA HONDA	461609.13	309140.33	527.23
374	2357 IV	5	BONETE	461483.93	319243.41	726.44
374	2357 IV	6	CAPULINA	468808.33	306009.95	460.88
374	2357 IV	7	CHORRO	453102.00	306840.31	1114.87
374	2357 IV	8	COATEPEQUE	446099.31	310691.91	875.59
374	2357 IV	9	CONGO	446568.68	310233.27	916.85
374	2357 IV	10	CORNEJO	460973.70	315581.19	375.24
374	2357 IV	11	DAGLIO	451311.52	306328.78	1039.26
374	2357 IV	12	EL JOCOTE	469841.08	310148.59	337.58
374	2357 IV	13	EL MANGUITO	464081.71	311638.36	435.66
374	2357 IV	14	ESTABLO	450546.36	311294.64	868.09
374	2357 IV	15	ESTARADA	446529.99	316376.66	639.23
374	2357 IV	16	GRANIELLO	446578.19	303146.91	699.85
374	2357 IV	17	JOYA SAN VICENTE	449835.99	304710.66	642.29
374	2357 IV	18	LA CANCHA	465043.24	307330.58	484.39
374	2357 IV	19	LAS ARENAS	463673.33	315431.06	333.53
374	2357 IV	20	LAS LOMAS	447446.58	306843.29	758.91
374	2357 IV	21	OPICO	461031.67	305664.84	514.03
374	2357 IV	22	PALO NEGRO	448108.08	303601.16	659.56

374	2357 IV	23	PASO HONDO	465214.66	317960.22	414.75
374	2357 IV	24	RESBALADERO	452914.82	318426.14	496.41
374	2357 IV	25	RIO CLARO	468292.22	304339.42	396.80
374	2357 IV	26	SALAMINA	450086.14	314158.41	706.90
374	2357 IV	27	SAN AGUSTIN	469165.01	314389.76	558.90
374	2357 IV	28	SAN MIGUELITO	449981.63	318070.91	544.73
374	2357 IV	29	SANTA TERESA	450046.96	309494.05	1178.60
374	2357 IV	30	SOLOMAN	455828.09	315358.26	655.47
374	2357 IV	31	TINTERAL	448845.68	301550.62	615.34
374	2357 IV	32	TORRES	467214.66	311278.27	331.25
374	2357 IV	33	TUTIANAPA	448972.76	317315.95	566.36
374	2357 IV	34	VALLE NUEVO	448721.47	306150.24	699.83
374	2357 IV	35	VILANOVA	469503.50	302245.20	439.39
381	2358 I	1	AGUA FRIA	475402.35	345905.19	872.25
381	2358 I	2	CERRO LA CRUZ	496393.19	339329.15	914.77
381	2358 I	3	CHACHACO	479564.70	340824.53	757.91
381	2358 I	4	JARDIN	486565.85	345712.10	862.05
381	2358 I	5	LA PALMA	481718.87	354503.42	1036.91
381	2358 I	6	MALCOTAL	488695.82	354139.17	2302.45
381	2358 I	7	PATERNA	477278.92	351798.92	1203.43
381	2358 I	8	PEPETO	482844.57	340757.26	397.01
381	2358 I	9	SHUNTRUN	476053.23	356501.28	1280.08
381	2358 I	10	TEJUTLA	488701.47	339083.79	352.52
381	2358 I	11	TUNEL	484195.65	350133.47	1191.97
382	2358 II	1	AZAMBIO	498195.19	327708.00	299.54
382	2358 II	2	BARTOLO	499029.47	326806.23	281.68
382	2358 II	3	CHACALCOYO	476440.88	328696.52	335.22
382	2358 II	4	CINOTEPEQUE	473484.91	320385.64	664.90
382	2358 II	5	COLIMA	485479.98	326746.02	248.83
382	2358 II	6	CONACASTE	488854.66	335917.76	506.02
382	2358 II	7	EL CHINO	496303.28	336055.43	540.36
382	2358 II	8	GATOS	482249.30	321341.86	270.62
382	2358 II	9	GLORIETA	482831.80	337959.16	651.08
382	2358 II	10	IGLESIA	496904.24	334671.09	368.79
382	2358 II	11	ISLETAS	495915.72	328817.90	274.16
382	2358 II	12	LA CAJA	490459.42	320243.84	484.09
382	2358 II	13	MIGUELITO	482904.39	329990.96	311.65
382	2358 II	14	PICHILTEPEQUE	480781.44	323107.05	258.47
382	2358 II	15	PILETA	475288.57	337140.53	415.76
382	2358 II	16	SACA	482894.25	324999.95	250.18
382	2358 II	17	SAN ANTONIO	474600.32	324343.32	300.45
382	2358 II	18	SAN PABLO RODEO	495562.08	320443.36	320.17
382	2358 II	19	SAN RAFAEL	479126.45	324669.93	258.06
382	2358 II	20	SUNCHICHE	483406.73	334874.33	552.43

