

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y  
METALURGICA**



**EL GPS Y LAS ESTACIONES TOTAL GPS EN TIEMPO REAL  
"APLICACIONES EN LA MINERIA"**

**INFORME DE INGENIERIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO DE MINAS**

**ALBERTO E, LUME PAUYAC**

**LIMA - PERU**

**1996**

## AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer infinitamente al Ingeniero Fausto C. Zavaleta Cruzado, Gerente General de la Compañía MINSUR S.A. por brindarme la oportunidad de realizar el presente trabajo.

También mi agradecimiento a todas aquellas personas que me brindaron su desinteresado apoyo e hicieron posible la cristalización del presente.

Ing. Luis Sanchez Bazalar

Ing. Washington Sanchez

Quienes con su amistad ,enseñanza y consejos si hizo realidad este anhelo.

Sta. Rene Montejó

Sta. Julia Salazar

Por su colaboración desinteresada y, también a los colegas operadores del equipo GPS ( Grupo Vulcano).

Muchas gracias

## INDICE

INTRODUCCION.....	6
-------------------	---

### CAPITULO I

1.-CONCEPTOS BASICOS DE GEODESIA.....	8
1.1.1.-DEFINICION.....	8
1.1.2.-FORMA DE LA TIERRA.....	8
1.1.3.-UNIDADES DE MEDIDA.....	9
1.1.4.-GEODESIA ESFEROIDAL.....	10
1.1.5.-FORMA Y DIMENSIONES DE LA TIERRA.....	10
1.1.6.-GEOIDE.....	11
1.1.7.-EL ELIPSOIDE DE REFERENCIA KLARKE 1986, INTERNACIONAL(SUB-56) WGS-84.....	12
1.1.8.-SISTEMA GENERAL DE COORDENADAS GEODESICAS.....	14
1.1.9.-COORDENADAS UTM Y SUS ORIGENES(NORTE ESTE).....	18
1.1.9.1.-PRINCIPIO BASICOS DE CARTOGRAFIA.....	18
1.1.9.2.-PROPIEDADES DE LAS PROYECCIONES CARTOGRAFICAS.....	20
1.1.9.3.-CLASIFICACION DE LAS PROYECCIONES.....	20
1.1.9.4.-PROYECCIONES CILINDRICAS.....	21
1.1.9.5.-PROYECCION CONICA DE LAMBERT.....	26
1.1.9.10.-RESEÑA HISTORICA DE LA GEODESIA EN EL PERU.....	26
1.2.-CONCEPTOS BASICOS DE GEODESIA SATELITAL.....	28
1.2.1.-DESARROLLO HISTORICO DE LA GEODESIA.....	30
1.2.2.- APLICACIONES DE LA GEODESIA SATELITAL.....	32
1.2.3.-SISTEMA DE COORDENADAS DE REFERENCIA.....	34
1.2.3.1.-SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS Y TRANSFORMACIONES DE COOR- DENADAS.....	34
1.2.3.2.-SISTEMA DE COORDENADAS DE REFERENCIA EN GEODESIA SATELITAL.....	36
1.2.3.3.-SISTEMA DE COORDENADAS DE REFERENCIA EN EL CAMPO GRAVITACIONAL DE LA TIERRA.....	40
1.2.3.4.-SISTEMA DE COORDENADAS DE REFERENCIA ELIPSOIDALES.....	42
1.2.3.5.-ELIPSOIDE , GEOIDE Y DATUM GEODESICO.....	44
1.2.4.-TIEMPO.....	46
1.2.4.1.-CONSIDERACIONES BASICAS.....	46
1.2.4.2.-TIEMPO SIDERAL Y TIEMPO UNIVERSAL.....	50
1.2.4.3.-RELOJES Y ESTANDARES DE FRECUENCIA.....	53
1.2.5.-OBSERVACION Y SATELITES GEODESICOS.....	53
1.2.5.1.-RELACIONES BASICAS PARA OBSERVACIONES SATELITALES.....	53
1.2.5.2.-TECNICAS DE OBSERVACION SATELITAL.....	54
1.2.5.3.-DETERMINACION DE DIRECCIONES.....	54
1.2.5.4.-DETERMINACION DE RANGOS.....	57
1.2.5.6.-DETERMINACION DE DIFERENCIAS DE ALINEAMIENTO(METODO DOPPLER).....	58
1.2.5.7.-ALTIMETRIA SATELITAL.....	60

### CAPITULO II

2.1.-PRESENTACION Y DESCRIPCION DEL SISTEMA GPS.....	62
2.1.1.-INTRODUCCION.....	62
2.1.2.- CONFIGURACION DEL SISTEMA.....	62
2.1.3.-CONCEPTOS BASICOS DEL SISTEMA GPS.....	68
2.1.4.-FUENTES DE ERROR.....	72

2.1.5.-METODOLOGIA DE TRABAJO.....	76
2.1.6.-PRECISIONES.....	80
2.1.7.-SISTEMA DE COORDENADAS.....	82
2.1.8.-APLICACIONES.....	87
2.1.9.-GPS Y OTROS SISTEMAS .....	87
2.1.10.-CUALIDADES Y BENEFICIOS DE LAS MEDICIONES CON GPS.....	95
2.1.11.-FUTURO DEL SISTEMA GPS.....	95

### CAPITULO III

3.1.-ESTACIONES TOTALES GPS EN TIEMPO REAL.....	96
3.1.1.-INTRODUCCION .....	96
3.1.2.-FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES TOTALES.....	97
3.1.3.-FIABILIDAD Y PRECISION.....	97
3.1.4.-ESTACION DE REFERENCIA O BASE Y LAS SEÑALES DE RADIO TRASMITIDAS.....	98
3.1.5.-BENEFICIOS DE LAS ESTACIONES TOTALES.....	98
3.1.6.-AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD.....	99
3.1.7.-COMO SE TRABAJA CON LA ESTACION TOTAL GPS EN TIEMPO REAL.....	99

### CAPITULO IV

4.1.-METODOLOGIA DE TRABAJO EN CAMPO CON GPS GEODESICO - POST- PROCESO Y USO DE COMPUTADORA .....	106
4.1.1.-PLANIFICACION DE LA DISPONIBILIDAD DE SATELITES.....	106
4.1.2.-TOMA DE DATOS EN CAMPO.....	106
4.1.3.-REPORTE DE POST - PROCESO DEL GPS.....	111
4.1.3.1.-PROCESANDO ARCHIVO DE DATOS TOMADOS EN CAMPO.....	111
4.1.3.2.-CALCULO DEL GEOIDE.....	114
4.1.3.3.-CONVERSION DE SISTEMA DE COORDENADAS DE WGS- 84 A SUD- 56.....	115
4.1.3.4.-CONVERSION DE COORDENADAS GEOGRAFICAS SUD- 156 A UTM.....	116
4.1.3.5.-CALCULO DE COTA DEL GEOIDE (h) .....	117

### CAPITULO V

5.1.-APLICACION DEL GPS Y LAS ESTACIONES TOTALES GPS EN LA MINERIA.....	120
5.1.1.-DEFINICIONES.....	120
5.1.2.-DETERMINACION DE LOS DERECHOS MINEROS EN EL PERU.....	122
5.1.2.1.-ANTECEDENTES HISTORICOS, LEGALES Y TECNICOS HASTA LA IMPLEMEN- TACION DEL GPS.....	122
5.1.2.2.-ACTIVIDADES GEOMAGNETICAS EN EL PERU.....	132
5.1.2.3.-CONSTRUCCION DE REDES GEODESICAS DE APOYO PARA LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS .....	133
5.1.2.4.-DETERMINACION DE P.P. , P.R. , P.I. Y VERTICES DE LA CUADRATURA DE UN DERECHO MINERO.....	134
5.1.2.6.-REPLANTEO DE PETITORIOS.....	141
5.1.3.-USO DEL EQUIPO GPS Y ESTACIONES TOTALES EN LA ETAPA DE EXPLORACION MINERA.....	142
5.1.4.-LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y TRASO DE CARRETERA PARA EL ACCESO A UNA MINA.....	144

## CAPITULO VI

<b>6.1.-COMPARACION TECNICO ECONOMICO DEL GPS VS. TECNICAS CONVENCIONALES.....</b>	<b>147</b>
<b>6.2.-COMPARACION TECNICA REAL DEL GPS VS. REGLAMENTACION Y ALCANCES DE NORMAS OFICIALES.....</b>	<b>149</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>153</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>154</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>155</b>

## INTRODUCCION

Tenemos pocas profesiones en las que las herramientas sean tan importantes. En realidad, se puede trazar el desarrollo de la profesión del Ingeniero topógrafo siguiendo la historia de sus herramientas. La brújula, la cadena, el teodolito, las reglas de calculo, recientemente el distanciometro, las Estaciones, Totales y la computadora. Cada uno ha contribuido en gran parte a la capacidad del Ingeniero con mas eficiencia.

El presente informe técnico está dividido en 6 capítulos; el Capítulo I trata sobre la Geodesia, cuyo conocimiento básico es importante para tener una clara idea de lo que es la forma, dimensiones y el campo gravitacional de la tierra; el posicionamiento de un punto en sistema de coordenadas geograficas y UTM.

Los Capítulos II y III tratan sobre que, en base de lo que se trató en el Capítulo I, se desarrolló el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), fue uno de los avances técnicos mas significativos en la industria de la topografía, geodesia y cartografía durante los años 80. GPS ha comprobado que las técnicas de medición basados en satélites, pueden competir directamente con los levantamientos topograficos convencionales, en muchos casos los trabajos topográficos con GPS son mas rapidos, baratos y mas precisos.

El principio es la medida de las distancias de un punto a dos puntos de ubicacion conocidas. Si conocemos nuestra distancia exacta al punto "A" podemos estar en cualquier punto de un círculo cuyo radio es esa distancia. Si además conocemos nuestra distancia a otro punto "B", podemos trazar otro círculo. La intersección de los dos círculos dará dos posiciones posibles en que nos podemos encontrar, que cumplen con estar a las distancias correctas. Si añadimos una tercera distancia "C", hay un solo punto de intersección de los tres círculos: la posición donde estamos.

El GPS permite, con un receptor equipado con una computadora, calcular desde cualquier punto la distancia a los satélites NAVSTAR que en ese momento estan en el segmento del cielo que cubre el receptor. Esto lo hace el sistema midiendo el tiempo que demora la señal del satélite en alcanzarlo. Como la señal de radio viaja a 300,000 Km/seg., y la distancia la cubre en menos de un 17avo de segundo, los relojes deben ser muy precisos. Son relojes atómicos (de cesio o rubidio) con una precision de milmillonesimas de segundo. Como el receptor no puede tener un reloj tan preciso, utiliza la señal de otro satélite para corregir el suyo.

Al final, la distancia del satélite es calculada con una precision de pocos centímetros. La ubicacion exacta del satélite es calculada por la computadora en base a "almanaque" y "efemérides", que envia el satélite cada segundo. El almanaque da la posición y las correcciones de órbita que hacen permanentemente las estaciones de control. La computadora es tan rápida que puede reprocesar los datos varias veces por minuto, incluida su propia velocidad y rumbo.

La topografía GPS convencional de post-proceso resulta ideal para levantamientos de control de la más alta precisión, particularmente cuando las líneas base y los tiempos de observación son largos. La técnica de post-proceso puede emplearse también para levantamientos de detalle y topográficos cuando, por ejemplo a causa de obstrucciones no se puede usar un radio modem. La calidad de las medidas se ve de inmediato, si se desea, pueden efectuarse controles al instante. Una vez estacionada la estación de referencia, para el manejo del receptor móvil solo se necesita un operador. En cuanto empieza a transmitir la estación de referencia, una única persona puede llevar a cabo un trabajo completo en tiempo real.

En la misma área pueden trabajar simultáneamente y de forma independiente diversas estaciones móviles. Para ello se apoyan en la misma estación de referencia. La técnica GPS en tiempo real resulta particularmente atractiva en aplicaciones donde se han de medir y replantear cientos o miles de puntos en áreas relativamente pequeñas y abiertas. Teniendo en cuenta que el operador puede desplazarse rápidamente con la estación móvil de un punto a otro, como un geodesta con un bastón de reflector, la técnica GPS en tiempo real se manifiesta muy útil en muchas de las tareas que normalmente se efectúan con estaciones totales.

El avance tecnológico más importante en topografía ha sido la creación del GPS, una constelación de 24 satélites dedicados a la navegación y posicionamiento. Venciendo las limitaciones logísticas inherentes al empleo de los sistemas topográficos en el terreno, el GPS aporta grandes ganancias en la productividad al permitir a los topógrafos realizar un itinerario entre puntos de apoyo (incluso en los lados de una montaña) sin tener que correr el itinerario, ni siquiera sin tener que ver el otro punto. Cualquier topógrafo puede ahora disfrutar las mismas ventajas en productividad cuando realiza tareas diarias, tales como levantamientos topográficos de detalle, de replanteo, apoyo local, redes geodésicas, topografía minera, mediciones para propósitos catastrales, actualización cartográfica, apoyo en prospecciones de yacimientos, control de obras de ingeniería etc.

En los Capítulos IV y V presento los trabajos realizados con GPS en la compañía Minsur S.A.; tanto trabajos topográficos y geodésicos en toda sus propiedades a nivel nacional en los siguientes quehaceres mineros

- Determinación de puntos de control suplementario referidos a puntos geodésicos del IGN de primer orden.
- Determinación de bases de triangulación para levantamientos topográficos.
- Determinación y replanteo de derechos mineros y habilitación de mina.
- Apoyo en la parte de topografía en la exploración geológica de los yacimientos de minerales.

Presento solamente algunos trabajos típicos realizados, porque tanto la toma de datos en campo y post-procesamiento en gabinete con el apoyo de programas de base de datos y el uso de AUTOCAD en computadora, son similares en los cientos de trabajos realizados.

En el capt. VI presento una comparación de costos resumidos donde vemos la gran ventaja económica que se obtiene con el uso del GPS respecto a los métodos convencionales. También hago referencia a las normas técnicas oficiales legales y antecedentes históricos de los mismos.

## CAPITULO I

### 1.-CONCEPTOS BASICOS DE GEODESIA

#### 1.1.1.- DEFINICION

La tierra puede considerarse bajo dos aspectos distintos: como cuerpo que forma parte de la gran familia de astros que pueblan el universo o como un conjunto de agua y tierra sobre el cual el hombre desarrolla su actividad para disfrutar los productos y desplegar su energía.

El estudio de la tierra como cuerpo que vaga por el espacio corresponde a la Astronomía, mientras que pertenece a la Geodesia el estudio del globo terrestre, convenientemente elegidos a gran distancia entre sí, con el objeto de constituir una sucesión continua, más o menos extensa, de porciones triangulares de superficie, bien sea con el objeto de calcular las dimensiones de la tierra o bien para individualizar un sencillo esquema o boceto de la forma exterior del terreno.

Pero este trabajo no es suficiente en la vida práctica del hombre, pues este tiene necesidad de un estudio detallado del territorio sobre el cual orienta su existencia ordinaria; por tanto, tiene necesidad de determinar las más pequeñas particularidades del suelo, los lindes de propiedades con sus divisiones interiores y diversos cultivos, las viviendas, caminos y los ríos que las atraviesan, puentes, los ferrocarriles, los montes con sus valles y barrancos, los bosques, los pantanos, las fronteras, los límites de las provincias y de las regiones; en suma todas aquellas particularidades del terreno que pueden interesar para las cuestiones que se presentan en las necesidades de la vida práctica.

#### 1.1.2.- FORMA DE LA TIERRA

En Geodesia, cuando se considera el globo terrestre se supone limitado por una superficie uniforme y continua, sin ninguna clase de elevaciones o depresiones, es decir, que se imagina presentando la misma forma que si no hubiese tierra, si no la superficie del mar en su estado normal de equilibrio, no alterada por las mareas ni por las acciones de los vientos, de las corrientes, de los transportes de agua meteórica, etc. Esta superficie ideal se distingue con el nombre del Geoide.

A causa de la distribución uniforme de las masas continentales, que influye de modo distinto sobre la gravedad terrestre, esta superficie no es regular, pero se aproxima bastante a un elipsoide de revolución, es decir, a una superficie engendrada por una elipse que gira alrededor de su eje menor.

Los valores de los semiejes de este elipsoide, expresados en metros son los siguientes :



	SEMIEJE POLAR	SEMIEJE ECUATORIAL
BESSEL.....	6356079	6377397
CLARK.....	6356765	6378206
UNION INTERNACIONAL GEODESICA Y GEOFISICA.....	6357024	6378388

Como se ve estos valores defieren sensiblemente entre si, pero como el elipsoide terrestre no debe servir mas que como superficie de referencia, a la cual se referiran todas las magnitudes sobre el geode, resulta indiferente el uso de uno u otro de los dos elipsoides. Sin embargo, como la mayor parte de las tablas auxiliares para los calculos geodesicos estan fundadas en las constantes besseleanas, siempre se habla en geodesia del elipsoide de Bessel, y tambien las operaciones topograficas contenidas en una pequena zona de la superficie terrestre resultan referidas al mismo elipsoide.

1.1.3.- UNIDADES DE MEDIDA

En Topografía no consideramos mas que tres espacios de magnitudes, a saber :

Magnitudes lineales, magnitudes superficiales y magnitudes angulares.

La cuestion de unificación de las medidas se planteó durante la Revolucion Francesa. Al principio la Asamblea Nacional propuso adoptar, como unidad de medida lineal, la longitud del péndulo.

que marca el segundo medio en la latitud de 45° y al nivel medio del mar, puesto que esta longitud era de fácil comprobacion. El 26 de Marzo de 1791 la Asamblea de los Estados Generales, después del informe de su presidente Talleyrand, votó la nueva propuesta de la comisión la cual dictamino que la unidad de medida de longitud debia ser la diezmilonesima parte del cuadrante del meridiano terrestre, y la llamaba el metro.

Debido a las deformaciones internas que, con el tiempo experimentan todos los metales, se definen actualmente el metro del modo siguiente, de acuerdo a la Comisión Internacional de pesos y medidas tomando en octubre de 1960.

$$1 \text{ metro} = 1\,650\,763,73 \text{ } \lambda$$

donde  $\lambda$  la longitud de onda en el vacio de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles 2p y 5d del  $^{86}\text{Kr}$  atomo de Cripton 86

Unidades de medida para las superficies es el metro cuadrado o centiarea, si la superficies de gran extension, se toma por unidad de medida la hectarea que equivale a 10.000 m<sup>2</sup>.

Unidades de medida para Angulos.- La unidad de medida para los arcos de un circulo dado es de 360° y está dividido en 60 partes iguales o minutos .

Coordenadas Geográficas.- Un punto de la superficie terrestre esta siempre determinado por dos magnitudes o coordenadas.

Se supone que el Ecuador está dividido en grados, minutos y segundos del sistema sexagesimal, que es adoptado generalmente por los astrónomos.

El meridiano que pasa por el origen de las áreas de Ecuador se llama meridiano principal o primer meridiano. Desgraciadamente, no hay país que no haya adoptado un meridiano principal propio, ordinariamente el que pasa por la capital; pero en la actualidad se tiende a adoptar universalmente como meridiano inicial el de Greenwich, al cual se refieren ya todas las efemérides astronómicas y los usos horarios de la tierra.

La latitud y la longitud constituyen el sistema de coordenadas geográficas.

#### 1.1.4.-GEODESIA ESFEROIDAL

INTRODUCCION.-La palabra Geodesia literalmente significa "división de la Tierra".

Según el geodesta francés Lœclavere (1951) : " La Geodesia estudia la forma y dimensiones de la Tierra y establece los procedimientos para la medida de porciones terrestres, que por su magnitud requieren la consideración de la curvatura terrestre".

Para el inglés G Bomford (1962), el significado de geodesia es : "División de la Tierra y su primer objetivo es el de proporcionar una armazón o estructura geométrica precisa para el apoyo de los levantamientos topográficos".