382	2358 <sup>II</sup>	19	SAN RAFAEL	479126.45	324669.93	258.06
382	2358 <sup>II</sup>	20	SUNCHICHE	483406.73	334874.33	552.43
383	2358 <sup>III</sup>	1	AGUA CALIENTE	450407.31	329848.36	
383	2358 <sup>III</sup>	2	AGUA ESCONDIDA	448592.16	337747.46	773.35
383	2358 <sup>III</sup>	3	AMAYA	456958.29	333140.69	571.00
383	2358 <sup>III</sup>	4	AMAYO	448487.25	329246.97	403.08
383	2358 <sup>III</sup>	5	BANDERAS	453335.48	328928.74	584.30
383	2358 <sup>III</sup>	6	BARQUILLO	452308.54	332088.35	675.82
383	2358 <sup>III</sup>	7	CAMONES	446115.33	324769.02	874.61
383	2358 <sup>III</sup>	8	CARRETAS	466008.68	323172.66	294.80
383	2358 <sup>III</sup>	9	CARRIZO	459797.75	329013.91	762.18
383	2358 <sup>III</sup>	10	CASCAJO	449126.90	320994.99	776.58
383	2358 <sup>III</sup>	11	CHACON	456831.12	329001.65	619.47
383	2358 <sup>III</sup>	12	CHAMULA	450019.04	322522.36	791.75
383	2358 <sup>III</sup>	13	CHILIN	458847.03	337323.27	1130.84
383	2358 <sup>III</sup>	14	CUTUMAY	447721.56	324293.33	933.16
383	2358 <sup>III</sup>	15	DEMESIO	446481.20	326332.53	509.07
383	2358 <sup>III</sup>	16	DOMINGO	465179.34	326250.12	276.10
383	2358 <sup>III</sup>	17	INFIERNILLO	454574.96	337618.85	760.63
383	2358 <sup>III</sup>	18	LA VISION	463395.68	329857.63	738.65
383	2358 <sup>III</sup>	19	LABRADOR	462689.36	324212.71	345.19
383	2358 <sup>III</sup>	20	LOMA CANOA	459186.83	321015.55	528.00
383	2358 <sup>III</sup>	21	MALACATEPEQUE	452843.41	337635.33	781.63
383	2358 <sup>III</sup>	22	MICILINGOS	453836.32	334061.64	639.56
383	2358 <sup>III</sup>	23	NANCISTEPEQUE	452880.22	321291.65	655.31
383	2358 <sup>III</sup>	24	NUEVA CONCEPCION	468101.77	335021.97	366.20
383	2358 <sup>III</sup>	25	PACAYAL	462469.93	338071.48	1194.55
383	2358 <sup>III</sup>	26	PENANALAPA	457788.09	331860.72	354.60
383	2358 <sup>III</sup>	27	PIEDRAS NEGRAS	449825.21	331629.54	478.64
383	2358 <sup>III</sup>	28	REFORMA	446267.07	322238.40	626.21
383	2358 <sup>III</sup>	29	RUDA	457443.45	336689.43	848.73
383	2358 <sup>III</sup>	30	SALGUERO	449634.04	329393.93	369.14
383	2358 <sup>III</sup>	31	SALITRE	456205.48	322027.42	665.82
383	2358 <sup>III</sup>	32	SEGOVIA	455442.91	331113.99	467.72
383	2358 <sup>III</sup>	33	TECOMASUCHE	462017.82	321681.62	516.44
383	2358 <sup>III</sup>	34	TEOCINTE	460766.07	335846.03	1102.33
383	2358 <sup>III</sup>	35	TEOFILO	449677.26	335600.43	625.36
383	2358 <sup>III</sup>	36	TEPEAGUA	468773.00	325806.50	366.79
383	2358 <sup>III</sup>	37	TEXISTEPEQUE	447175.52	332788.52	672.60
383	2358 <sup>III</sup>	38	VALIENTE	459970.66	324352.08	325.27

384	2358	IV	1	ALDEA EL ZAPOTE	459186.71	352533.53	629.80
384	2358	IV	2	ARRIOLA	461520.04	346630.49	779.52
384	2358	IV	3	BELEN	458553.30	350472.34	584.32
384	2358	IV	4	CACTUS	450580.34	356667.36	541.13
384	2358	IV	5	CALAIRE	462562.78	342193.78	608.88
384	2358	IV	6	CAMULIAN	468621.63	351782.92	1306.59
384	2358	IV	7	CANAS DULCES	458599.47	354988.14	759.79
384	2358	IV	8	CERRO CRUCITAS	469038.17	354708.85	1530.00
384	2358	IV	9	CERRO MATAZANO	464951.64	341084.78	991.86
384	2358	IV	10	CERRO OCOTILLO	466096.11	343375.41	1032.59
384	2358	IV	11	COMIZATE	458537.20	346731.58	561.21
384	2358	IV	12	CUJE	456216.26	350973.79	576.81
384	2358	IV	13	CUMBRE LAS PAVAS	467112.72	349489.49	1207.83
384	2358	IV	14	CUYUISCAT	463423.61	348628.70	967.51
384	2358	IV	15	DURAZNILLO	469771.06	345093.66	1237.22
384	2358	IV	16	EL COBANO	452849.42	346474.36	787.92
384	2358	IV	17	EL COPO	454224.24	344422.60	629.93
384	2358	IV	18	EL DESAGUE	448583.58	345545.07	487.46
384	2358	IV	19	EL LLANO	450250.18	341500.93	455.44
384	2358	IV	20	ERMITA	471380.65	341581.81	832.25
384	2358	IV	21	GRACIELA	462532.50	345084.98	848.07
384	2358	IV	22	GUAJOYO	446441.61	342899.93	396.54
384	2358	IV	23	HDA DIEGO	450375.10	350833.72	494.17
384	2358	IV	24	IMAN	463507.52	352635.09	1326.88
384	2358	IV	25	INTERSECTED STATION IGLESIA MET	451747.61	356451.16	
384	2358	IV	26	LA CONCHAGUA	451306.28	345338.30	743.67
384	2358	IV	27	LOMA IGUANA	446727.58	352493.49	521.29
384	2358	IV	28	LOS COYOTES	448503.32	341927.04	595.09
384	2358	IV	29	LOS PEREZ	449475.72	343637.71	459.04
384	2358	IV	30	MANCIA	453664.90	340717.68	356.42
384	2358	IV	31	MASAGUA	457167.88	341678.27	1005.20
384	2358	IV	32	MASAHUAT II	457171.26	341669.04	1001.84
384	2358	IV	33	METAPAN	450788.65	355246.56	639.20
384	2358	IV	34	MONTENEGRO	465809.52	355759.35	1685.54
384	2358	IV	35	PANAL	461490.89	355128.84	1201.79
384	2358	IV	36	PASHAPAS	466455.14	353233.96	1156.04
384	2358	IV	37	PERAZA	454347.87	353500.75	635.41
384	2358	IV	38	PICACHO	460569.52	343139.88	593.59
384	2358	IV	39	PINEDA	471712.76	350169.09	1031.88
384	2358	IV	40	PITAYO	451494.81	343091.99	522.96
384	2358	IV	41	RONCO	447248.49	355490.69	543.28
384	2358	IV	42	SAN DIEGO	448149.45	349910.23	780.88
384	2358	IV	43	SAN DIEGO NORTE	448197.07	349998.80	786.61
384	2358	IV	44	SAN FRANCISCO	452753.08	350367.15	839.01
384	2358	IV	45	SANABRIA	456903.56	352966.86	600.21
384	2358	IV	46	SANDOVAL	448599.91	356641.86	708.50
384	2358	IV	47	SISIMITEPEQUE	472705.38	338490.45	675.84
384	2358	IV	48	TAHUILAPA	458566.96	348347.98	578.57
384	2358	IV	49	TEREHO	452524.22	342512.22	271.72