Hebert M Wilson en 1908 expreso : "La geodesia puede definirse brevemente como la ciencia que resuelve los problemas relacionados con la figura y dimensiones de la Tierra y comprende :

1. La medida exacta de una línea llamada "base" de unos kilómetros de longitud
2. La determinación de la latitud y longitud de uno de los extremos de la base, así como el azimut astronómico de la misma.
3. La ampliación de la base por medio de la triangulación.
4. El cálculo de esta triangulación hasta llegar a las coordenadas geográficas de sus vértices, para el profesor doctor H. de Mattos, Rio de Janeiro, Brasil, 1954 la Geodesia

es : "La ciencia que procura determinar la forma de la superficie física de la Tierra, referida a otra superficie más o menos uniforme que aproxima a la superficie real de la tierra.

En atención a lo anterior, se agrega que la Geodesia es una ciencia que originalmente se ocupó de la medida y forma del globo terráqueo y que posteriormente ha intervenido en la conformación de mapas nacionales e internacionales, así como cartas para aplicaciones específicas.

#### 1.1.5.-FORMA Y DIMENSIONES DE LA TIERRA

El conocimiento de la forma de la Tierra puede realizarse mediante el empleo de la Geodesia Matemática que proporciona entre otras las longitudes lineales de arcos en distintas latitudes; o empleando la Geodesia dinámica para determinaciones de la intensidad de la gravedad en diversos lugares.

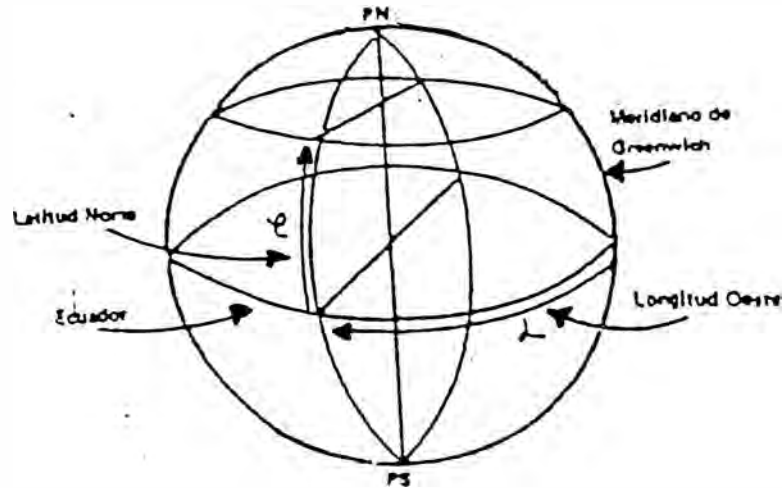
La forma de la Tierra se asemeja a la de una esfera cuyo achatamiento es apenas apreciable.

Esta forma particular de la tierra recibe el nombre de "Geoide".

El achatamiento de la Tierra es relativamente pequeño, su magnitud es tal, que si se representa a la tierra por una esfera cuyo radio ecuatorial es de 5 metros, el radio polar diferirá del ecuatorial en sólo 17 milímetros.

La forma real de la Tierra se aleja en algunas partes de la figura matemática de un elipsoide, por lo que no es posible calcular de manera analítica el globo terrestre; sin embargo, para tener una idea de sus dimensiones se consignan los siguientes valores:

Semieje mayor o radio ecuatorial ..... 6,378 Kms  
Semieje menor o radio polar ..... 6,357 Kms



LA SUPERFICIE GEOIDAL FIG. 1

### 1.1.6.-GEOIDE

Superficie equipotencial en el campo de la gravedad de la Tierra que coincide con la superficie media de los mares, extendida a través de los continentes.

La forma real de la Tierra es muy compleja y no se ajusta a alguna superficie de expresión matemática definida.

La figura que más se asemeja a la Tierra, en la que el potencial de la gravedad es constante, recibe el nombre de Geoide o superficie equipotencial

La superficie Geoidal se define como la superficie que coincide con la superficie del agua en reposo de los océanos, idealmente extendida bajo los continentes, de modo que las líneas verticales crucen perpendicularmente esta superficie en todos los puntos.

La superficie Geoidal es continua, cerrada y convexa, en todas sus partes, pero no sigue ninguna forma matemática determinada.

Cuando existe, en alguna región del geoide una baja densidad de masa, este se hunde y en forma inversa, donde existe densidad de masa, el geoide se levanta dando como resultado una superficie de forma irregular que sensiblemente se parece a la

superficie elipsoidal rigurosamente matemática.

Los hundimientos y levantamientos del geode varian hasta en 100 metros aproximadamente y constituyen las ondulaciones geoidales. La forma del Geode es diferente y propia para cada región de la Tierra.

### LA SUPERFICIE GEOIDAL:

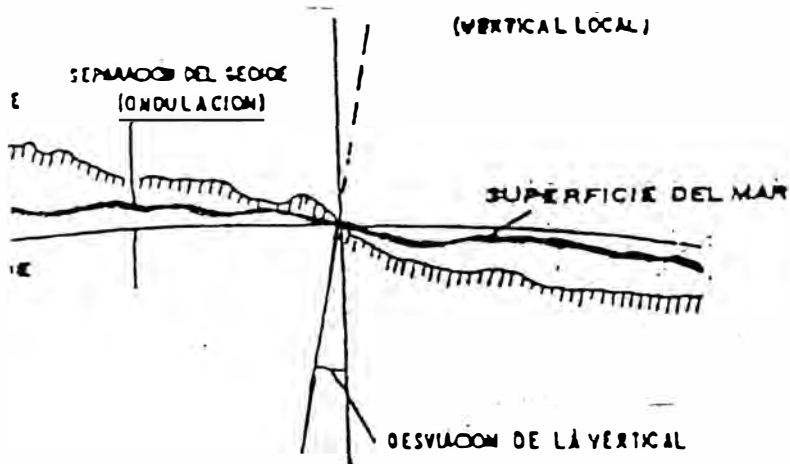


FIG. 2

#### 1.1.7.-EL ELIPSOIDE DE REFERENCIA - KLARKE 1986,INTERNACIONAL(SUD-56), WGS-84

Los calculos y observaciones geodésicos son referidos a una superficie de forma regular que se asemeja a la superficie geoidal en un pais o region determinada.

Esta superficie de referencia coincide con la superficie regular matematica de un elipsoide, definido por sus semiejes mayor y menor

Como el geode tiene diferente forma en cada región extensa de la Tierra, el elipsoide de referencia para cada una de estas regiones, será diferente y propio para ella.

Debido a la circunstancia anterior, el elipsoide de referencia para la America del Norte y Centroamérica es el de CLARKE 1866 y para America del Sur es el Internacional Hayford que tienen diferentes dimensiones.

Los elipsoides se distinguen uno de otro por las dimensiones de sus semiejes mayor y menor, que se designan con las letras "a" y "b", respectivamente.

En la operación de la Geodesia Satelital o sistema (G.P.S.); se ha tomado como elipsoide de referencia al WGS84 o GRS80, que puede ser considerado como un elipsoide promedio de los elipsoides que se emplean en toda la extensión de la Tierra.

Los semiejes de los tres elipsoides mencionados son los siguientes :

Semieje mayor = a

Semieje menor = b

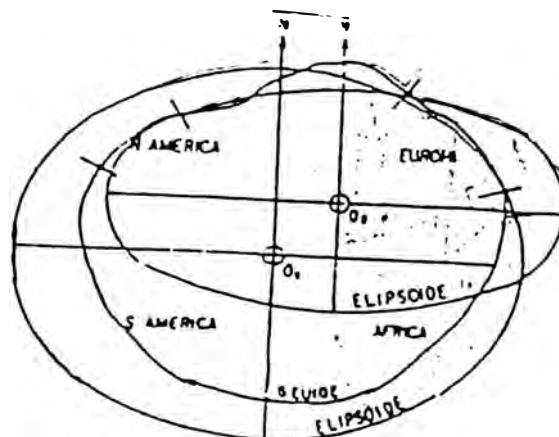


FIG. 3

ELIPSOIDE	a	b
CLARKE 1986	6378206.40000 m	6356583.80000 m
INTERNACIONAL	6378388.00000 m	6356911.94613 m
WGS84	6378137.00000 m	6356752.31410 m

LOS ELEMENTOS DEL ELIPSOIDE

El semieje mayor de un elipsoide es la dimensión longitudinal lineal del radio del círculo ecuatorial.

El semieje mayor de un elipsoide se define como la mitad de longitud lineal del eje de revolución de la elipse máxima.

El achatamiento elipsoidal es la relación resultante entre la diferencia de la longitud lineal de los semiejes mayor y menor y la longitud del semieje mayor.

En ocasiones se prefiere definir los elipsoides con el semieje mayor "a" y el achatamiento elipsoidal o polar (f).

En función de los semiejes se determinan las constantes o parámetros propios de cada elipsoide que intervienen en el desarrollo de las fórmulas Geodésicas empleadas en determinados cálculos.

El número de parámetros de un elipsoide es variable, siendo los principales de acuerdo a su frecuencia de empleo, los siguientes :

- 1.- Semieje mayor : a
- 2.- Semieje menor : b
- 3.- Achatamiento :  $f = \frac{a - b}{a}$
- 4.- Primera excentricidad numérica :  $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$

Para los elipsoides de Clarke 1866, Internacional Hayford 1909 y WGS84, el valor de los parámetros anteriores resulta ser el siguiente :

PARAMETRO	CLARKE 1866	INTERNACIONAL	WGS84
a	6378206.4 m	6378388.0 m	6378137.0
b	6356583.8 m	6356911.9	6356752.3
f	0.00339007	0.003367003	0.003352811
e	0.006768657	0.006722670	0.006694381
e	0.006814784	0.006768170	0.006739497

### 1.1.8.-SISTEMA GENERAL DE COORDENADAS GEODESICAS

LATITUD ASTRONOMICA.-Angulo vertical entre la vertical del punto de observación y el plano del ecuador celeste

LONGITUD ASTRONOMICA.-Angulo comprendido entre el plano del meridiano celeste y el plano del meridiano del origen escogido arbitrariamente.

LATITUD GEODESICA.-Angulo definido por la normal en un punto en el esferoide de referencia con el plano del ecuador geodésico.

LONGITUD GEODESICA.-Angulo comprendido entre el plano del meridiano geodésico y el plano de un meridiano origen elegido arbitrariamente.

El paralelo origen para la latitud es el ecuador.

El meridiano origen para la longitud es el meridiano cero o de Greenwich

Las coordenadas Geodésicas de una Estación se determinan por levantamientos geodésicos referidos a determinado elipsoide.

### SISTEMA GENERAL DE COORDENADAS GEODESICAS

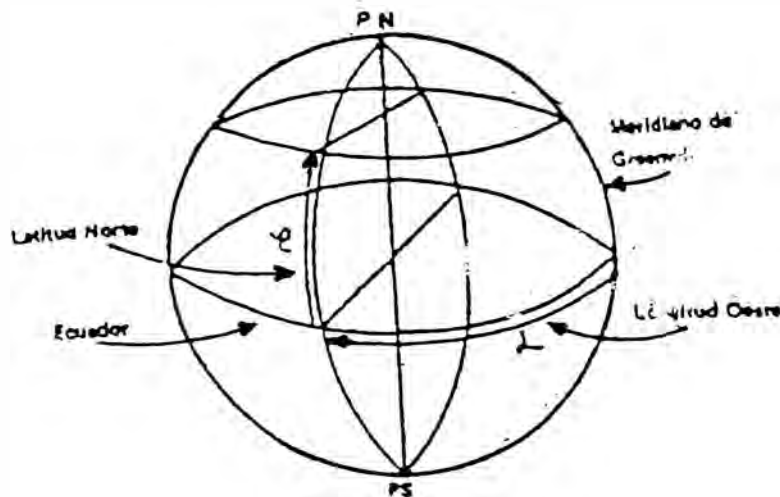


FIG 4

En la Geodesia esferoidal (Geometrica) es fundamental el calculo de la longitud lineal del arco de meridiano a determinada latitud.

Este calculo se realiza por medio de la integral eliptica siguiente :

$$A = \int \frac{d\phi}{(1 - e \sin \phi)^{3/2}}$$

En la fórmula, con A se designa a la distancia del arco meridiano en metros entre dos paralelos de latitud N1 y N (grados sexagesimales)

DISTANCIA DE UN ARCO MERIDIANO ENTRE PARALELOS

Ejemplo de aplicación

Obtener la distancia del arco meridiano entre los paralelos que pasan por los vértices geodésicos;

“Pilar”    N = 12° 44' 21".183  
“Tanque”   N1 = 12° 41' 20".327

Se aplica y obtiene , A = - 5558.156 m.

LONGITUD DE UN ARCO PARALELO

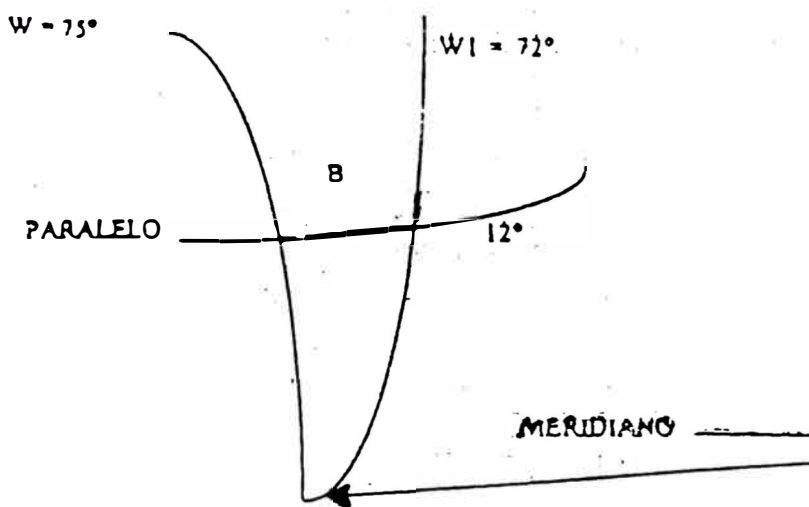


FIG. 5

El paralelo, en un elipsoide de revolución, es una circunferencia por lo que el calculo se reduce a la determinación de un arco de circunferencia en base a su angulo central.

Si se designa con B a la longitud del arco paralelo de la latitud N, entre los meridianos la longitud geodesica W1 y W;

Ejemplo: Obtener el perimetro de los arcos paralelos en “Pilar” y “Tanque” si la longitud de Pilar es 75° 36' 57".287 y la de “Tanque” 76° 37' 30".054

Arco paralelo en “Pilar”    = -988.483 m

Arco paralelo en “Tanque”   = -988.677 m

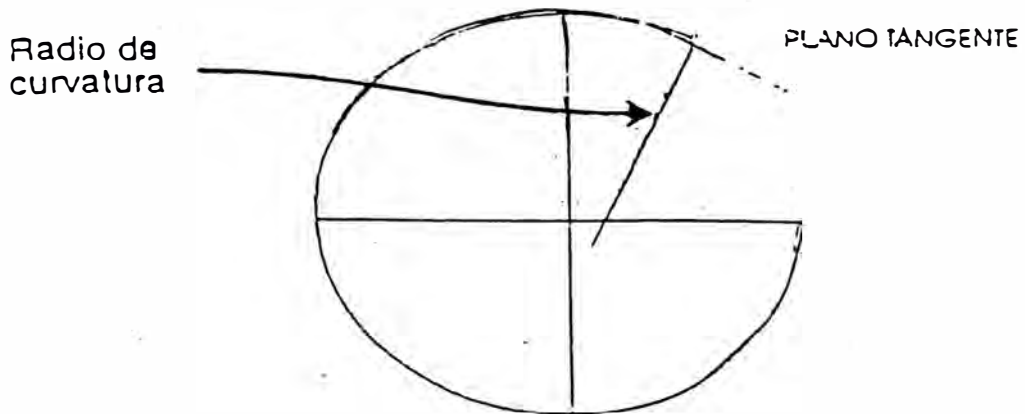
RADIOS DE CURVATURA

Otros elementos del elipsoide son los radios de curvatura en el meridiano, en el

primer vertical, el radio medio de curvatura, es el de un círculo paralelo de la latitud determinada y el radio es un azimut cualquiera.

Los radios de curvatura intervienen por lo general en las determinaciones de las longitudes lineales de los arcos meridiano y paralelo en determinado punto.

El radio de curvatura de una sección es aquel que en la esfera proporciona el perímetro de la elipse correspondiente a una sección.



SECCION NORMAL MERIDIANA MOSTRANDO EL RADIO DE CURVATURA DEL MERIDIANO (M)

FIG. 6

#### CALCULO DE POSICIONES GEODESICAS

La elección del sistema de proyección cartográfica depende de las características topográficas del área por proyectar, así como de la precisión que se desea en los planos por realizar.

Cualquiera que sea el sistema de proyección para obtener los puntos básicos de un mapa a partir de los puntos geodésicos será necesario proyectar por lo menos los puntos de intersección de meridianos y paralelos que forman la cuadrícula de una región determinada.

Esta operación requiere la conversión de coordenadas geodésicas de un punto a las correspondientes coordenadas planas UTM, Lambert, Alvier's u ortogonales regionales. A este cambio de coordenadas se le designa como CONVERSION DIRECTA DE COORDENADAS- cuando se invierte el procedimiento y se convierte a coordenadas geodésicas se dice que se realiza con CONVERSION INVERSA DE COORDENADAS.



El cálculo de ambas conversiones directa o inversa requiere de la aplicación de secuencias complicadas de cálculo y en ocasiones, de la consulta de varios valores en tablas geodésicas. Este procedimiento resulta inseguro y lento en su aplicación.

Con el fin de conseguir gran seguridad de cálculo, rapidez y una permanente y alta precisión en la conversión de coordenadas, se desarrollaron fórmulas integrales para realizar dichas conversiones como son :

#### CONVERSION DE COORDENADAS PLANAS ORTOGONALES AL SISTEMA ABSOLUTO DE COORDENADAS GEODESICAS.

Se realiza esta conversión en el sistema de coordenadas topográficas ortogonales planas de cualquier región.

Requiere del establecimiento previo de coordenadas geodésicas de uno de los vértices del sistema mediante levantamiento geodésico o por observaciones G.P.S.

El cálculo de la latitud y longitud de los puntos que comprenden una red topográfica se realiza mediante la aplicación de las fórmulas y del catálogo de fórmulas.

#### CONVERSION DIRECTA DE COORDENADAS GEODESICAS A COORDENADAS ORTOGONALES UTM

Este cambio de coordenadas es con seguridad el que se realiza con mayor frecuencia.

Se emplean las fórmulas integrales con el siguiente procedimiento :

Para obtener la ordenada UTM o "y" de un punto se emplean las fórmulas que están dadas en función de las coordenadas geodésicas del punto y de la longitud geodésica del meridiano central correspondiente.

La abscisa UTM o "X" del punto se obtiene aplicando la fórmula en función de los mismos datos.

#### CONVERSION DE COORDENADAS UTM ENTRE ZONAS VECINAS DE PROYECCION UTM

Esta operación se realiza necesariamente en dos pasos :

- a) El primero consiste en realizar la conversión inversa del punto vecino tomando en cuenta el M.C. donde se encuentra y con ello se obtienen sus coordenadas geodésicas.
- b) El segundo, consiste en la conversión directa de las coordenadas geodésicas del punto dentro de la zona UTM vecina que se quiere indentificar, por su meridiano central.

#### TRANSFORMACION DE COORDENADAS GEODESICAS ENTRE DIVERSOS ELIPSOIDES DE REFERENCIA

El elipsoide de referencia adoptado del Perú, es el Internacional Hayford 1909, con los siguientes parametros

$a = 6378388.0$  metros;  $b = 6356752.341$  metros

El sistema de medición GPS se realiza dentro del elipsoide W6584, también conocido como GRS80 con los siguientes parámetros

$a = 6378137.0$  metros ;  $b = 6356752.341$  metros.

Las coordenadas geodésicas de un punto referidos al elipsoide transitorio WG84 del sistema GPS para ser ingresadas en cálculos geodesicos propios de este sistema. La transformación anterior se pudo realizar por aplicación de software integrado por los equipos GPS de la marca TRIMBLE o bien, por la aplicación de las fórmulas para resolver el cálculo inverso de transformación de coordenadas de elipsoide WGS84 a Internacional.

#### CONVERSION DE COORDENADAS GEODESICAS A COORDENADAS DE PROYECCION CONICA DE LAMBERT

Previamente a la realización de esta conversión se requiere definir las características del cilindro secante de proyección que consiste en fijar los paralelos tipo y meridiano central que regiran la proyección. Como por ejemplo para el Perú se fijan los paralelos  $3^{\circ}$  y  $15^{\circ}$  y el M.C.  $75^{\circ}$ .

#### PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA TRANSFORMACION DE COORDENADAS UTM A OTROS SISTEMAS DE PROYECCION

Este procedimiento consiste en realizar la conversión inversa (coordenadas UTM a Geodesicas de los puntos requeridos empleando las fórmulas ya indicadas que contienen los parametros del elipsoide de referencia Internacional. En seguida se definirá el sistema de proyección cónica de Lambert o Alber's que se desee. Una vez definido el sistema se aplicaran fórmulas propias del elipsoide Internacional para proyectar los puntos de la superficie geodésica (coordenadas geodesicas) a la superficie de conosecante de proyección con características Lambert o Alber's, según sea el caso.

### 1.1.9.-COORDENADAS UTM Y SUS ORIGENES (NORTE ESTE)

#### 1.1.9.1.-PRINCIPIOS BASICOS DE CARTOGRAFIA

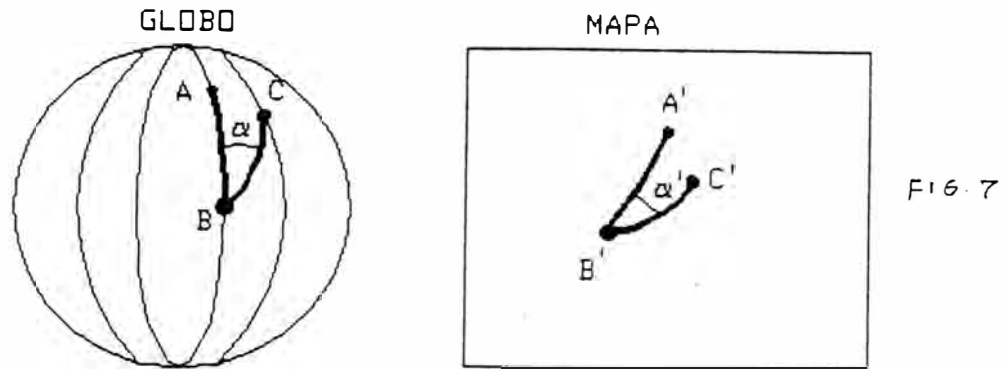
CARTOGRAFIA.- es la ciencia que se encarga de la representación de la superficie de la tierra en un plano mediante cartas y mapas.

Como se ha visto la ubicación de puntos los podemos representar mediante coordenadas geodesicas o coordenadas cartesianas, pero si esto se hace en forma

analítica es necesario hacer una representación gráfica en un plano, para poder realizar esto es necesario hacer proyecciones cartográficas.

1.1.2.-PROPIEDADES DE LAS PROYECCIONES CARTOGRAFICAS

CONFORMES : Cuando los ángulos proyectados son los mismos en la superficie de la tierra y en la representación cartográfica fig. 7



EQUIDISTANTES : Cuando se conserva la misma distancia entre dos puntos tanto en la superficie de la tierra y en el plano de proyección fig. 8

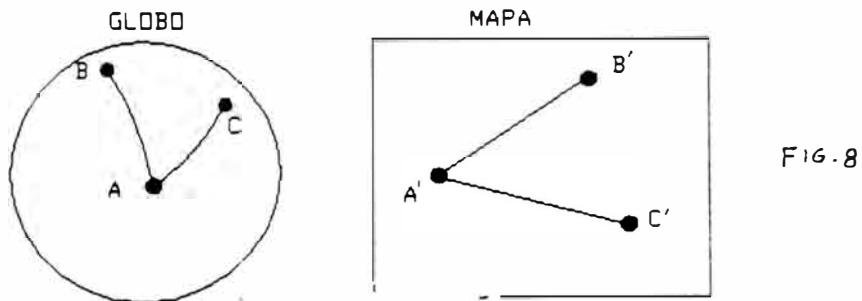
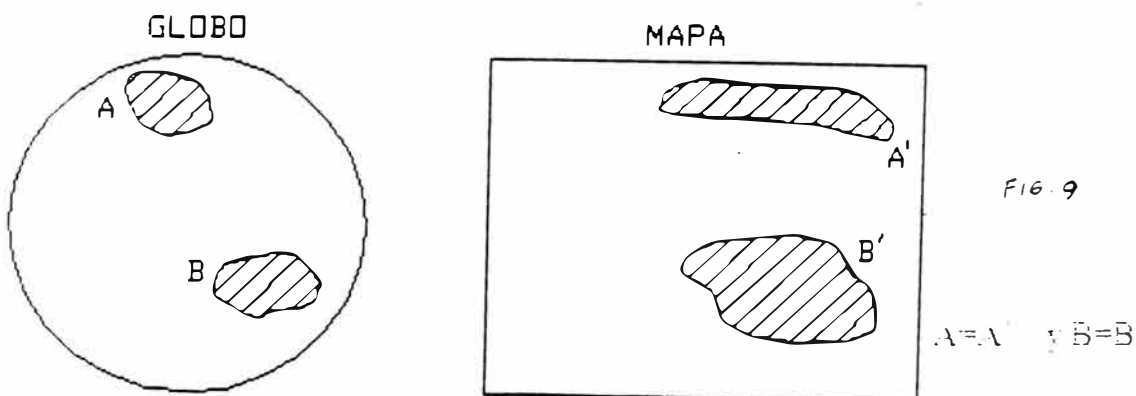


Fig.  $AB = A'B'$  y  $AC = A'C'$

EQUIVALENTE: Cuando se mantienen las areas Fig. 9



En las aplicaciones para navegación y geodesia se usan los planos conformes siendo también importante los Equidistantes.

En Geografía para datos estadísticos y económicos se usan los planos equivalentes.

El logro de cualquiera de estas propiedades mencionadas, se obtiene al costo de distorcionar otras propiedades. Por ejemplo en una proyección de igual área, para mantenerla esta se deben distorcionar los ángulo y distancias.

### 1.1.9.3.-CLASIFICACION DE LAS PROYECCIONES

Las proyecciones conformes pueden clasificarse en

- Proyección Cilíndrica o de MERCATOR
- Proyección Cónica o de LAMBERT.
- Proyección Plana Estereográfica Polar

Fig 10

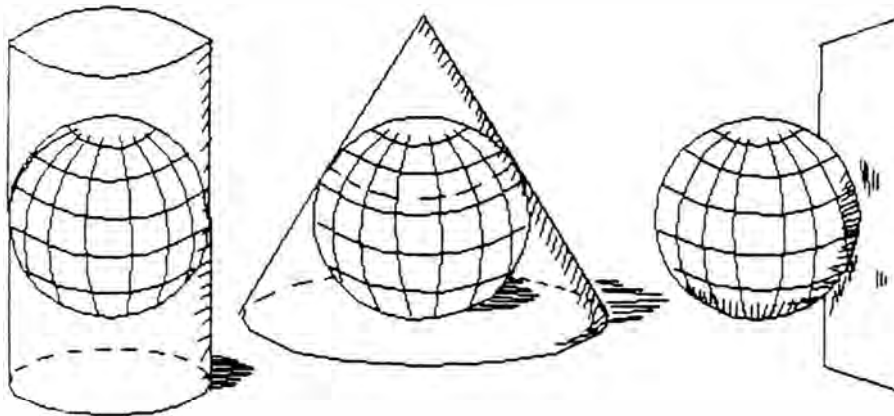


Fig 10

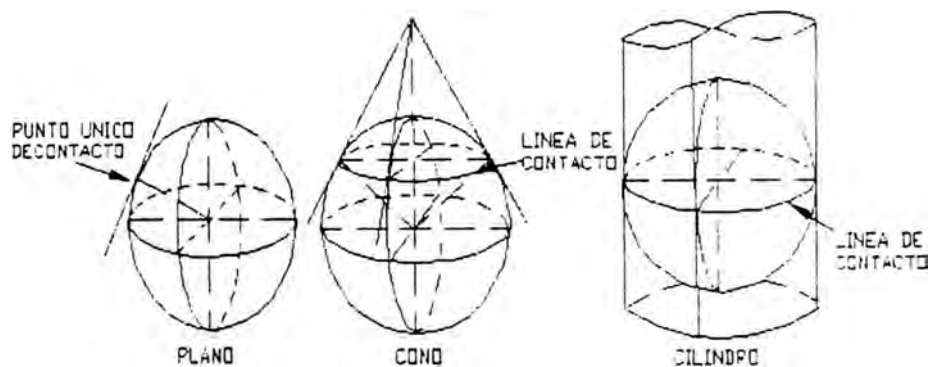


Fig 11

#### 1.1.2.4.-PROYECCIONES CILINDRICAS

##### PROYECCION MERCATOR (M)

Esta proyeccion considera al elipsoide dentro de un cilindro, cuyo eje coincide con el eje promedio de rotacion de la tierra siendo tangente en el Ecuador. Cuando se desarrolla la superficie del cilindro en un plano, la linea ecuatorial representa una linea de verdadera distancia y las distorsiones se toman mayores a medida que aumenta las latitudes (S,N) (Fig. 11 )

##### PROYECCION TRANSVERSAL DE MERCATOR (TM)

Como en la proyeccion Mercator (M) el elipsoide dentro del cilindro pero con el eje de este en el plano del ecuador perpendicular al eje de rotacion de la tierra siendo tangente a un meridiano cuya distancia en el es verdadera, al este u oeste del meridiano tangente se producen las distorsiones.

##### PROYECCION UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR (UTM)

Como en el caso de la proyeccion TM: el diametro del cilindro es ligeramente menor que el eje menor del elipsoide, intersectando en dos meridianos que coinciden y estan a 180 000 m del meridiano central fig. 12

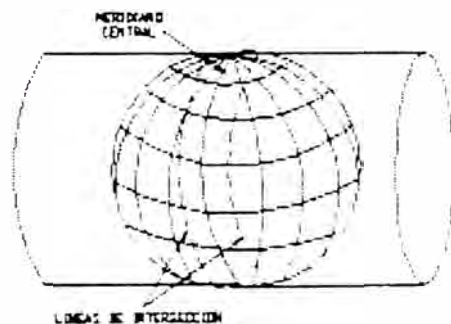


Fig. 12

Cuando el cilindro es desarrollado en un plano, la relacion entre la malla y el reticulado se muestra en la Fig. 12. Los meridianos de longitud y los paralelos de latitud se intersecta en angulos rectos.

El meridiano central es una linea recta y los meridianos cercanos son lineas casi rectas (ligeramente concavas con respecto al meridiano central). Los paralelos son lineas curvas, concavas con respecto al plano mas cercano.

El espaciamiento entre meridianos de longitud, y por lo tanto la escala, aumenta al alejarnos del meridiano central. Con el objeto de conservar la proporcionalidad, la escala en la dirección Norte-Sur es distorsionada para igualar la distorsión de escala. La escala sobre el meridiano central es demasiado pequeña, ya que el cilindro escogido es más pequeño que el elipsoide. La escala aumenta al alejarnos del meridiano central y generalmente se elige de tal forma que sea correcta sobre dos líneas (elipses de intersección) casi paralelas a él, y ubicadas a  $2/3$  de distancia al meridiano central y los bordes de la proyección. Sobre los bordes la escala será demasiado grande. La figura muestra la relación entre el factor de escala puntual y la coordenada este de una proyección transversal de Mercator típica.

El factor de escala puntual es la razón entre una distancia infinitesimal sobre la malla y la distancia correspondiente sobre el elipsoide. El valor del factor de escala sobre el meridiano central es dependiente del ancho, o de la extensión de la proyección este-oeste y de la precisión requerida. La Proyección Universal de Mercator (UTM) tiene 60 zonas cada una de  $6^\circ$  de longitud, siendo la primera zona de  $180^\circ$  a  $174^\circ$  de longitud Este y su meridiano central  $177^\circ$  E. De acuerdo al siguiente cuadro :

El territorio peruano se encuentra en la zona 17, 18 y 19, Tumbes, Piura, Lambayeque, río Cénepa; corresponden a la zona 17; Lima está en la zona 18 y a Puno y Madre de Dios le corresponde la zona 19.

Las zonas de cada  $6^\circ$  al desarrollar el cilindro, se toma el meridiano central  $X = 500\ 000$  m y la línea ecuatorial  $10\ 000\ 000$  m.

Por ejemplo un punto P ubicado en el observatorio del IGP de Ancon (VANGUARAD).

Coordenadas Cartesianas	X = 1389137.3383 m
PSAD-56	Y = -6088691.0811 m
	Z = -1292895.6536 m

Coordenadas Geodésicas	= $11^\circ\ 46'\ 24.097$ S
PSAD-56	= $77^\circ\ 08'\ 52.415$ W
	h = 49.310 m.

Coordenadas Planas UTM	E (x) = 265 925.2745 m.
PSAD-56	N (y) = 8697599.9707 m.
	ZONA = 18

Existen fórmulas de transformación de coordenadas planas UTM (x, y) a coordenadas geodésicas o viceversa. Los programas o softwares de procesamiento electrónico realizan electrónicamente estas transformaciones.

ZONAS DE COORDINACION UTM

ZONA	LIMITE DE ZONAS		MERIDIANO CENTRAL	ZONA	LIMITE DE ZONAS		MERIDIANO CENTRAL
	INICIO	FINAL			INICIO	FINAL	
1	180° E	174° E	177° E	31	0	6 W	3 W
2	174	168	171	32	6	12	9
3	168	162	165	33	12	18	15
4	162	156	159	34	18	24	21
5	156	150	153	35	24	30	27
6	150	144	147	36	30	36	33
7	144	138	141	37	36	42	39
8	138	132	135	38	42	48	45
9	132	126	129	39	48	54	51
10	126	120	123	40	54	60	57
11	120	114	117	41	60	66	63
12	114	108	111	42	66	72	69
13	108	102	105	43	72	78	75
14	102	96	99	44	78	84	81
15	96	90	93	45	84	90	87
16	90	84	87	46	90	96	93
17	84	78	81	47	96	102	99
18	78	72	75	48	102	108	105
19	72	66	69	49	108	114	111
20	66	60	63	50	114	120	117
21	60	54	57	51	120	126	123
22	54	48	51	52	126	132	129
23	48	42	45	53	132	138	135
24	42	36	39	54	138	144	141
25	36	30	33	55	144	150	147
26	30	24	27	56	150	156	153
27	24	18	21	57	156	162	159
28	18	12	15	58	162	168	165
29	12	6	9	59	168	174	171
30	6	0	3	60	174	180	177

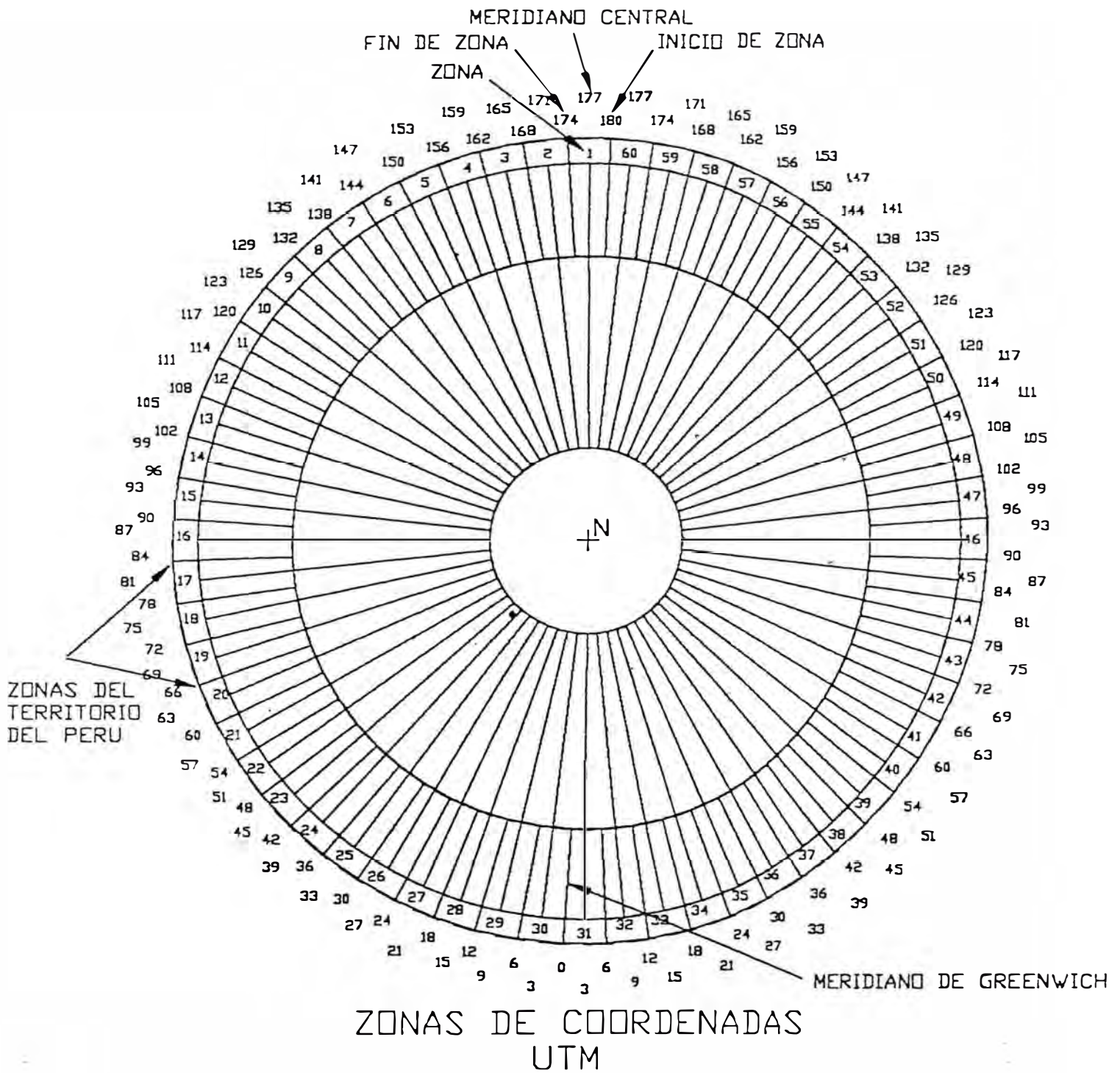


FIG. 13



17

18

19

MC

MC

MC

1000000m

E C U A D O R

C O L O M B I A

B R A S I L

B O L I V I A

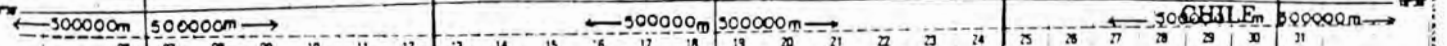
CHILE

REPUBLICA DEL PERU  
INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL

**CUADRO DE EMPALMES**  
CARTA NACIONAL ESC. 1:100 000

- Hojas Publicadas en Venta
- Hojas de Venta Restringida
- Numero Total de Hojas
- Numero de Hojas Publicadas (Nov 94)
- Proyeccion: Transversa de Mercator
- Escala del Grafico: 1 500 000
- MC: Menguano Central del Sistema de Cuadrícula Militar (MGRS)
- 17.18.19 M LK: Designacion de Zona de Cuadrícula del (MGRS)