384	2358	IV	45	SANABRIA	456903.56	352966.86	600.21
384	2358	IV	46	SANDOVAL	448599.91	356641.86	708.50
384	2358	IV	47	SISIMITEPEQUE	472705.38	338490.45	675.84
384	2358	IV	48	TAHUILAPA	458566.96	348347.98	578.57
384	2358	IV	49	TEPETO	453534.30	348516.93	871.76
384	2358	IV	50	VADITO	452504.68	341293.50	406.06
384	2358	IV	51	VALLE CAPULIN	452554.37	356090.12	540.83
384	2358	IV	52	VEGA GRANDE	468586.23	340863.96	823.08
384	2358	IV	53	VETA	468422.83	348016.96	928.90
392	2359	II	1	CAYAGUANCA	482081.69	360033.18	1621.44
392	2359	II	2	CHIPORRO	473547.81	362968.56	1212.49
392	2359	II	3	LABOR	483701.01	371209.30	1382.90
392	2359	II	4	PITAL	486063.97	362204.42	2730.06
392	2359	II	5	SAN IGNACIO	480959.23	357203.89	1046.13
393	2359	III	1	ANGUIATU	451337.01	367352.40	789.51
393	2359	III	2	ANISAL	446448.03	363883.19	749.60
393	2359	III	3	ASPERA	463510.32	362251.14	2034.43
393	2359	III	4	BALBINO	451503.81	366128.60	848.94
393	2359	III	5	BELLA VISTA	453918.89	357742.70	662.62
393	2359	III	6	BRUJO	458458.37	367006.47	2139.70
393	2359	III	7	BUFA	447858.65	360402.27	811.25
393	2359	III	8	BURRAS LAS	453458.26	366760.30	1165.30
393	2359	III	9	CAMPOSANTO	456770.36	359380.80	958.27
393	2359	III	10	CANTON PANAL	452850.10	360777.46	690.24
393	2359	III	11	CHAGUITON	463775.37	360280.11	1865.90
393	2359	III	12	CRUCITAS	451434.92	358051.29	548.19
393	2359	III	13	EL CORRALITO	453112.39	364039.33	966.26
393	2359	III	14	EL PITO II	456203.45	361332.00	1353.13
393	2359	III	15	ESCOBAS LAS	454053.32	365164.76	1032.20
393	2359	III	16	HEREDIA	450616.09	363240.67	826.41
393	2359	III	17	LAS MARGARITAS	457331.67	357142.86	807.47
393	2359	III	18	MONTECRISTO	461610.20	366236.41	2418.00
393	2359	III	19	ORATORIO	447296.95	372797.78	
393	2359	III	20	ORLONA	446366.12	357119.85	747.34
393	2359	III	21	PLANES MANCIA	460869.59	363294.60	1809.53
393	2359	III	22	SANTA BARBARA	450762.97	359310.65	588.62
393	2359	III	23	SERAPIO	450774.98	366440.04	815.98
393	2359	III	24	SILLON	451103.90	372963.17	1273.30
393	2359	III	25	SOMBRERO	452671.33	365423.17	943.00
393	2359	III	26	TAPIAS 62	460025.56	358009.97	
393	2359	III	27	TAPIAS, AS	460023.62	358010.67	1129.73
393	2359	III	28	ZAPOTE BRUJO	453936.30	366386.01	914.71

464	2456 IV	1	BOLANOS	509849.71	282416.41	677.41
464	2456 IV	2	CANAS	520537.13	267577.10	301.46
464	2456 IV	3	CARBONERA	511137.14	276724.80	1094.71
464	2456 IV	4	HACIENDA VIEJA	504050.77	274690.16	466.76
464	2456 IV	5	LAGUNETA	513376.64	275078.88	1115.58
464	2456 IV	6	LORENZANA	523471.73	279899.32	376.19
464	2456 IV	7	LOS LAURELES	520289.01	275787.37	1145.69
464	2456 IV	8	MALANCOLA	502790.47	268953.45	306.65
464	2456 IV	9	NAHUISTEPE	504776.10	271991.13	613.47
464	2456 IV	10	NONUALCO	511036.88	264828.52	173.19
464	2456 IV	11	OSORIO	503336.65	279036.59	615.70
464	2456 IV	12	SAN VICENTE	517539.00	275037.66	2181.74
464	2456 IV	13	SANTIAGO NONUALCO	506503.29	265003.83	148.23
464	2456 IV	14	VERAPAZ	515260.95	279668.48	672.68
471	2457 I	1	CAJON	551718.41	309857.08	223.75
471	2457 I	2	CHUNTE	546311.37	310211.10	817.07
471	2457 I	3	COPINOLAPA	531243.60	306832.05	672.01
471	2457 I	4	EL TABLON	540352.75	309175.35	789.77
471	2457 I	5	GUAYQUIQUIRA	544598.80	313822.57	703.70
471	2457 I	6	MATARRA	544312.62	304412.80	868.43
471	2457 I	7	MOIDAN	539706.50	305327.75	813.14
471	2457 I	8	OCOTILLO	539071.04	315224.63	1013.80
471	2457 I	9	POTRERO	527576.14	317160.53	502.22
471	2457 I	10	SAN CORENZO	535002.64	309340.03	799.28
471	2457 I	11	SAN MATIAS	534490.29	306648.45	612.59
472	2457 II	1	CANTON	542241.99	288140.19	277.77
472	2457 II	2	CAULOTE	544670.55	289956.50	300.00
472	2457 II	3	CORLANTIQUE	552453.42	289557.16	107.61
472	2457 II	4	CUNCHIQUE	539513.56	300608.30	855.70
472	2457 II	5	JALTEPEQUE	527397.00	287149.11	674.62
472	2457 II	6	LLANO DE LA HDA	532254.26	298735.41	421.80
472	2457 II	7	MORONTEPEQUE	528224.25	299293.11	654.81
472	2457 II	8	MUNDO NUEVO	548545.33	292431.54	72.70
472	2457 II	9	NACASPILO	544729.66	299858.68	648.42
472	2457 II	10	NIQUERESQUE	549332.04	296265.30	356.58
472	2457 II	11	OREGANO	531703.43	291459.19	467.75
472	2457 II	12	SANTA QUITERIA	532849.14	287075.18	530.65
472	2457 II	13	TIEMBLA TIERRA	549642.82	285038.01	352.49