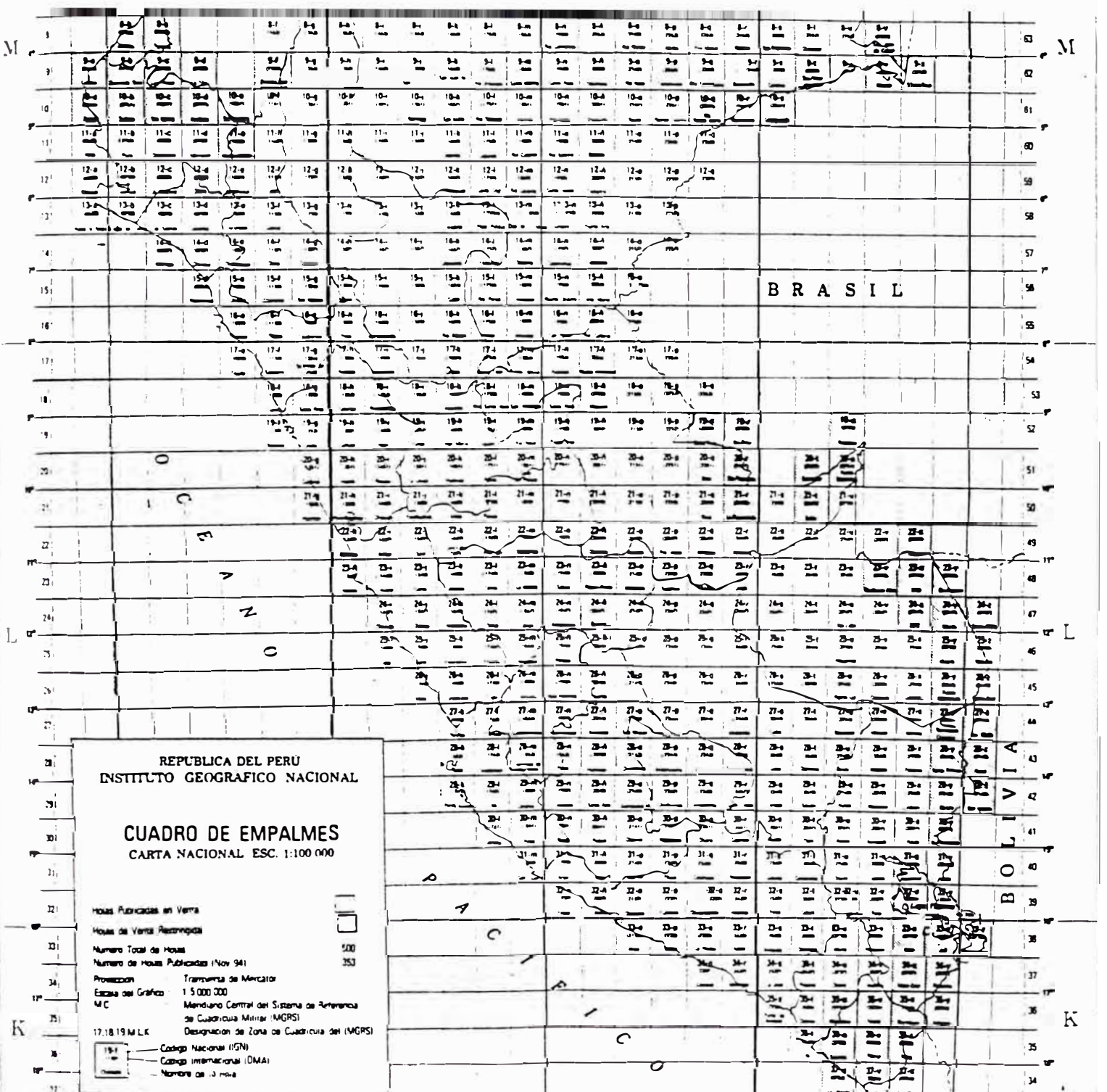
- 151: Código Nacional (IGN)
- 152: Código Internacional (DMAI)
- 153: Numero de Hoja



ZONA 17

ZONA 18

ZONA 19



La proyección UTM en el hemisferio Norte está limitada a  $84^\circ$  de Latitud y para el hemisferio Sur hasta  $80^\circ$ , para las áreas polares se utiliza la proyección estereográfica polar.

Como hemos visto la proyección UTM se acomoda para nuestra cartografía siendo muy útil y aplicada para demarcaciones mineras en cuadrículas de 1 Km. x 1 Km. por ejemplo.

#### 1.1.9.5.-PROYECCION CONICA DE LAMBERT

Esta es una proyección conforme como ya sea uno o dos paralelos normales de latitud. La interpretación geométrica es la de un cono ya sea tangente al elipsoide o que lo corta a lo largo de uno o dos paralelos de latitud. El caso de dos paralelos normales es análogo al UTM. El ángulo  $\theta$  del vértice del cono se escoge de tal manera que corte al elipsoide en el área para la cual hay que obtener el mapa. Fig. 14

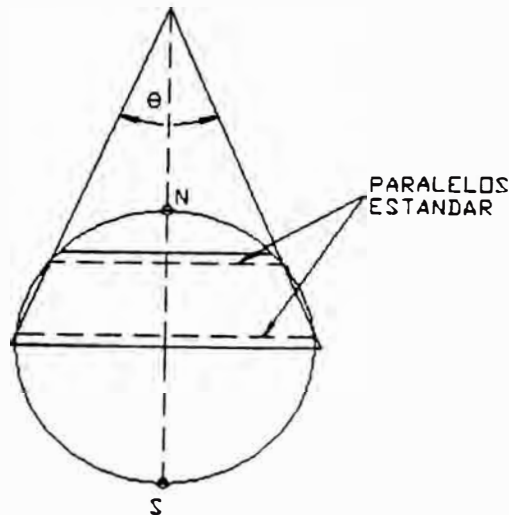


Fig. 14

El eje del cono coincide con el eje de rotación de la tierra y el vértice del cono está ubicado sea al norte o sur de la tierra, dependiendo del área que debe ser incluida en el mapa está en el hemisferio norte o en el hemisferio sur.

#### 1.1.9.10.-RESEÑA HISTORICA DE LA GEODESIA EN EL PERU

Dada la extensión del continente americano, la escasez de vías de comunicación, la diferencia de climas y la naturaleza del relieve, tenemos que destacar el notable impulso que dieron a los estudios astronómicos geodésicos en la América Meridional las Expediciones Científicas Francesa durante el siglo XVIII.

No obstante de haber surgido en el siglo XVII la cuestión de saber si la tierra era un elipsoide aplastado o prolongado en el sentido de los polos; empero para

resolver esta situación la Academia de Ciencia de Paris envió dos expediciones, una a la región polar de Laponia y la otra a una región ecuatorial. en el territorio de las antiguas colonias españolas en America. En cada una de ellas se procedió a medir un arco de meridiano bajo esas latitudes extremas.

Sin embargo, la ejecución final de los trabajos quedó bajo la responsabilidad del Servicio Geográfico del Ejército Frances. De los seis oficiales que partieron de Francia, en 1901, solo un oficial geodesta y un médico tomaron parte de esa misión, trabajando en el terreno durante todo el periodo de operaciones, desde junio de 1901 hasta julio de 1906.

La Segunda Misión Científica francesa durante el proceso de medición, tuvo que atenerse a las condiciones climáticas y del relieve; por consiguiente, realizaron la instalación de las bases de Riobamba y San Gabriel, en el Ecuador, y la base de Viviate, en el departamento de Piura, en el Perú; posteriormente, esta base sirvió de apoyo para el levantamiento de la Carta Nacional del Perú en 1922.

Con respecto a la Cartografía Nacional tenemos que hacer mención al año 1859, cuando en aquel entonces, estaba como Presidente de la República el Mariscal don Ramón Castilla quien encargó a don Mariano Felipe Paz Soldán la redacción de un Mapa General del Perú para continuar la Obra "Geografía del Perú", cuyo autor era don Mateo Paz Soldán, efectuándose a base de cartas proporcionadas por la marina, con croquis y referencias verbales.

Otros trabajos geográficos de importancia fueron realizados desde el año 1888 por la Sociedad Geográfica de Lima y, además se ocupó de la recopilación y publicación de la obra del sabio Antonio Raimondi titulado "El Perú". También recomendó al Gobierno de turno que encargara a un organismo especializado el levantamiento de la Carta Nacional.

En cuanto a los trabajos topográficos, se reconoce la labor destacada del Comandante F. Berthon, de la Misión Militar Francesa en el Perú, en el año 1904, que se encargó de organizar la Sección Topografía, dependiente de la Escuela Militar de Chorrillos. Con sargentos especializados se hicieron algunos levantamientos topográficos simples e irregulares en las áreas siguientes; Chorrillos en 1904, Lima, Ancón y Tumbes en el año 1907, Chucuito, Moquegua, Lima, Canta y Chiclayo en 1912; y Arequipa en 1915.

En 1942 el Servicio Geográfico del Ejército cambió de nombre por el de Instituto Geográfico Militar, entidad rectora de la cartografía en nuestro país, dependiente del Ministerio de Guerra, fue designado para ejecutar el levantamiento de la Carta Nacional a las escalas de 1:100,000 y mayores. Participa en el desarrollo socio-económico del país, su labor consiste especialmente en preparar y proporcionar los documentos cartográficos necesarios para realizar proyectos de vialidad, expansión urbana, estudios de suelos, represas, irrigaciones, etc. a los organismos estatales y para estatales del Sub-sector público independiente y del sector privado. Realiza trabajos de control geodésico básico, control geodésico suplementario, clasificación de campo, operaciones fotogramétricas, dibujo y reproducción para los levantamientos de cartas. Por otro lado, ejecuta los trabajos de control básico,

control suplementario, etc. para los levantamientos especiales que solicitan otras entidades ya antes mencionadas. Se ocupa de las tareas de triangulación radial, rectificaciones, ampliaciones o reducciones de fotografías aéreas para la confección de mosaicos aerofotográficos controlados para esas mismas entidades. Realiza la reproducción de documentos cartográficos especiales que soliciten y proporciona información técnica disponible sobre cartografía nacional, a las entidades o personas naturales que lo requieran para fines de desarrollo económico, social o de instrucción.

Tras la firma de un convenio entre los Gobiernos de Perú, y de los Estados Unidos de Norteamérica en 1948, se ejecutaron trabajos para un programa de Cartografía

Aérea y Topografía del suelo peruano a través de fotografías aéreas y levantamientos geodésicos y topográficos. En realidad con gran precisión se han obtenido trabajos geodésicos y uniformidad en los trabajos cartográficos que se ejecutaron en varios países sudamericanos.

El acuerdo de Cooperación Técnica con Japón, está dirigido a las investigaciones conjuntas para desarrollar un método para producir mapas a escalas 1/50,000 empleando imágenes SPT que contaron con estudios de una duración de 4 años. (1987-1990).

## 1.2.- CONCEPTOS BASICOS DE GEODESIA SATELITAL

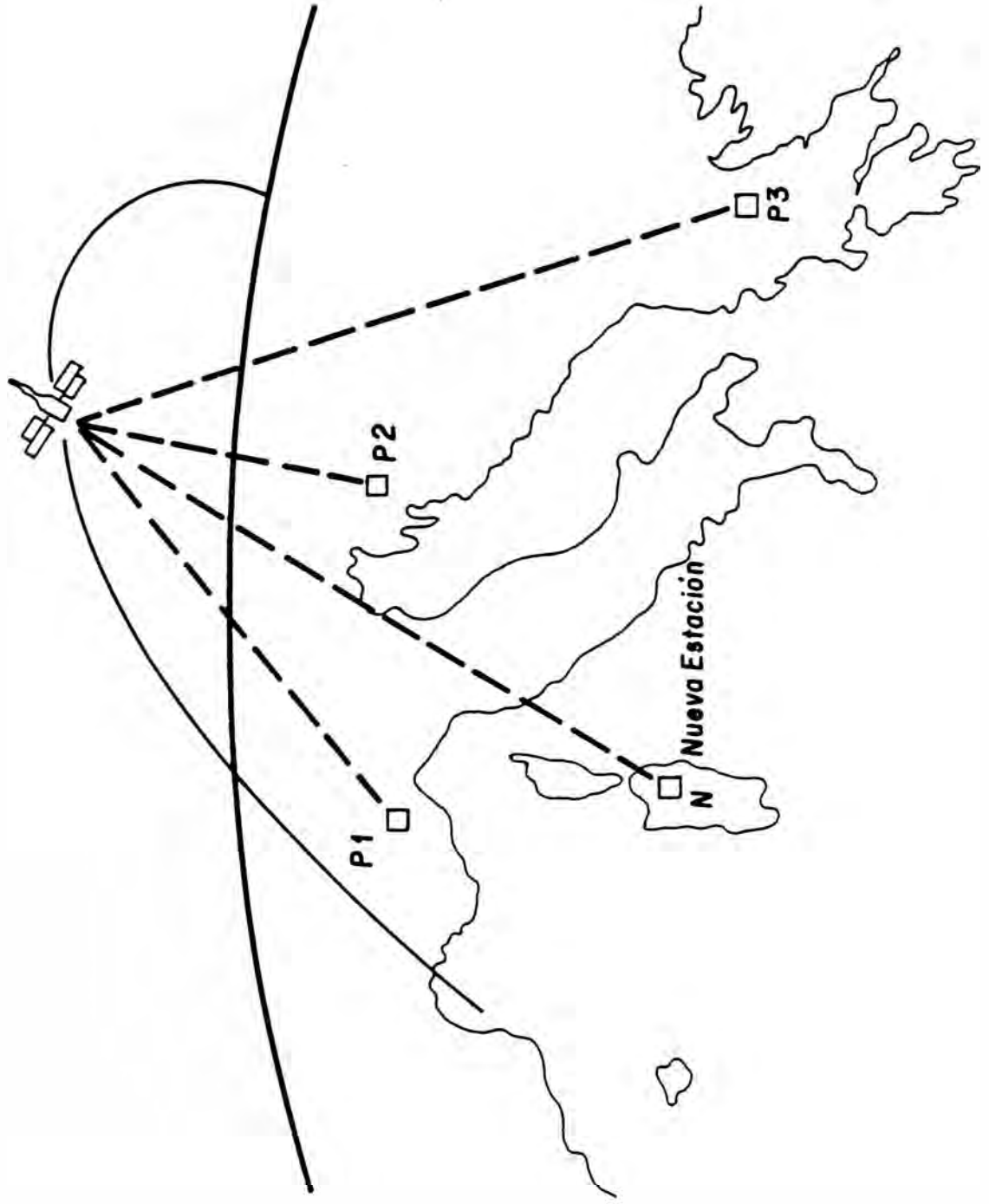
La importancia de los satélites artificiales en geodesia llega a ser evidente a partir de las consideraciones básicas siguientes

(1) Los satélites pueden utilizarse como blancos orbitando a gran altura, los cuales son visibles a grandes distancias. Siguiendo los conceptos clásicos de las redes trigonométricas que rodean la tierra, los satélites pueden considerarse como puntos de control "fijos" dentro de las redes tridimensionales globales a gran escala. Si se observan simultáneamente los satélites desde diferentes estaciones en el terreno, no es de ninguna importancia que las órbitas de los satélites artificiales estén gobernados por las fuerzas gravitacionales. Solamente se utiliza la propiedad que ellos son blancos a gran altura. Esta condición puramente geométrica conduce al método geométrico de la geodesia satelital. El concepto se ilustra en la Fig. 15

En comparación con las técnicas clásicas, la ventaja principal de los métodos satelitales es que ellos pueden salvar grandes distancias y de esta manera, establecer enlaces geodésicos. Todas las estaciones del terreno, pertenecientes a la red, pueden determinarse dentro de un sistema coordinado uniforme, tridimensional y global. Ellas forman un poliedro que va alrededor de la tierra.

Tan temprano como 1878, H. Bruns propuso tal concepto, posteriormente conocido como la jaula de Bruns. Bruns consideró que este objetivo era uno de los problemas básicos de la geodesia científica. Sin embargo, la idea no podía realizarse con los métodos clásicos; y fue olvidada.

Fig.15 METODO GEOMETRICO; EL SATELITE ES UN OBJETIVO ALTO



El método geométrico de la geodesia satelital se denomina también el método directo, porque la posición particular del satélite entra directamente en la solución.

(2) Los satélites pueden considerarse como un probador o sensor en el campo gravitatorio de la tierra. Se observan el movimiento orbital y la variación de los parámetros que describen la órbita para extraer conclusiones acerca de las fuerzas actuantes. De particular interés es la relación entre las formas del campo gravitatorio terrestre y las desviaciones resultantes de la órbita satelital verdadero respecto de un movimiento kepleriano no perturbado. El valor esencial del satélite consiste en ser un cuerpo en movimiento dentro del campo gravitatorio terrestre. Esta apreciación conduce al método dinámico de la geodesia satelital.

La ventaja principal de las observaciones satelitales, cuando se las compara con las técnicas clásicas, es que los resultados se refieren a la tierra como un todo y que ellos tienen por naturaleza un carácter global. Los vacíos de los datos juegan un papel menor. Entre los primeros resultados espectaculares estuvieron un valor razonablemente preciso del achatamiento de la tierra y la prueba que la forma de la tierra es simétrica respecto al plano ecuatorial (esto es, la forma de pera de la tierra)

#### 1.2.1.- DESARROLLO HISTORICO DE LA GEODESIA

El desarrollo apropiado de la geodesia satelital comenzó con el lanzamiento del primer satélite artificial SPUTNIK-1 el 4 de octubre de 1957. Sin embargo, las raíces de este desarrollo pueden identificarse mucho más temprano cuando incluimos el empleo de la luna, satélite natural de la tierra, entonces la geodesia satelital dinámica ha existido desde el comienzo del siglo diecinueve. En 1802, Laplace determinó a partir del movimiento nodal lunar, que el achatamiento de la tierra era  $F=1/297.2$  (cf. Wolf 1985, Torge 1991)

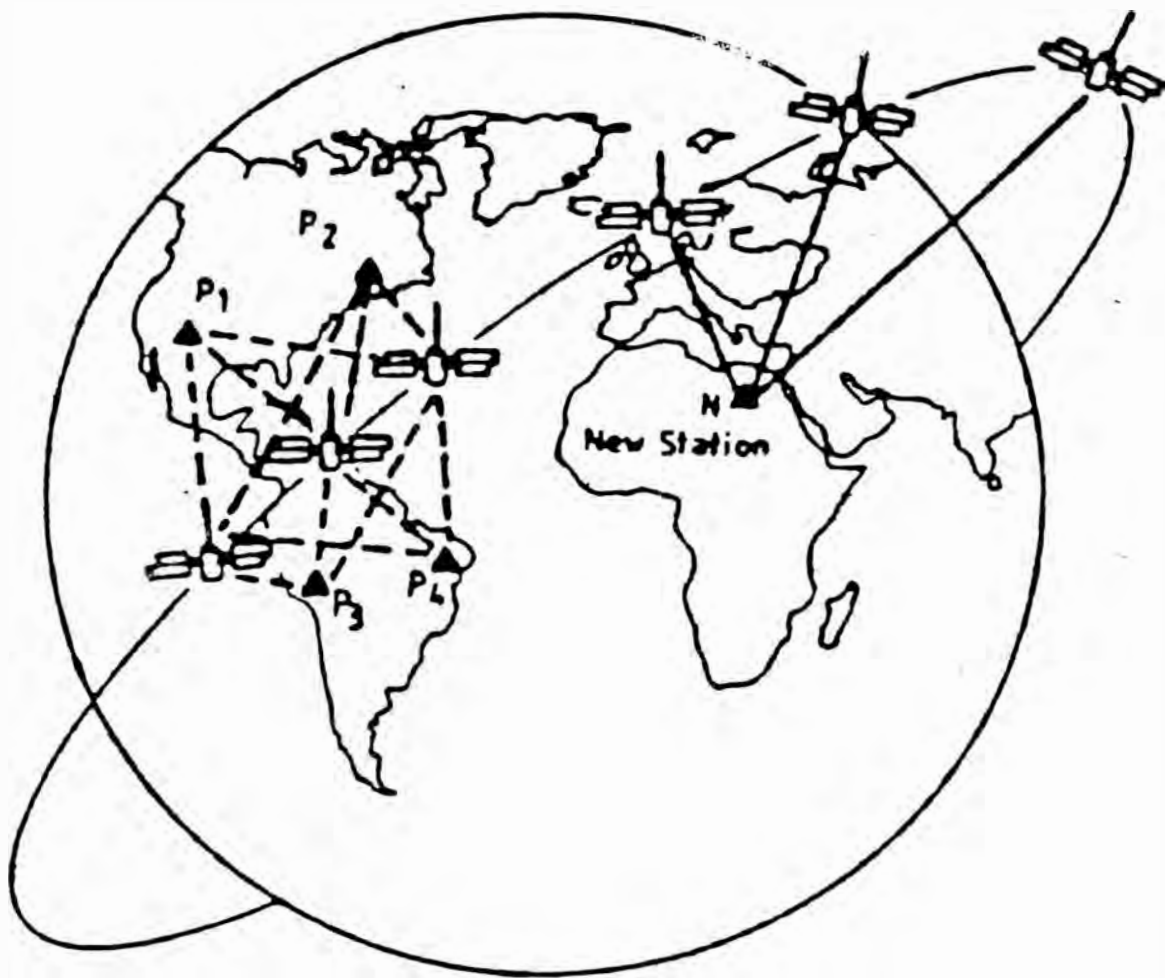
Por el año 1964, muchos de los problemas geodésicos básicos habían sido atacados exitosamente, a saber :

Determinación de un valor numérico preciso para el achatamiento de la tierra

Determinación de las conexiones entre los más importantes planos de referencia geodésicos ( $\pm 50$  m)

Con vista hacia adelante el desarrollo de la geodesia satelital puede dividirse en tres fases

DESARROLLO HISTORICO DE LA GEODESIA  
SATELITAL



1.- 1958 hasta alrededor 1970.- Desarrollo de los métodos básicos para las observaciones satelitales y para el cálculo y análisis de las órbitas satelitales. Esta fase, está caracterizada por la determinación cartográfica óptica de direcciones con cámaras fotográficas. Los resultados principales fueron la determinación de los coeficientes armónicos principales del geopotencial, y la publicación de los primeros modelos terrestres, por ejemplo, Modelos terrestres estándar del Observatorio Astrofísico Smithsonian (Sao SE Y hasta SAO SE III ) y modelos terrestres Goddard (GEM) del Centro Espacial Goddard de la NASA. Se estableció la única red satelital puramente geométrica y mundial mediante observaciones con cámaras fotográficas B C 4 del Satélite PAGEOS.