473	2457 III	1	AGUA ZARCA	514072.06	297268.33	692.66
473	2457 III	2	AGUACAYO	517541.36	289724.15	683.48
473	2457 III	3	AMATILLO	511557.70	294092.42	882.30
473	2457 III	4	CERRO GRANDE	519249.86	283339.56	925.79
473	2457 III	5	CHACHACASTE	507670.50	292595.58	830.40
473	2457 III	6	CHALET	506845.69	287861.47	1003.70
473	2457 III	7	COJUTEPEQUE	506429.52	289222.82	867.95
473	2457 III	8	CORRAL VIEJO	504079.68	298070.54	590.40
473	2457 III	9	CUSCATLAN	510979.77	289370.42	870.31
473	2457 III	10	GAVILAN	517591.78	297612.15	764.47
473	2457 III	11	HPP-8-87-W	501233.36	284783.61	
473	2457 III	12	ILOBASCO	516531.33	300939.88	776.63
473	2457 III	13	LA MESA	512129.84	299465.42	655.99
473	2457 III	14	MICHAPA	501452.15	290611.75	784.25
473	2457 III	15	MONTE SAN JUAN	505265.35	294801.10	677.42
473	2457 III	16	PALACIOS	522641.38	290663.51	731.71
473	2457 III	17	QUILIQUMITE	502338.11	300646.73	663.53
473	2457 III	18	SAN RAMON	507913.86	284293.29	596.26
474	2457 IV	1	AREVALO	505914.15	308209.03	753.50
474	2457 IV	2	CEBADILLA	502080.89	317109.96	617.09
474	2457 IV	3	CERRO GRANDE LEMPA	509509.03	312099.01	522.03
474	2457 IV	4	CERRON LEMPA	517385.91	313471.51	331.80
474	2457 IV	5	COYOL	512267.39	311742.06	282.26
474	2457 IV	6	CUADRADO	522287.68	315011.09	383.12
474	2457 IV	7	EL FILO	512163.89	313981.55	441.22
474	2457 IV	8	EL GRAMAL	509266.60	319311.44	580.57
474	2457 IV	9	ESPINO	518522.35	316949.92	384.30
474	2457 IV	10	GARCITA	515067.82	315386.90	382.61
474	2457 IV	11	GUAYABITO	516897.40	309911.69	494.14
474	2457 IV	12	IKUKO	517354.65	315974.65	287.58
474	2457 IV	13	JICARO MINAS	506583.50	315226.85	489.25
474	2457 IV	14	LIMONES	514039.14	305811.82	921.28
474	2457 IV	15	MAPITERA	518847.18	308328.46	922.62
474	2457 IV	16	MESITAS	504207.42	314405.73	461.83
474	2457 IV	17	MOJON B	524636.80	319446.85	197.60
474	2457 IV	18	MONTANITA	519905.07	301428.79	715.03
474	2457 IV	19	PALACIOS LEMPA	519225.10	313895.71	346.16
474	2457 IV	20	PENAS DEL ALTO	513999.35	318763.21	847.06
474	2457 IV	21	PEPESHITENANGO	501793.64	309780.36	398.74
474	2457 IV	22	PICO BLANCO	521240.59	319609.27	482.73
474	2457 IV	23	PIEDRA PARADA	507996.05	313077.60	365.57
474	2457 IV	24	SANTA CATARINA	521036.11	317045.87	364.01
474	2457 IV	25	SHIRERA	520248.19	319404.53	566.67
474	2457 IV	26	TABOR	519162.54	305678.25	948.93
474	2457 IV	27	TEJUTEPEQUE	508816.00	302012.03	840.14
474	2457 IV	28	TIMPICUQUI	504890.66	311551.31	513.68
474	2457 IV	29	VIBORA	519168.93	305689.94	950.75
474	2457 IV	30	YANEF	525227.72	331227.21	1272.22