2.- 1970 hasta alrededor de 1980.- Fase de los proyectos científicos. Se desarrollaron y refinaron nuevas técnicas de observación en particular emisión Laser a los satélites y a la luna, así como también, la altimetría satelital.- El sistema TRANSIT fue empleado para el posicionamiento Doppler geodésico.

Se efectuaron determinaciones definidas del geoide global y coordenadas que llevaron a modelos terrestres mejorados (por ejemplo GEM 10, GRIM). La precisión incrementada de las observaciones hizo posible la medición de los fenómenos geodinámicos, (rotación de la tierra, movimiento polar, deformación de la corteza).

Se utilizó en todo el mundo el relevamiento Doppler para la instalación y mantenimiento de las redes de control geodésico.

3.- 1980 en adelante.- Fase de la utilización operacional de técnicas satelitales en geodesia, geodinámica y topografía). En particular son remarcables dos aspectos. Los métodos satelitales están siendo utilizados, en forma creciente por la comunidad topográfica reemplazando a los métodos convencionales. Este proceso comenzó con los primeros resultados obtenidos con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Esto ocasionará perspectivas completamente nuevas en la topografía y el mapeo. El segundo aspecto concierne al incremento de la precisión de la observación.- Un producto es el reemplazo casi completo de las técnicas astronómicas clásicas para el monitoreo del movimiento polar y la rotación de la tierra mediante los métodos satelitales, dos proyectos para la medición de los movimientos de la corteza se están desarrollando en todo el mundo.

#### 1.2.2.- APLICACIONES DE LA GEODESIA SATELITAL

Las aplicaciones de los métodos de la geodesia satelital están determinadas por la precisión obtenible, el esfuerzo necesario y el gasto en equipo y cálculo y finalmente por el tiempo de observación. Puede recopilarse un catálogo muy extenso de aplicaciones dados los desarrollos corrientes en métodos precisos con capacidades en tiempo real o cerca de tiempo real. Presenta las relaciones entre las diferentes técnicas de observación y la precisión de las posiciones relativas determinadas por ellos. El interés



prevaliente en el empleo de métodos satelitales para trabajos prácticos en geodesia llega a ser claramente visible

Empezando con las tres teorías básicas en la geodesia satelital podemos dar un corto resumen de las aplicaciones posibles.

### **Geodesia Global**

- La forma general de la figura de la tierra y el campo gravitacional
- Dimensiones del elipsoide terrestre medio
- Establecimiento de una estructura de referencia terrestre global.
- Geoide detallado como una superficie de referencia sobre el terreno y en el mar
- Conexión entre diferentes niveles geodésicos
- Conexión de los niveles nacionales con un nivel geodésico global.

### **Control Geodésico**

- Establecimiento del control geodésico para redes nacionales
- Instalación de redes homogéneas tridimensionales
- Análisis y desarrollo de las redes terrestres existentes
- Establecimiento de conexiones geodésicas entre las islas o con el continente
- Densificación de las redes existentes para acortar las distancias entre estaciones.

Precisión en la determinación de las posiciones relativas con diferentes técnicas geodésicas.

### **Geodinámica**

- Puntos de control del movimiento de la corteza
- Movimiento polar, rotación de la tierra
- Marcas terrestres sólidas

### **Geodesia plana y aplicada**

- Reconocimiento pleno detallado (registro de tierras, topografía rural y urbana, sistema de transformación de coordenadas geográficas, planeamiento de ciudades, demarcación de límites, etc.
- Instalación de redes y controles especiales para obras de ingeniería.
- Puntos de control terrestres en fotogrametría y sensores remotos
- Puntos de control para cartografía durante expediciones

### **Campos relacionados**

- Determinación de la posición y velocidad para las observables geofísicas (reconocimiento gravimétricos)
- Determinación del movimiento del hielo en glaciología, investigación antártica, oceanografía.

No existe casi ningún límite a las aplicaciones posibles con el cada vez mayor número de los temas satelitales que llegan a ser operacionales.

### 1.2.3.- SISTEMA DE COORDENADAS DE REFERENCIA

Los sistemas coordenadas de referencia apropiados, bien definidos y reproducibles, son esenciales para la descripción del movimiento satelital, el modelamiento de observables y la interpretación de resultados. La precisión en aumento de muchas técnicas de observación satelitales requiere un incremento correspondiente en la precisión de los sistemas de referencia.

Los sistemas de coordenadas de referencia en la geodesia satelital son globales y geocéntricas por naturaleza porque el movimiento satelital se refiere al centro de la masa de la tierra. Las mediciones terrestres son por naturaleza, de carácter local y se describen generalmente en sistemas de coordenadas de referencia locales. La relación entre ambos sistemas debe conocerse con precisión suficiente. Desde que la posición orientación relativa cambia con el tiempo, el registro y la modelación del tiempo de observación también juegan un papel importante.

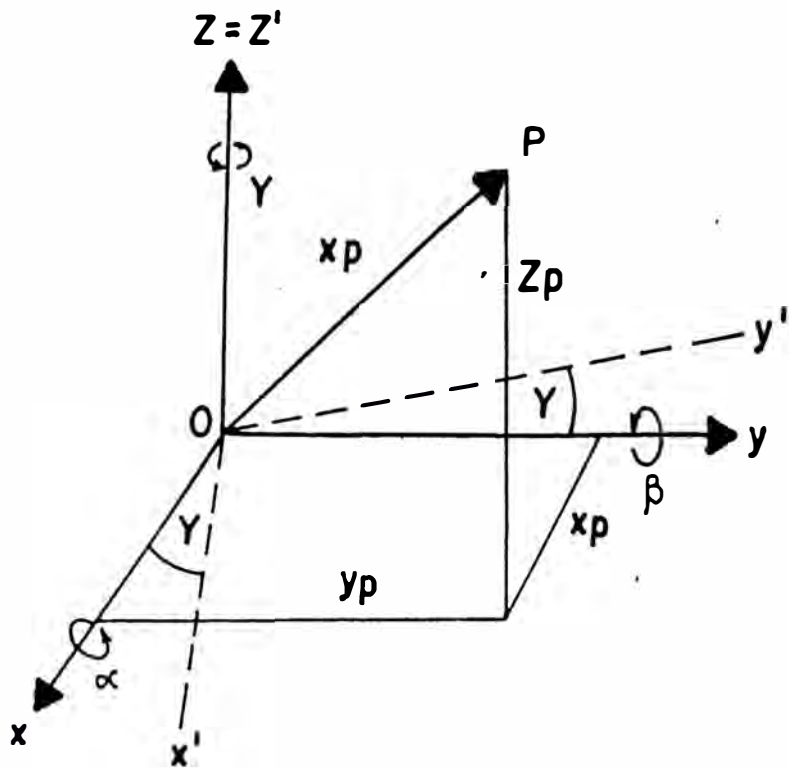
Debería tomarse nota que los resultados de los métodos de observación diferentes en la geodesia satelital se refieren a sistemas de coordenadas de referencia particulares los cuales están relacionados a los métodos individuales. Estos sistemas particulares no son necesariamente idénticos porque ellos pueden basarse en datos diferentes y definiciones. A menudo se conocen las relaciones entre estos sistemas particulares con una precisión menor que la precisión de las técnicas de observación individuales.

#### 1.2.3.1.-Sistema de coordenadas cartesianas y transformaciones de coordenadas

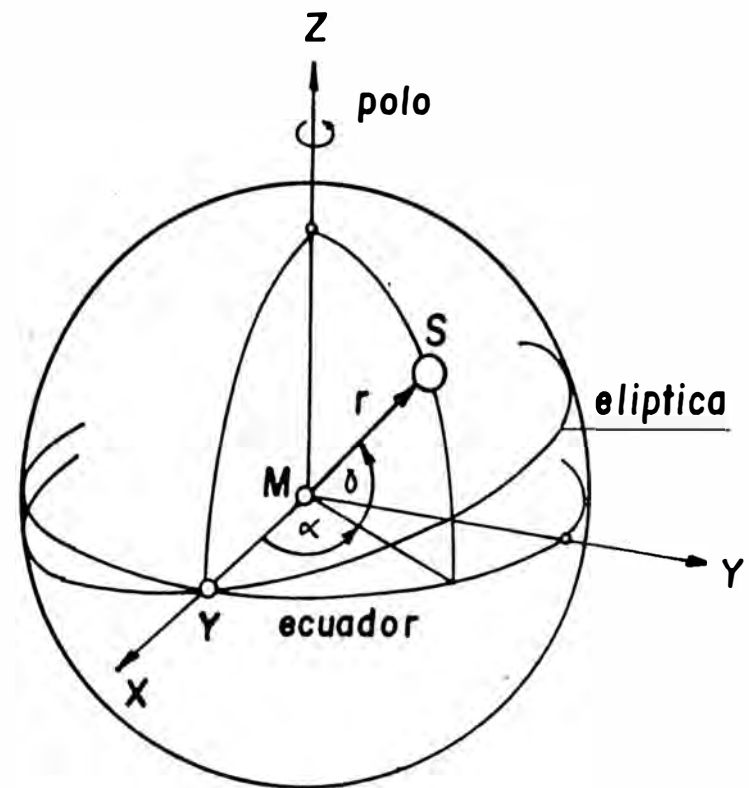
En un sistema de coordenadas cartesianas con los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$  la posición de un punto  $p$  está determinada por el vector posición.

$$x_p = \begin{Bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{Bmatrix}$$

$x_p$ ,  $y_p$ ,  $z_p$  son números reales ver fig. 16



SISTEMA DE COORDENADAS  
CARTESIANAS



SISTEMA ECUATORIAL EN ASTRONOMIA  
ESFERICA

La transformación a un segundo sistema de coordenadas cartesianas con idéntico origen y los ejes  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  que es generado a partir del primer sistema mediante una rotación alrededor del eje  $z$  por el ángulo  $r$  puede obtenerse a través de la operación de matrices.

$$x'p = R3(r) xp$$

La representación es válida para un sistema coordinado de la mano derecha. Cuando se mira hacia el origen la rotación en sentido contrario a las agujas del reloj es positiva. Cualquier transformación de coordenadas puede efectuarse mediante una combinación de rotaciones.

### 1.2.3.2.- Sistema de coordenadas de referencia en geodesia satelital

Se requieren dos sistemas

Un sistema de referencia inercial (CIS) fijo en el espacio, para la descripción del movimiento satelital.

Un sistema de referencia terrestre (CTS), fijo en la tierra para las posiciones de las estaciones de observación y para la descripción de los resultados desde la geodesia satelital.

Las leyes de Newton del movimiento son validas solamente en un sistema de referencia inercial, esto es un sistema coordinado en reposo o en un estado de movimiento rectilineo uniforme sin cualquier aceleracion. La teoria del movimiento para satélites artificiales se desarrolla respecto a tal sistema. El sistema, ecuatorial en una época dada  $T_0$  el cual se emplea en astronomia esférica (Fig. ) produce una buena aproximacion a un sistema referencial inercial. En el tiempo actual se efectua

a través de un catalogo de posiciones y movimientos apropiados para un numero dado de estrellas fundamentales (FK5) (FRICKE 1985) en adición a un sistema de constantes astronómicas (USNO 1983). Se supone que el origen del sistema coincide con el geocentro  $M$ . El eje  $Z$  positivo al Primer Punto de Aries  $\gamma$ . El eje  $Y$  completa un sistema de mano derecha. Tal sistema de referencia se denomina Sistema Inercial Convencional (CIS). Este sistema atado a las estrellas fundamentales, se llama también SÍC Estelar para distinguirlo de otros sistemas inerciales. Desde el centro de masa de la tierra (origen de este sistema de referencia), sufre pequeñas aceleraciones debido al movimiento anual alrededor del sol, también se utiliza el termino sistema Cuasi Inercial.

La transformación de las coordenadas esféricas en coordenadas cartesianas  $X, Y, Z$  es

$$\begin{aligned} X &= r \cos \delta \cos \alpha \\ Y &= r \cos \delta \sin \alpha \\ Z &= R \sin \delta \end{aligned}$$

Las fórmulas inversas son :

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \alpha &= \operatorname{arctg} \frac{y}{x} \\ \delta &= \operatorname{arctg} \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \end{aligned}$$

En astronomía esférica se define generalmente  $r$  como el radio unidad. Podemos considerar la esfera celestial en la Fig.17 como la esfera unitaria y aplicar las fórmulas básicas de geometría esférica.

La precisión del sistema de referencia, efectuada a través del catálogo FK5, es aproximadamente  $0.1''$ . Esta precisión no es suficiente para las necesidades modernas. Se espera una mejora considerable en uno o dos órdenes de magnitud, con la misión astroétrica satelital HIPPARCOS, (KOVALESKY 1986,1990). Otra posibilidad para una realización mucho más precisa de un sistema de referencia fijo en el espacio es la utilización de fuentes de radio extragalácticos (QUASARS) via la técnica interferométrica de Línea Base muy larga; (VLBI) la cual emplea radio telescopios. La conexión entre las estrellas básicas FK5; y las estrellas de radio débiles ópticamente se efectuará via misiones espaciales como el telescopio del espacio. En el futuro puede ser posible una realización dinámica de un sistema de referencia inercial mediante las órbitas satelitales (por ejemplo, Moritz 1985). El sistema FK5, relacionado a la época estándar 12000 se ha utilizado como el estelar convencional CIS desde enero 1, 1988.

Un conveniente sistema de referencia fijo en tierra puede conectarse, de una manera bien definida, con la corteza terrestre. Tal Sistema Terrestre Convencional

(CTS) puede realizarse mediante un conjunto de coordenadas cartesianas de estaciones básicas dentro de una red global. Comúnmente se establece a través de la dirección convencional a la orientación media del eje polar (Polo Terrestre Convencional, CTP) y una longitud cero en el ecuador (Observatorio Medio de Greenwich GMO). El CTS se llama también Sistema Fijo en Tierra Centrado en la tierra ECEF).

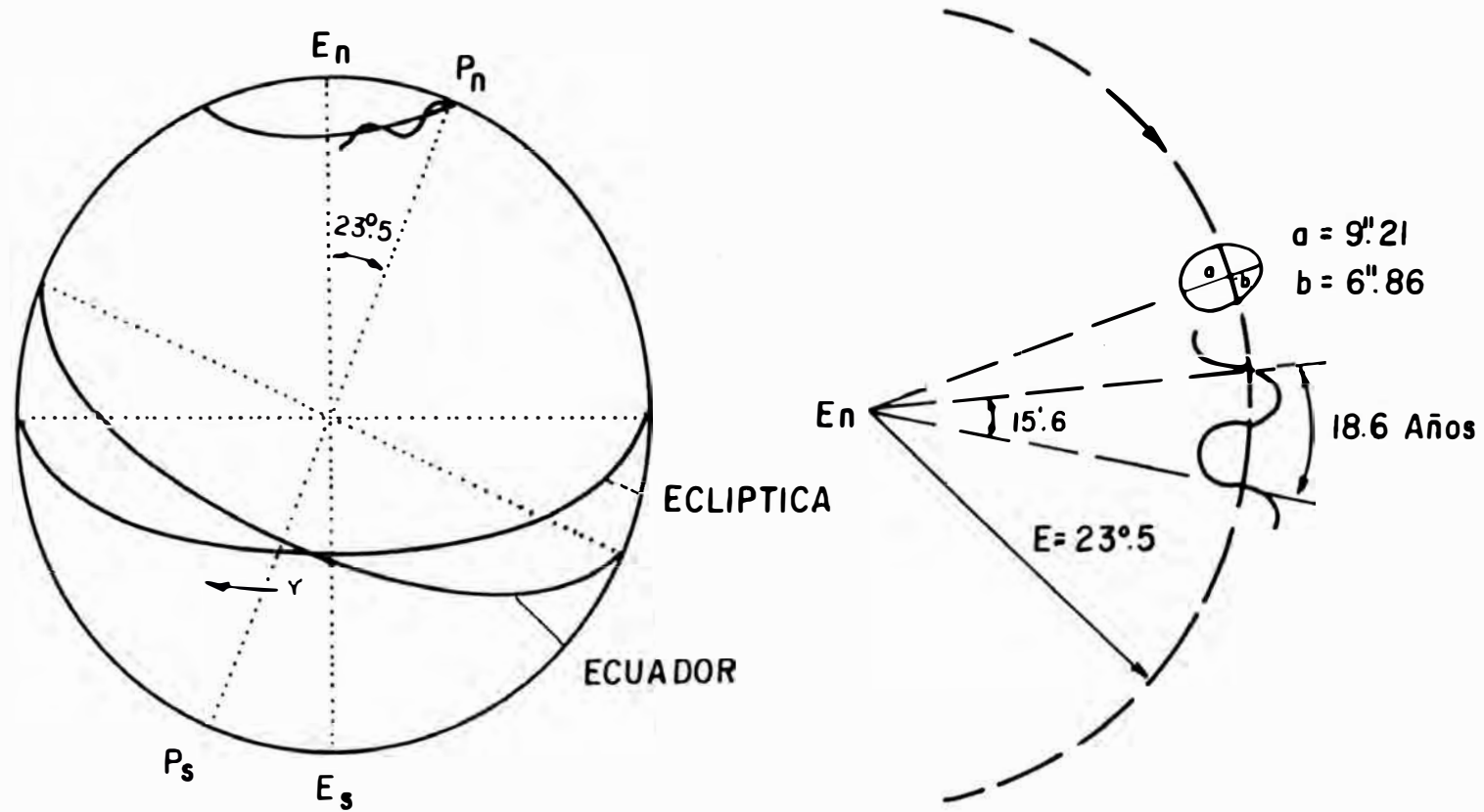


Fig. 17 PRECISION Y NUTACION ; EL EJE DE ROTACION DE LA TIERRA  $P_n$  DESCRIBE UNA CONICA ALREDEDOR DEL POLO ECLIPTICA

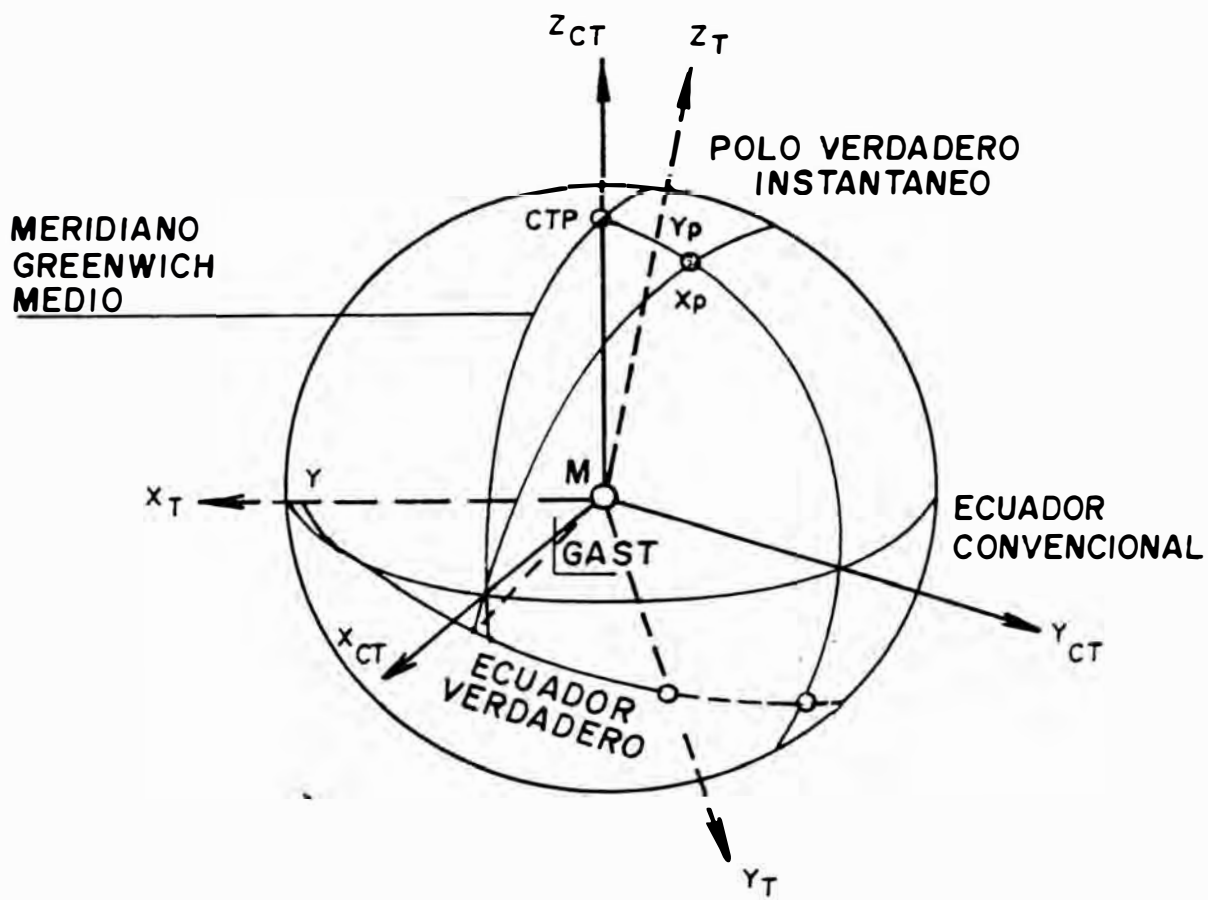


Fig. 18

SISTEMA TERRESTRE INSTANTANEO VERDADERO  
Y CONVENCIONAL MEDIO

**1.2.3.3.-Sistema de Coordenadas de Referencia en el Campo Gravitacional de la Tierra.**

Las observaciones geodésicas terrestres con la excepción de los rangos sesgados, están relacionados al vector gravitatorio local  $g$ . Por consiguiente pueden describirse fácilmente en un sistema coordenado local de referencia el cual está ligado a la dirección de la línea de plomada en el punto de observación  $p$ . La orientación del vector  $n$  está determinado generalmente respecto de las observaciones astronómicas, y está descrito como :

- La latitud astronómica
- La longitud astronómica

$$N = \begin{pmatrix} \cos \phi & \cos \Lambda \\ \cos \phi & \sin \Lambda \end{pmatrix}$$

La relación entre el sistema astronómico local, definido como :

- Origen en el punto de observación  $P$
- Eje  $Z'$  dirigido al cenit astronómico
- Eje  $X'$  dirigido al norte (meridiano astronómico)
- Eje  $Y'$  dirigido al este.

y el sistema terrestre convencional global (CTS) se describen en la Fig.

La ubicación de un punto  $P_i$  dentro del sistema astronómico local, se deriva de las observaciones terrestres :

- Azimut astronómico
- Direcciones horizontales (diferencias en azimut)
- Rangos sesgados
- Angulos cenitales  $Z$

y puede escribirse como :

Fig.- Sistema astronómico local  
19 y global

Fig.- Sistema elipsoidales local  
20 y sistema terrestre global

Las diferencias de coordenadas observadas pueden transformarse del sistema local al sistema global (CTS) empleando :

Con

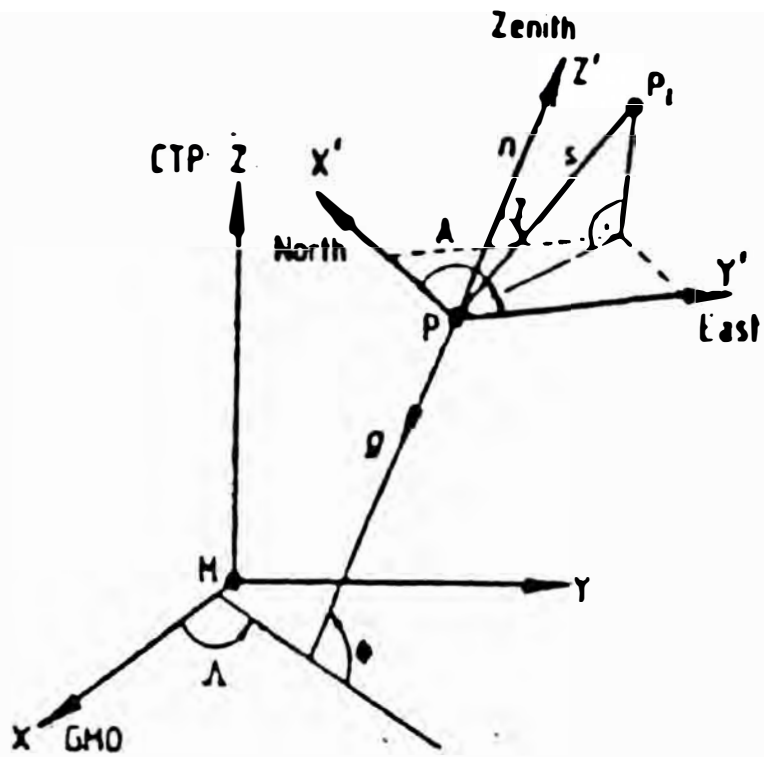
$$A = R3 (180^\circ - \Lambda) R2 (90^\circ - \phi) S2$$

La matriz  $S2$  cambia la orientación del eje  $Y$  y un sistema coordenado de mano izquierda a un sistema coordenado de mano derecha.

La fórmula inversa se lee (Torge 1991)

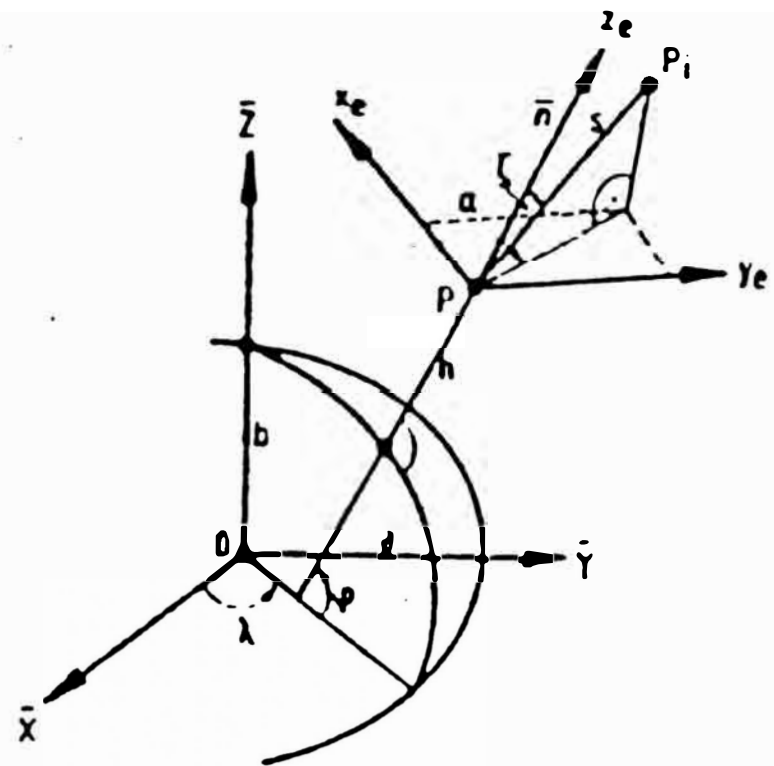
$$X' = A X = X$$





SISTEMA ASTRONOMICO Y  
SISTEMA GLOBAL TERRESTRE

FIG. 19



SISTEMA ELIPSOIDAL  
LOCAL Y GLOBAL

FIG. 20

Las fórmulas se utilizan en la combinación de resultados de las observaciones terrestres local y de las técnicas satelitales, sea en el sistema cartesiano global o en el sistema astronómico local.

### 1.2.3.4.- Sistema de Coordenadas de Referencia Elipsoidales

Para la mayor parte de las aplicaciones prácticas se prefieren los sistemas de coordenadas elipsoidales porque ellas se aproximan estrechamente a la superficie terrestre, y facilitan la separación de la posición horizontal y de la elevación. Generalmente se selecciona un elipsoide rotacional que es achatado en los polos y que se genera por la rotación de la elipse mediana alrededor de su eje menor b.- Los parámetros geométricos son :

Semi-eje mayor  $a$   
 Achatamiento  $F = \frac{a - b}{a}$

Alternativamente se emplea la primera excentricidad numérica

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

Las relaciones mas convenientes entre estas cantidades son :

$$e^2 = 2f - f^2 \quad ; \quad 1 - e^2 = (1 - f)^2$$

Una mejor aproximación a la figura de toda la tierra es un sistema elipsoidal global

Las coordenadas geograficas elipsoidales son :

- = Latitud elipsoidal
- = Longitud elipsoidal
- = Elevacion elipsoidal

Puede definirse dentro del elipsoide un sistema coordenado cartesiano concentrico X, Y, Z

- Origen en el centro O del elipsoide
- Eje Z dirigido al polo norte elipsoidal (a lo largo del eje menor)
- Eje X dirigido al meridiano cero elipsoidal
- Eje Y completando un sistema de mano derecha

Para la transformación de las diferentes coordenadas desde el sistema local al Sistema global elipsoidal nosotros obtendremos la relacion :

$$\Delta \bar{X} = R_3 (180^\circ - \alpha) R_2 (90^\circ - \beta) S_z \Delta X_e = \Lambda \Delta X_e$$

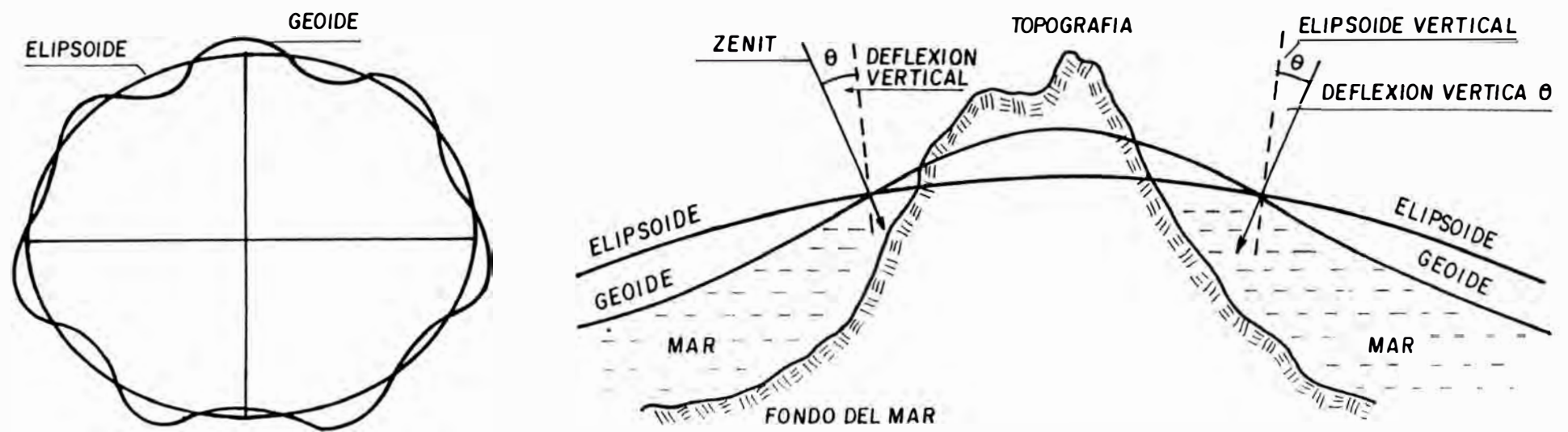


Fig .21 RELACION ENTRE ELIPSOIDE Y GEOIDE

### 1.2.3.5.-Elipsoide, geoide y Datum geodésico

La forma física real de la tierra se aproxima estrechamente por la superficie matemática del elipsoide de revolución. La superficie elipsoidal es lisa conveniente para las operaciones matemáticas. Esta es la razón por la cual el elipsoide se emplea ampliamente como la superficie de referencia para coordenadas horizontales en las redes geodésicas.

Por otro lado, el elipsoide es mucho menos conveniente como una superficie de referencia para coordenadas verticales (elevaciones). En lugar de él se utiliza el geoide.- Este se define como aquella superficie a nivel del campo gravitacional que mejor se ajusta al nivel medio del mar, y puede extenderse dentro del cuerpo sólido de la tierra (Torge 1991). La relación entre geoide y elipsoide se ilustra en la Fig. 21-22

La separación vertical entre el geoide y un elipsoide particular de referencia se llama ondulación geoidal  $N$ . Los valores numéricos de las ondulaciones dependen evidentemente del elipsoide particular empleado.- Para un elipsoide global de referencia ellos pueden alcanzar hasta 100 m. La relación geométrica entre la ondulación geoidal  $N$ , la elevación elipsoidal  $h$  y la elevación ortométrica  $H$  (obtenida en la nivelación de burbuja) es aproximadamente.

$$h = N + H$$

Es evidente que debe conocerse la ondulación geoidal  $N$  cuando se utilizan las observaciones procedentes de la geodesia satelital (que llevan a elevaciones elipsoidales) y de la geodesia terrestre (que conducen a elevaciones definidas en el campo gravitacional) en un ajuste combinado.

El ángulo  $\theta$  entre las direcciones de la normal(perpendicular) elipsoidal y la línea de plomada en el punto  $P$  se denomina la deflexión de la vertical Fig.

Usualmente,  $\theta$  es dividido dentro de dos componentes y definido como (Torge 1991)

Un sistema elipsoidal global está relacionado a un elipsoide de referencia, que mejor se ajusta a la figura de la tierra como un todo. Se supone que el origen del elipsoide coincide con el centro de la masa de la tierra. Además las direcciones de los ejes elipsoidales se definen como que son paralelos al sistema terrestre convencional (CTS). El conjunto de parámetros que describen la relación entre un elipsoide local particular y un sistema de referencia, geodésico global se denomina nivel de comparación geodésico (datum geodésico).

Un datum geodésico está definido por el conjunto de por lo menos cinco parámetros.

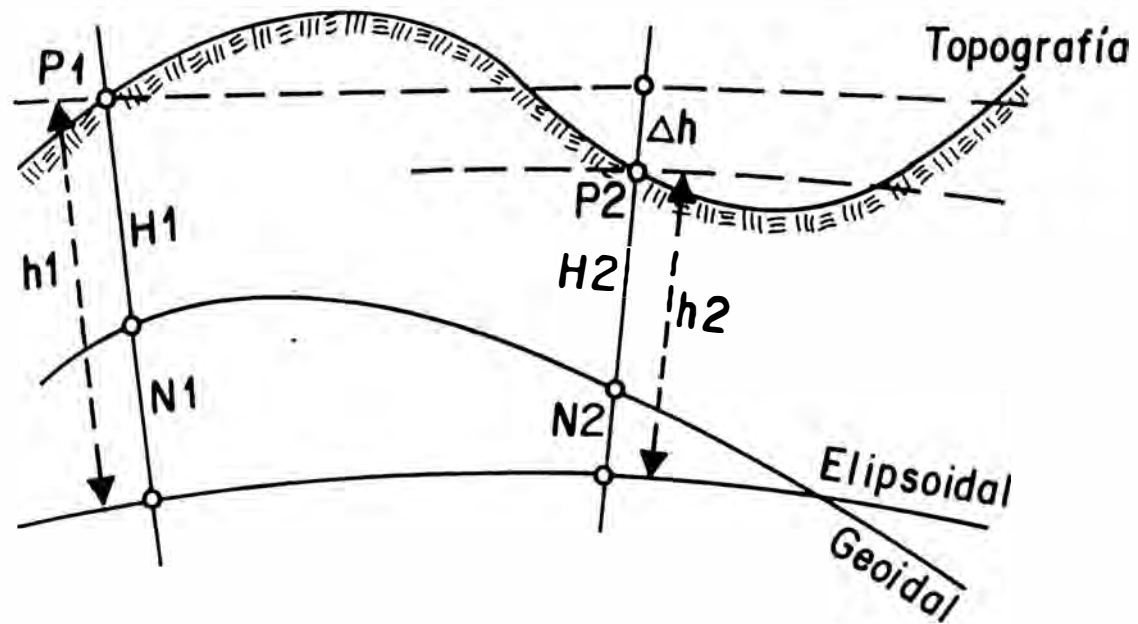


Fig. 22 RELACION ENTRE GEOIDE ALTURA N, ORTOMETRICA ALTURA H Y ALTURA ELIPSOIDAL h

a semi-eje mayor del elipsoide de referencia  
 f achatamiento

X Y Z coordenadas del origen del elipsoide con respecto al geocentro (parámetro del desplazamiento del datum) Para X = Y = Z = 0 el datum geodésico se denomina datum absoluto. El sistema geodésico de referencia 1980 (GRS 1980) pertenece a este grupo

$$a = 6\,378\,137 \text{ m} \quad a=6378127 \text{ m}$$

$$f = \frac{1}{298.2572}$$

Tabla Parámetros principales WGS 72 y WGS 84

Parámetro	Nombre	WGS 72	WGS 84
Semi eje mayor	a	6378135 m	6378137 m
Achatamiento	f	1/298.26	1/298.25722356
Velocidad angular	w	7.291215147 $\times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$	7.292115 $\times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$
geocéntrico	GM	398600.8	398600.5
Constante gravitacional		$\text{Km}^3 \text{ s}^{-2}$	$\text{Km}^3 \text{ s}^{-2}$
2da. armónica zonal	C2.0	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$

#### 1.2.4.- TIEMPO

##### 1.2.4.1.- Consideraciones Básicas

En geodesia satelital son de importancia tres grupos básicos de escalas de tiempo

(1) La orientación dependiente del tiempo de la tierra con respecto al espacio inercial se requiere para relacionar las observaciones basadas en la tierra a una estructura de referencia fija en el espacio. La escala de tiempo apropiada está conectada con la rotación diurna de la tierra y se denomina Tiempo Sideral o Tiempo Universal.

(2) Para la descripción del movimiento satelital necesitamos una medida del tiempo estrictamente uniforme la que puede emplearse como la variable independiente en las ecuaciones del movimiento. Puede derivarse una escala apropiada de tiempo del movimiento orbital de la tierra alrededor del sol. Se denomina Tiempo Dinámico.