474	2457	IV	26	TABOR	519162.54	305678.25	948.93
474	2457	IV	27	TEJUTEPEQUE	508816.00	302012.03	840.14
474	2457	IV	28	TIMPICUQUI	504890.66	311551.31	513.68
474	2457	IV	29	VIBORA	519168.93	305689.94	950.75
474	2457	IV	30	YANEZ	625397.72	304287.01	1078.28
481	2458	I	1	CONGOLON	548327.83	340479.86	2119.60
481	2458	I	2	YUQUINAL	536465.20	344656.30	1350.70
482	2458	II	1	CERIQUE	545958.59	330240.30	966.74
482	2458	II	2	EL CAJETE	528251.46	327103.54	946.85
482	2458	II	3	LA CANADA	529053.68	330954.27	1074.36
482	2458	II	4	VALLADOLID	528259.05	336756.55	1324.30
483	2458	III	1	BARILLAS	502194.50	335424.68	647.28
483	2458	III	2	CABALLETE	514608.66	325517.35	1024.03
483	2458	III	3	CABALLETE NORTE	515111.81	325919.62	1014.54
483	2458	III	4	CASAMPULGA	501166.29	338023.79	878.25
483	2458	III	5	GARCIA	506213.03	322106.05	476.97
483	2458	III	6	IRAMON	525547.93	322759.88	956.95
483	2458	III	7	LAGUNA	512917.83	326818.06	1145.90
483	2458	III	8	LAS VUELTAS	513238.61	330501.38	955.39
483	2458	III	9	LLANO VERDE	518988.26	326838.84	383.14
483	2458	III	10	LOMAS DE ARCATAO	526026.87	329963.34	659.72
483	2458	III	11	LOS MENJIVAR	513675.31	332485.22	1223.63
483	2458	III	12	LOS RANCHOS	512081.73	320707.06	717.23
483	2458	III	13	MANGO	503194.05	324337.00	316.78
483	2458	III	14	MANZANO	507531.94	324349.51	462.61
483	2458	III	15	MOJON A	525653.63	319853.02	204.74
483	2458	III	16	MONTE REDONDO	502137.83	327602.88	331.64
483	2458	III	17	NUEVA TRINIDAD	523542.34	327438.35	705.26
483	2458	III	18	OLIVA	500938.27	321091.42	502.22
483	2458	III	19	PEDERNAL	509517.47	320315.36	632.72
483	2458	III	20	PENA DEL NORTE	507895.20	327288.75	
483	2458	III	21	PLAN DE PICACHO	512329.86	329002.44	1009.09
483	2458	III	22	QUIJUNIA	523338.69	321268.20	342.96
483	2458	III	23	SAN JOSE LAS FLORES	517912.12	325015.95	502.44
483	2458	III	24	SAN MIGUEL MERCEDES	507567.10	320026.64	581.07
483	2458	III	25	SIERPE	506670.07	323481.89	425.97
483	2458	III	26	SIHUAPATE	521449.44	321723.84	273.51
483	2458	III	27	TAMULASCO	509939.24	323152.31	606.42
483	2458	III	28	TECOMATE	519483.09	330370.94	765.98
483	2458	III	29	UPATORO	505665.60	324832.27	448.55
483	2458	III	30	VILLANERA	510636.69	324892.48	908.44
483	2458	III	31	VOLCANCILLO	510000.98	335343.88	1643.48

## **Formulación de Ecuaciones para la Creación del Geoide.**

## 6.1 Ecuaciones necesarias para la formulación del Geoide Nacional

Como vimos en el capítulo cuatro las formulas para calcular la altura del Geoide tenemos que tener nuestro punto de estudio situado sobre el elipsoide, pero es necesario situarlo sobre la superficie terrestre si es que queremos trabajar con él. Para ello, nos bastará con saber cuál es la altura de dicho punto sobre la superficie del elipsoide (la cual se medirá, obviamente, sobre la vertical geodésica), que se conoce como altura elipsoidal ( $h$  en la Fig. 20).

Que es lo mismo que la altura de un punto sobre el nivel medio del mar en algún lugar prefijado. Teniendo en cuenta la definición de geoide, no cabe duda de que esta segunda altura de la que hablamos estará referida a la superficie del mismo ( $H$  en la Fig. 20), a la que se denomina altura ortométrica.

La diferencia entre la altura elipsoidal ( $h$ ) y la altura ortométrica ( $H$ ) es la que llamamos altura geoidal ( $N$ ) u ondulación del geoide, pues en realidad representa las desviaciones del geoide con respecto al elipsoide de referencia.

La ecuación que liga las tres alturas definidas en la Fig. 20, es la siguiente:

$$h = H + N$$

Por tanto, las coordenadas geodésicas de un punto estarán formadas por la longitud y latitud geodésica y, además, la altura del punto sobre el elipsoide de referencia, es decir,  $h$ . Por tanto, tenemos:

A continuación vemos, de una forma muy somera, cómo se efectúan dichas determinaciones:

$$h_A = H_A + N_A$$

$$h_B = H_B + N_B$$

$$h_A - h_B = (H_A + N_A) - (H_B + N_B)$$

de donde

$$N_A - N_B = (h_A - h_B) - (H_A - H_B)$$

Esta ecuación rige el cálculo General para la construcción del Geoide, sin poder ajustarlos con los factores gravimétricos, solamente utilizando el método topográfico.