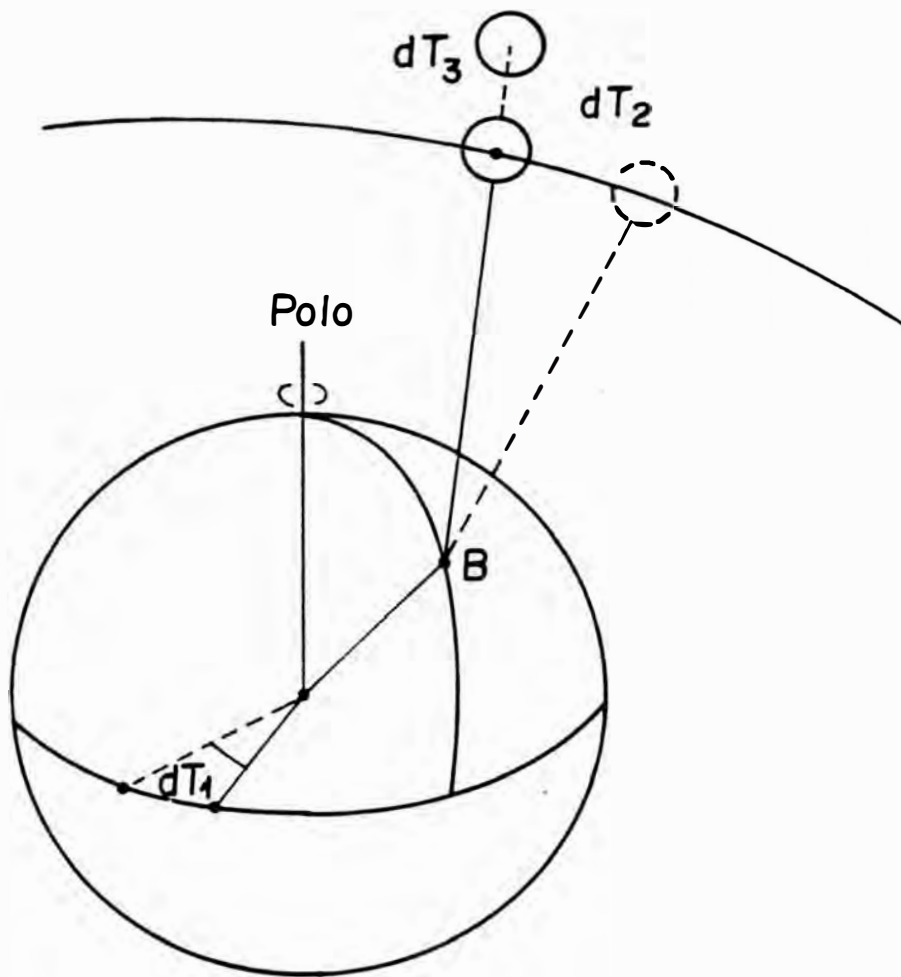


Fig. 23 ERRORES EN LA MEDIDA DEL TIEMPO EN GEODESIA SATELITAL

(3) La medición precisa de los tiempos de viaje de la señal por ejemplo en el alineamiento laser satelital, requiere una escala de tiempo uniforme y fácilmente accesible con elevada resolución. La medición apropiada esta relacionada a los fenómenos de la física nuclear y se denomina Tiempo Atómico.

Todas estas escalas de tiempo se basan en la observacion de fenómenos astronomicos o físicos uniformes repetitivos. El intervalo de tiempo entre dos fenómenos consecutivos forma la medida de escala de la escala particular de tiempo. Cierta múltiplo o fracción de la medida de escala se llama la unidad de tiempo. En general se emplea el segundo como la unidad basica de tiempo. Las unidades de tiempo más grandes, tales como los dias o años, se derivan del segundo.

Dentro de la escala de tiempo tiene que fijarse un punto de partida u origen. Esto puede obtenerse a través de cierto evento astronómico, tal como la posición particular de una estrella o el tránsito meridiano de un objeto celestial particular.

El instante de la ocurrencia de algunas observaciones de fenómenos puede relacionarse a cierta lectura de la escala particular de tiempo, y la fecha del evento. En astronomia tal evento se llama la época de la observacion. Con respecto a la escala particular de tiempo la determinación de la época refleja una medición absoluta del tiempo. Para muchos propósitos, por ejemplo para la determinación de tiempos de viaje de la señal, es suficiente una medición del tiempo relativo esto es la determinacion del tiempo entre dos épocas, en muchos casos se puede hacer las mediciones del tiempo absoluto con mas precisión. En geodesia satelital la fecha de un evento se denomina a menudo la etiqueta del tiempo o etiquetado del tiempo, por ejemplo, cuando se considera el instante de transmision o recepcion de una señal.

Estrictamente hablando tenemos que distinguir entre la concepcion ideal de una escala de tiempo y la realización practica mediante observaciones. Esto llega a ser particularmente evidente con el tiempo atomico, cuando comparamos la definición del segundo del tiempo atómico con su realizacion practica a través de un grupo de relojes atomicos individuales. Una escala de tiempo puede considerarse como una aproximación del concepto del tiempo particular. En lo que sigue no utilizamos esta distinción.

Para satisfacer los diversos requerimientos, procedentes de la ciencia y tecnologia, tienen que establecerse las diiversas escalas de tiempo con la precision mas elevada posible. La Fig. 24 ilustra como los errores en la medida del tiempo en la geodesia satelital estan relacionados a un error de posicion de 1 cm.

1 cm. de movimiento de un punto sobre el ecuador ocasionado por la rotación de la tierra corresponde a alrededor de  $2 \times 10^{-5}$  Seg.

1 cm. de movimiento del satelite cerca de la tierra en la orbita corresponde a alrededor de  $1 \times 10^{-6}$  Seg.



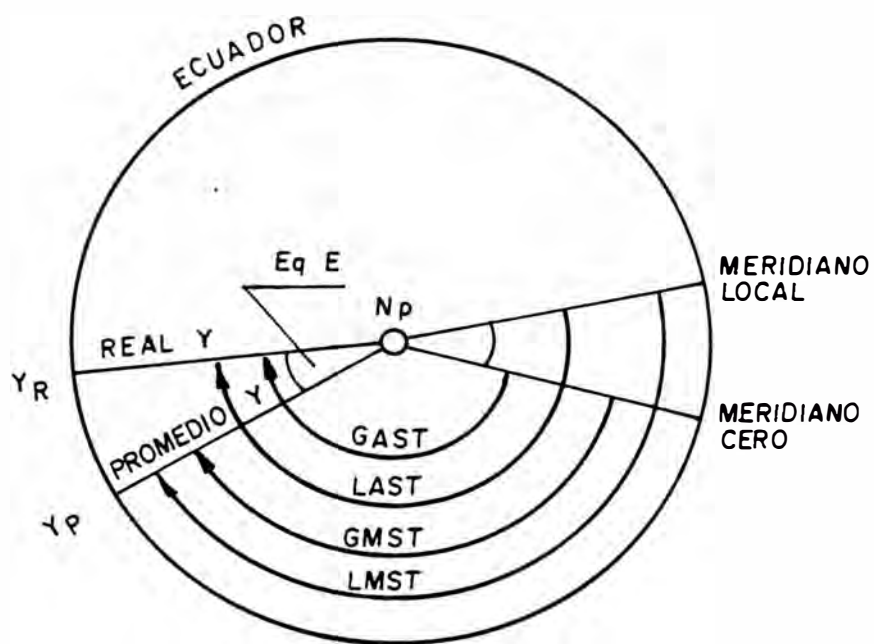


Fig.24 DEFINICION DE TIEMPO SIDERAL

1 cm. en el rango satelital derivado del tiempo de viaje de la señal (por ejemplo el alineamiento laser corresponde alrededor de  $1 \times 10^{-10}$  Seg.

#### 1.2.4.2.-Tiempo Sideral y Tiempo Universal

El tiempo sideral y el tiempo universal estan relacionados directamente a la rotacion de la tierra y ellos son, de esta manera, escalas de tiempo equivalentes. El tiempo sideral es igual al ángulo horario del equinoccio vernal (primaveral) y, en consecuencia, depende de la longitud geografica de la estación particular de observación. A partir de la Fig. podemos derivar fácilmente las relaciones siguientes. El tiempo Sideral Aparente (o verdadero) Local (LASLT), referido al equinoccio vernal verdadero, es

$LAST =$  ángulo horario local del equinoccio vernal verdadero para Greenwich obtenemos el Tiempo Sideral Aparente de Greenwich (GAST)

$GAST =$  ángulo horario de Greenwich del equinoccio vernal verdadero.

#### Definición del Tiempo Sideral

Día sideral medio definido como el intervalo entre dos transitos sucesivos del equinoccio vernal medio a traves del meridiano. El día sideral medio no corresponde exactamente a una revolución completa de la tierra sobre su eje, respecto al espacio inercial, debido a que la posición del equinoccio vernal es afectado por la precesión. La diferencia diaria es 0.0084 siendo el día sideral mas corto.

Para propósitos prácticos se requiere una escala de tiempo que corresponda al movimiento diurno aparente del sol. El ángulo horario verdadero del sol experimenta, mas bien, variaciones grandes durante el año, ocasionadas por la declinación cambiante del sol y la elipicidad de la órbita de la tierra. En consecuencia, está medida no es conveniente para una escala uniforme de tiempo sustituida entonces por un Sol Medio ficticio que se mueve en el plano del ecuador con velocidad constante. De esta manera, el Día Solar Medio se define como el intervalo entre dos transitos sucesivos del sol medio ficticio a través del meridiano. El Tiempo Solar Medio se mide mediante el ángulo horario del sol medio. El ángulo horario de Greenwich del sol medio se denomina Tiempo Universal (UT). Para propósitos practicos el día comienza a medianoche de aquí.

$UT = 12$  ángulo horario de Greenwich del sol medio. Ambos conceptos del tiempo se basan en la rotacion de la tierra, y estan estrechamente relacionados el uno con el otro. El tiempo universal puede considerarse como una forma especial del tiempo sideral. La diferencia en la longitud del día para ambas definiciones es alrededor de 4 minutos, debido a que el movimiento diurno de la tierra en su órbita asciende a  $360^\circ/365$ .

1°.- la aproximación relativa es

1 día sideral medio = 1 día solar medio -  $3^m$  55.909

$$UTI = UTO_B + \Delta \Delta P$$

El tiempo universal bruto UTO que se obtiene a partir de observaciones en una estación particular, está aun afectado por las influencias dependientes de la ubicación de la posición del polo verdadero real. La reducción al polo terrestre convencional (CTP) ocasiona un cambio en longitud y, de aquí, en tiempo. El tiempo universal que está referido a (CTP) se determina. UTI es la escala fundamental de tiempo en astronomía geodésica y en geodesia satelital, porque define la orientación real del sistema convencional terrestre respecto al espacio. - UTI es también la escala básica de tiempo para la navegación: UTI contiene, sin embargo, todas las variaciones de la rotación de la tierra y de esta manera no es una escala uniforme de tiempo.

### **Tiempo Dinámico**

Una escala de tiempo estrictamente uniforme puede encontrarse en los argumentos independientes de las teorías de la Dinámica y de la efemerides, esto es las posiciones, dependientes del tiempo, de los cuerpos celestiales, descritas en estructuras de referencia adecuadas. Las escalas de tiempo basadas en tales conceptos se denominan Tiempo Dinámico, ellas cumplen cuando más la idea concepcional de tiempo inercial. Tenemos que distinguir entre dos escalas de tiempo dinámico. El tiempo Dinámico Baricentrico (TDB) se deriva del movimiento orbital referido al baricentro del sistema solar, y, el tiempo Dinámico Terrestre (TDT) es referido al geocentro.

### **Tiempo Atómico**

La escala internacional de tiempo atómico (TAI) se presentó para ajustar los requerimientos de una escala de tiempo estrictamente uniforme y fácilmente accesible. La unidad del tiempo atómico fue seleccionada de tal manera que iguala la duración del segundo de efemerides. La definición del segundo de la escala de tiempo atómico ha sido establecida por la 13a. Conferencia del Comité Internacional de Pesos y Medidas en Paris, 1967 como sigue :

El segundo es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado base del átomo del Cesio 133.  
Esta es también la definición de la unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades (SI).

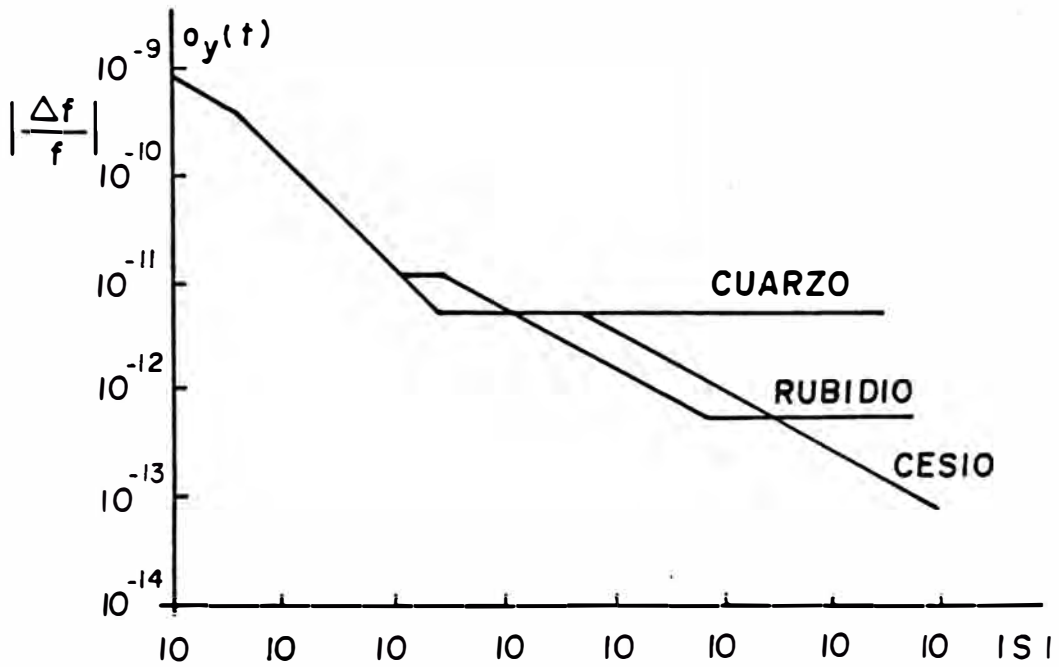


Fig .25 STANDARES DE SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA

### 1.2.4.3.-Relojes y Estándares de frecuencia

En geodesia satelital se requiere información precisa sobre el tiempo y la frecuencia. En muchos casos es necesario relacionar las épocas de algunos eventos observados en estaciones diferentes separadas por grandes distancias, con una precisión de  $\pm 1$  microsegundo. El funcionamiento de estándares de frecuencia debe alcanzar una estabilidad hasta de  $1.10^{-10}$  durante varias horas. Estas elevadas demandas pueden ser llenadas solamente con relojes atómicos.

El componente más importante de un reloj es un sistema de oscilación (oscilador).- El movimiento periódico de este sistema tiene que generarse, mantenerse y leerse a través de medios convenientes. En los relojes modernos, por ejemplo, en relojes atómicos, la conversión de los ciclos del oscilador a la unidad de escala "un segundo" se efectúa vía contadores electrónicos o divisores.

En la geodesia satelital están en uso las clases siguientes de osciladores:

- Oscilador de precisión decristal de cuarzo
- Rubidium estándar
- Cesium estándar
- Hidrógeno maser

### 1.2.5.-OBSERVACION Y SATELITES GEODESICOS

En este capítulo se da un breve resumen de las principales técnicas de observación y de los satélites que pueden utilizarse.

#### 1.2.5.1.-Relaciones Básicas para observaciones Satelitales

La ecuación fundamental de la geodesia satelital puede formularse como :

$$Y_s(t) = r_B(t) + \rho(t) \quad Y_j(t) = r_i(t) + \Delta r_{ij}(t) \quad *$$

Para encontrar soluciones a la ecuación ( \* ) tenemos que establecer una relación entre las observaciones, caracterizadas por el vector  $R(t)$  y los parámetros que describen la posición satelital  $r(t)$ , así como también la ubicación de la estación de observación  $R(t)$ . En el proceso de estimación ya sea todos los parámetros pueden tratarse como incógnitas o que algunos de los parámetros puedan conocerse, para estabilizar y simplificar la solución.

En general un modelo no lineal de la ecuación de observación se introduce entre las observaciones y los parámetros

$$L + v = O(X) \quad *$$

donde :

- L : Vector de las observaciones
- X : Vector de los parámetros desconocidos
- O : Función vectorial no lineal
- v : El vector de las residuales; conteniendo los componentes no modelados del proceso total de estimación.

### **Rol de la Orbita Satelital en el proceso de estimación de parámetros**

Los métodos de arco largo se utilizan mayormente para el análisis de problemas científicos. Para tareas operacionales de la geodesia satelital aplicada, la orbita se toma ya sea como conocida o se estiman un numero limitado de parámetros para el mejoramiento orbital dentro del proceso de ajuste.

Con observaciones procedentes de una sola estación, el proceso de estimación de parámetros puede aumentarse cuando estan disponibles observaciones simultáneas procedentes de varias estaciones; las correcciones a la orbita satelital y las vias de la observacion pueden estimarse entonces para la solución de un problema de estimación de parámetros general y global, se requieren las observaciones a un gran numero de satélites diferentes procedentes de estaciones distribuidas globalmente.

#### **1.2.5.2.-Técnicas de Observación satelital**

Las técnicas de observación empleadas en la geodesia satelital pueden subdividirse de diversas maneras. Ya ha sido mencionada una posibilidad, a saber, una clasificación determinada por la ubicación de la plataforma de observacion.

- Técnicas basadas en la tierra (estación del terreno satélite)
- Técnicas basadas en el satélite (satélite estación en el terreno)
- Técnicas intersatelitales (satélite satélite)

Otra clasificación se deduce de las observables en cuestion. Se da a continuación un resumen de las técnicas operacionales más importante. Se incluyen las referencias a los satélites artificiales específicos. Un resumen grafico se da en la Fig. 26

#### **1.2.5.3.-Determinación de Direcciones**

Los métodos fotográficos son utilizados casi exclusivamente para la determinación de direcciones. Un satelite artificial que esta iluminado por la luz solar, por pulsos de laser, o por algún dispositivo interno de centelleo se fotografía desde el terreno junto con las estrellas de fondo. La estación de observacion debe

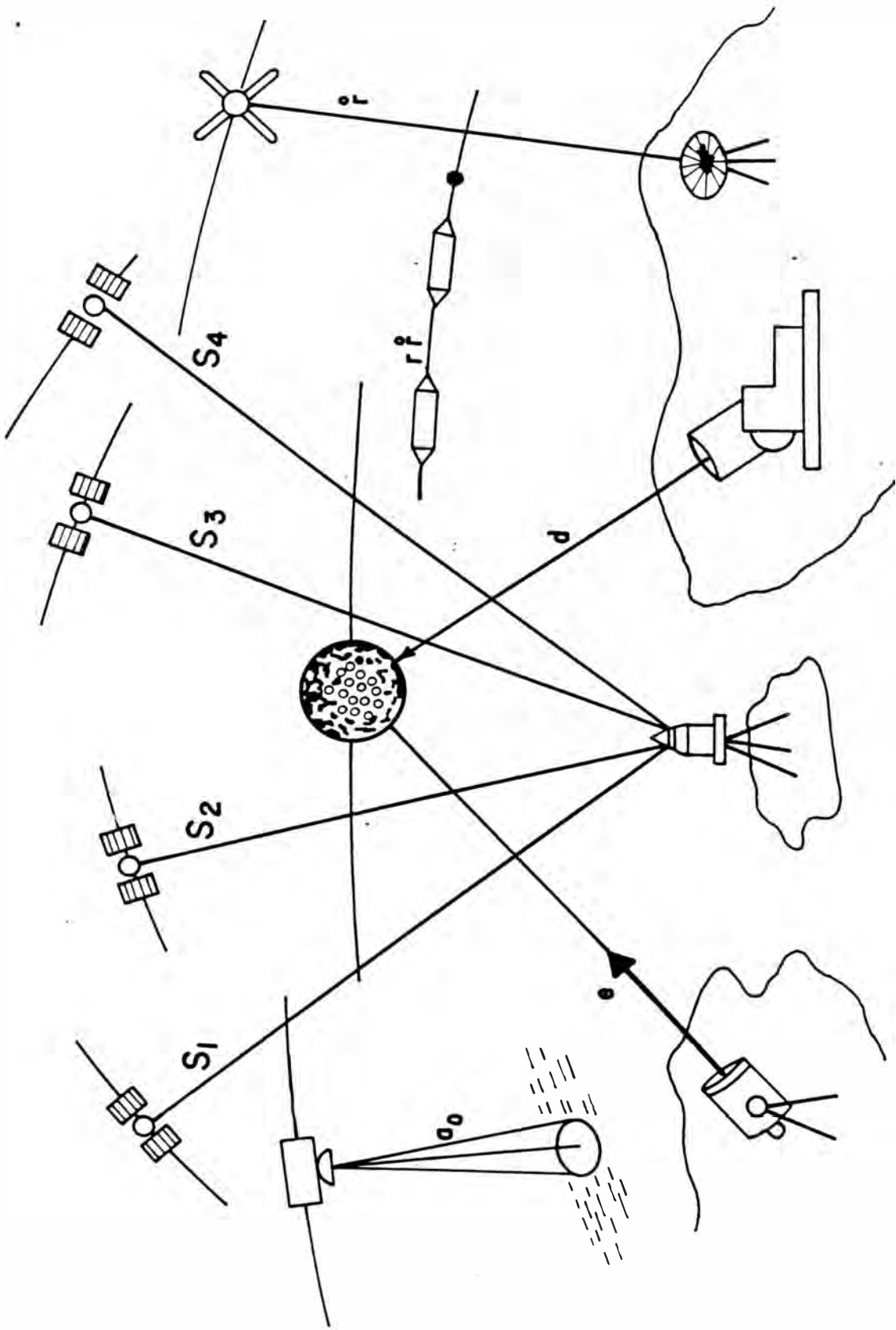


Fig. 26 RESUMEN DE LAS TECNICAS DE OBSERVACION EN GEODESIA SATELITAL

ubicarse en suficiente oscuridad sobre el lado de noche de la tierra. Las estrellas y la trayectoria satelital forman imagenes sobre una placa fotografica en una camara fotografica de rastreo conveniente. Se mide coordenadas rectangulares de las estrellas y de las posiciones de los satelites en el plano de la placa, las cuales pueden transformarse en direcciones topocentrico entre la estación de observación y el satelite, expresada en la estructura de referencia del catálogo de estrellas (sistema ecuatorial, (CIS)).