## 6.2 Ejemplo de formulación completa de un punto del Geoide utilizando datos del WGS84

Para poder llevar este ejemplo de calculo de la construcción de un punto del Geoide, utilizaremos dos puntos cuyos datos se encuentran en la tabla siguiente:

274	2257	IV	17	CARTAGO	406,070.59	307,841.28	930.92
274	2257	IV	18	CERRITOS	411,143.86	312,997.33	745.31

El punto Geodésico Cartago y Cerritos se encuentra ubicado en el cuadrante 2257 IV que se encuentra ubicado en el departamento de Sonsonete, donde el cuadrante esta formado por los sub.-cuadrantes 6 (Rió Paz), 12(Agachapan), 7(Tacaba), 13(Apaneca).

H Cartago = 930.92

H Cerritos = 745.31

Estas son mediciones de alta precisión,

Luego se tomaron datos de alturas de GPS, en estos mismos puntos, programando el aparato para que trabaje con el elipsoide WGS84, y se obtuvieron los siguientes datos:

h Cartago =937.250

h Cerritos = 748.50

Aplicando la formula:

$$N A - N B = (hA - hB ) - (H A - H B )$$

$$N A - N B = (937.250-748.50) - (930.92 - 745.31)$$

$$N A - N B = 3.14 \text{ metros}$$

Es la diferencia de ondulación entre los dos puntos que están separados en longitud 5073.27 metros y en latitud 5156.05 metros y desnivel entre ellos de 185.61 a mayor altura el punto de Cartago.



## 7.1 Conclusiones

La red actual de puntos o bancos de marca que forman la red Geodesica En El Salvador es en gran parte un avance para seguir con las etapas de la creación del Geoide Nacional.

Se puede con estos datos formular las diferencias de ondulación del territorio nacional, como se vio en el capitulo seis, pero no se pueden ajustar a una precisión que nos lleve a poder calcular un ajuste de datos con el cual las ondulaciones sean las correctas.

Se concluye que las aproximaciones que actualmente están basadas en el sistema del WGS84 desarrollado por los estados unidos de Norte América en el cual se utilizo la tecnología del GPS.

Este Sistema Geodésico Mundial toma puntos de referencia para su creación, que distan de la realidad de los contornos terrestres de los territorios de países como el nuestro.

Los errores en los datos que se dan en el calculo de las diferencia de ondulaciones del territorio nacional, utilizando el modelo geoidal mundial WGS84, es aproximadamente de 6.00 metros de altura en zonas de topografía regular y mayor en partes donde el contorno forma montañas y fallas que funcionan como quebradas de invierno.

## 7.2 Recomendaciones

La metodología para poder seguir con las siguientes etapas para la construcción del Geoide Nacional, ya existe y se debe seguir con el proceso que se utilizó para la conformación de la red geodésica actual local del país, con la diferencia que no se colocaran mojones Geodésicos. Si no estaciones Gravimétricas para medir la aceleración de la gravedad en la estación y Los Clinómetros para medir la desviación con la vertical.

Se recomienda que para la construcción de la red Gravimétrica del País se haga por medio de etapas, tomando un área de estudio que podría ser un departamento con características de topografía variable, para luego hacer un ensayo de lo que sería un modelo Geoidal en pequeña escala, pero esto ayudaría en gran forma a mejorar la metodología de campo en las siguientes etapas.

Cabe mencionar que no se trata de una carrera contra el tiempo ya que después de haber creado el modelo geoidal solo en forma de equipamiento de redes y accesorios, se tienen que ir ajustando año con año para poder tener datos de campo que estén más cercanos a la realidad del contorno nacional.

Se recomienda que se utilice un Software de cálculo para obtención de datos del nuevo elipsoide, así como programas de ajuste de dichos datos, ya que sería imposible llevarlos simplemente con personal.



## **BIBLIOGRAFIA**

**DATOS CARTOGRAFICOS DEL INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL  
"PABLO ARNOLDO GUZMAN"**

**PAPERS DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES GEODESICAS DE  
BARCELONA ([http:// WWW. ign.es](http://WWW.ign.es))**

**Seminario de divulgación "NUEVA RED GEODESICA WGS-84" San Salvador,  
del 27 al 29 de octubre de 1999.**

# **ANEXOS**