Dos direcciones medidas en la misma época desde los puntos extremos de una linea de base dada entre las estaciones de observacion definen un plano en el espacio cuya orientación puede determinarse a partir de los cosenos direccionales de los rayos. Este plano contiene las dos estaciones en el terreno y la posición del satelite simultáneamente observadas la posición del satelite. La intersección de dos o mas de tales planos, definidos por diferentes posiciones satelitales, produce el vector inter - estación entre las dos estaciones terrenas participantes (Fig. ) Cuando estan involucradas más estaciones, esto conduce a redes regionales, continentales o globales . Tomar nota que estas redes son puramente geométricas.

Fig. 27 El uso de direcciones con cámaras fotograficas del satelite

Fig. 28 Concepto de mediciones de hacia los satélites

Las mediciones de la direccion se han empleado también para determinacion orbital y fueron introducidas en las soluciones tempranas comprensivas para modelos terrestres (coeficientes del campo gravitatorio y coordenadas geocentricas. Algunos satelites estan equipados con reflectores laser. En tales casos las direcciones y los rangos pueden determinarse simultáneamente, y proporcionan inmediatamente el vector  $p(t)$  entre la estación en el terreno y el satelite.

#### 1.2.5.4.-Determinación de Rangos

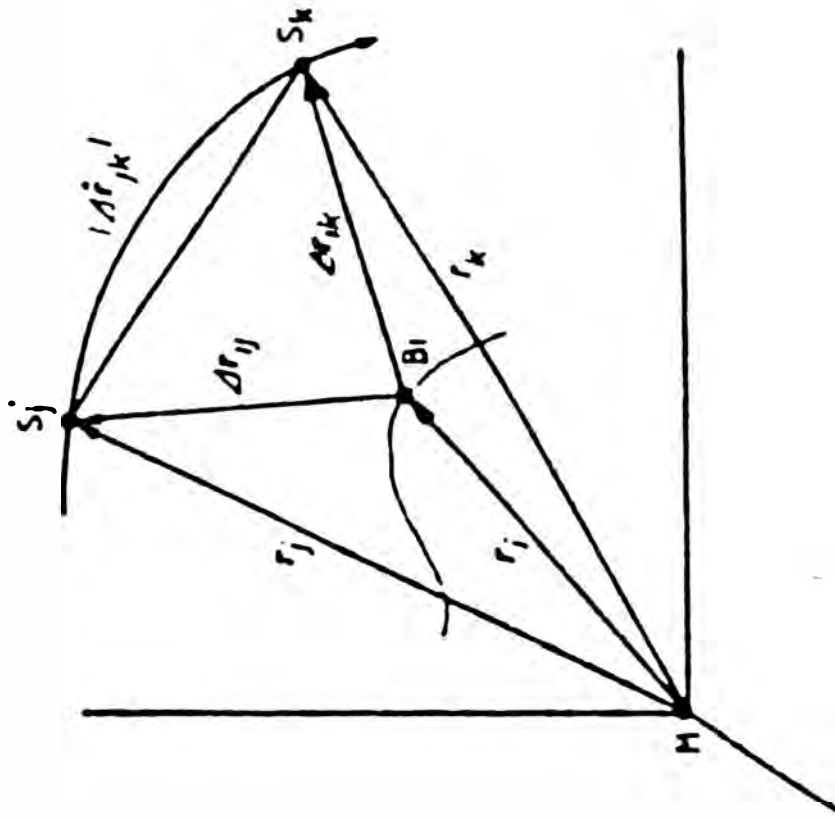
Para la determinación de distancias en la geodesia satelital se mide el tiempo de propagación de una señal electromagnética entre una estación del terreno v un satelite. De acuerdo a la porcion especifica del espectro electromagnetico distinguimos entre

Sistemas ópticos y  
Sistemas de radar.

Los sistemas ópticos dependen del estado del tiempo. La luz laser se emplea exclusivamente para obtener la fuerza y calidad requeridas de la señal. Los sistemas de radar son independientes del estado del tiempo, se utilizan longitudes de onda del dominio del centimetro y decimetro. Sin embargo, el comportamiento de la propagación es afectada significativamente por la refracción atmosférica.

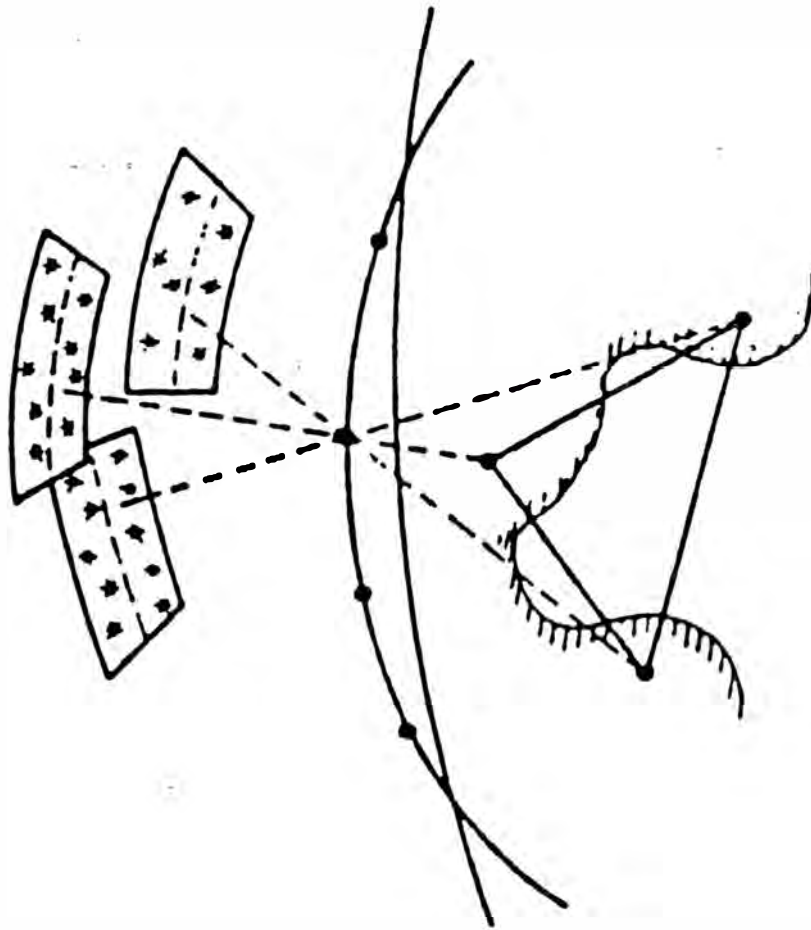
Distinguimos el modo de una via y el modo de dos vias. En el modo de dos vias se mide el tiempo de propagacion de la señal mediante el reloj del observador. El transmisor en la estación de observacion emite un impulso en la época  $t_j$ . El impuso se refleja por el satelite en la época  $t_j + dt_j$  y regresa a la estación de





MEDICION DE RANGO HACIA LOS SATELITES

FIG. 28



FOTOGRAFIAS DE SATELITE

FIG. 27

observación donde se recibe en la época  $t_j + dt_j$ . El observable básico es el tiempo total de propagación de la señal

Sin considerar los efectos relativísticos, encontramos siguiendo la figura , siendo "c" la velocidad "e" propagación de la señal, obtenemos la ecuación básica para la medición de la distancia en el modo de dos vías.

Un ejemplo típico para este modo es la técnica del Rango Laser Satelital .

En el modo de una vía suponemos que ya sea los relojes en el satélite y en el receptor del terreno están sincronizados uno con otro, o que un error remanente de sincronización puede determinarse mediante la técnica de observación.

#### 1.2.5.6.-Determinación de diferencias de alineamiento (método doppler)

La figura ilustra el principio geométrico de determinación de posición desde las diferencias de alineamiento entre un observador y dos pares de posiciones satelitales. Se considera conocidas las posiciones satelitales en las épocas

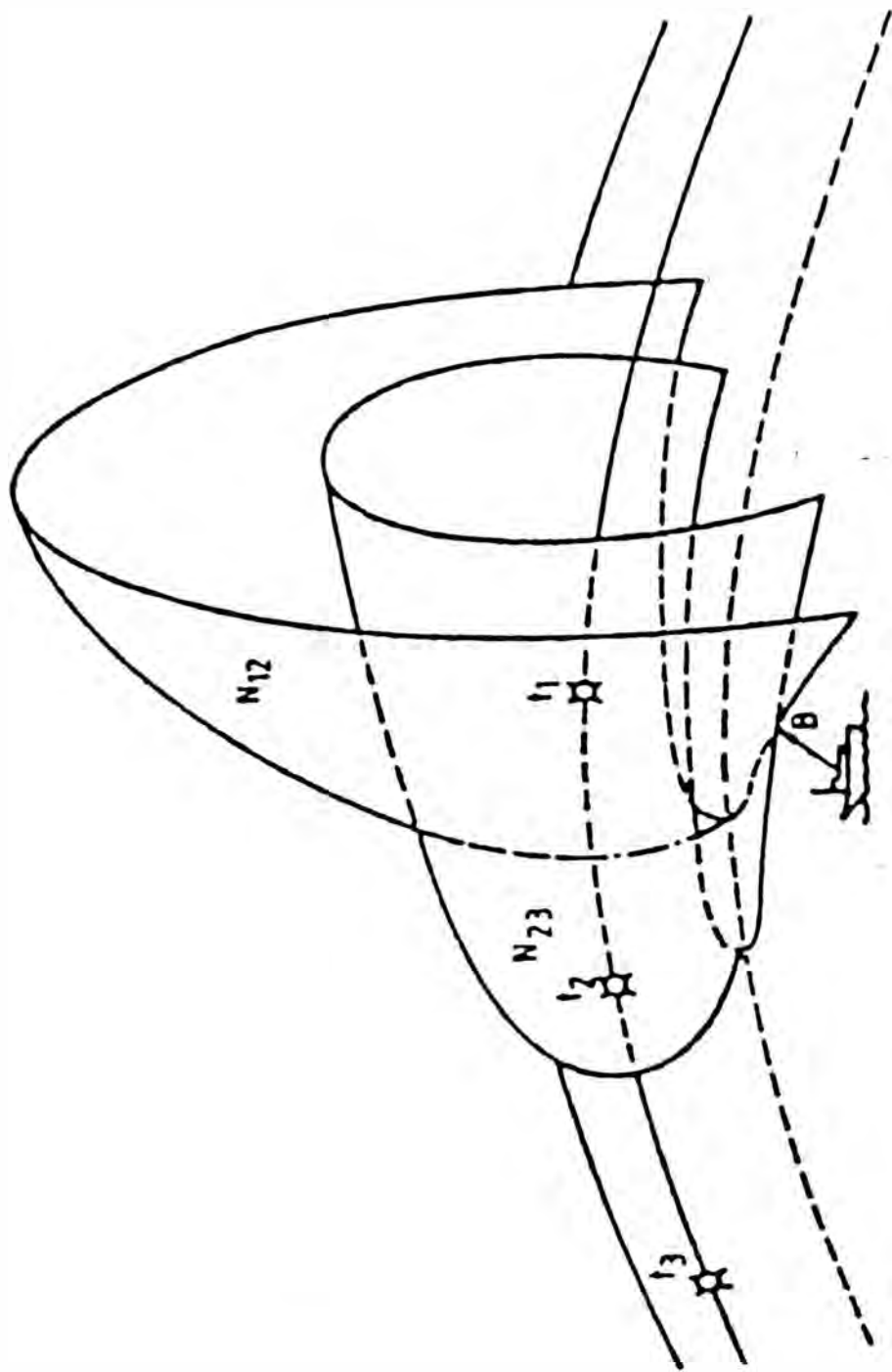
Cada una de las diferencias observadas de alineamiento define una superficie hiperbólica en el espacio tridimensional. El observador (por ejemplo en un barco) está situado en la intersección de las superficies hiperbólicas con la superficie de la tierra. Llega a ser evidente desde las consideraciones geométricas que con un pase satelital único puede determinarse solamente una posición bidimensional. Para una solución tridimensional se requieren varios pases satelitales.

Las diferencias de rango se derivan de las mediciones del cambio de frecuencia ocasionado por el cambio de alineamiento entre el observador y el satélite durante un pase satelital dado. El satélite transmite una señal de frecuencia conocida, que es seguida por un receptor en el terreno. El Movimiento relativo entre el receptor y el transmisor ocasiona que la frecuencia recibida varía con el tiempo.

Este es el bien conocido efecto Doppler

Fig. 29 Interpretación geométrica del posicionamiento con diferencias de alineaciones

La observación del efecto Doppler se emplea frecuentemente en la geodesia satelital. La técnica es siempre aplicable cuando un satélite transmite en una frecuencia estable. Los elementos orbitales de los primeros satélites se determinaron mediante la observación del campo Doppler de las señales satelitales. Las aplicaciones más importantes del método Doppler en geodesia SATELLITE SYSTEM (TRANSIT) es un nuevo sistema espacial basado en la técnica Doppler



DETERMINACION DE DIFERENCIAS DE ALINEAMIENTO ( METODO DOPPLER )

FIG. 29

El efecto Doppler puede emplearse también para la determinación de alta precisión de tasas de alineamiento entre satélites. Este método se denomina SEGUIMIENTO SATELITE A SATELITE (SST) y puede aplicarse al relevamiento de un campo gravitatorio terrestre de alta resolución.

#### 1.2.5.7.- Altimetría Satelital

Esta es una forma específica de alineamiento donde se mide la distancia vertical entre un satélite y la superficie de la tierra, en particular la superficie del oceano. La altimetría satelital es, hasta ahora, la única técnica operacional de observación nacido del satélite en geodesia satelital. El satélite lleva un altímetro de radar, no se requiere ninguna estación remota sobre el terreno. La altura del altímetro, encima de la superficie del mar se determina a partir del tiempo de viaje redondo de un impulso de radar que se transmite desde el satélite y es reflejado por la superficie del mar. Los datos se comunican de una manera conveniente desde el satélite al usuario.

Si se conoce la órbita del satélite, también se conoce la altitud del satélite,  $h$ ) sobre el elipsoide y proporciona via la relación simplificada

$$M = h - a$$

la separación entre el nivel medio del mar y el elipsoide (Fig. 30) es aproximadamente igual a la altura del geoide: de aquí, que el método de altimetría satelital puede utilizarse para la determinación del geoide sobre los oceanos. Una evaluación más sofisticada requiere algunas correcciones, en particular para el modelamiento de las desviaciones entre la trayectoria verdadera del satélite y la órbita calculada GEOS-3 y SEASAT-1 son los dos satélites que llevan altímetros de radar y se han utilizado extensivamente para propósitos geodesicos. También GEOSAT proporcionó contribuciones significativas a la geodesia y oceanografía. Los últimos satélites con altímetro son ERS-1, lanzado en julio de 1991 y TOPEX POSEIDON, lanzado en agosto de 1992. El lanzamiento de satélites adicionales equipados con altímetros de radar se espera efectuar dentro de los años próximos.

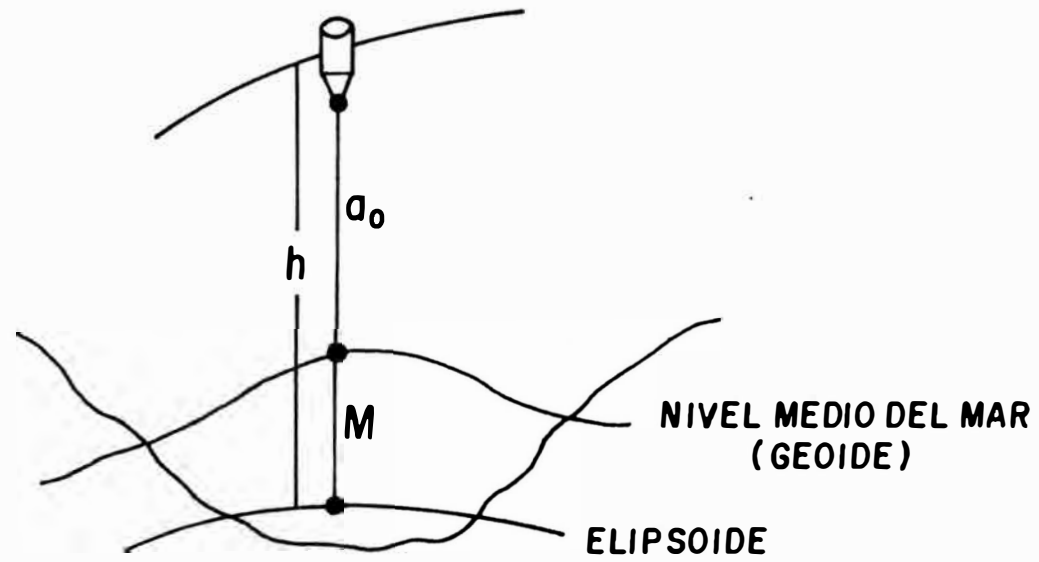


Fig.30 PRINCIPIO SIMPLIFICADO DE ALTIMETRIA

## CAPITULO II

### 2.1.-PRESENTACION Y DESCRIPCION DEL SISTEMA GPS

#### 2.1.1-INTRODUCCION

El sistema de Posicionamiento Global GPS fue creado y desarrollado por el Ministerio de Defensa y la Marina de Guerra de los EE UU con el objeto de configurar un sistema capaz de dar la posición de un determinado móvil en cualquier lugar del globo terrestre. Este sistema, concebido con fines bélicos, es el que abre sus fronteras al uso civil sin costo para el usuario, en Enero de 1980, convirtiéndose a partir de esa fecha en una importante fuente de desarrollo para las ciencias de la tierra y sus afines.

La configuración completa del sistema consiste de un total de 24 satélites activos, más tres de repuesto, los cuales estarán dispuestos en seis planos orbitales a 20,200 Km. de altitud, que asegura una cobertura en toda la superficie terrestre de 24 horas de operación efectivas. Actualmente 24 son los satélites en órbita, por lo que se dispone de una cobertura de entre 24 horas para mediciones tridimensionales y 24 horas en sesiones bidimensionales para todo el globo terrestre.

Los métodos tradicionales para la determinación de coordenadas mediante el uso de Teodolitos y Distanciómetros, basan sus procedimientos en la intervisibilidad de los puntos y en la distancia que sean capaces de medir los instrumentos utilizados.

Para el sistema GPS en cambio, tales requisitos no son preponderantes ya que se puede realizar la determinación de coordenadas en condiciones climáticas y de intervisibilidad totalmente adversas. De ahí que pueda operar de día o de noche, en puntos no intervisibles y a una distancia del orden de 30 km. para equipos de una banda (L1) y 100 Km. para receptores con dos bandas (L1 y L2).

#### 2.1.2.-CONFIGURACION DEL SISTEMA

El sistema GPS está constituido por tres segmentos

- LOS SATELITES ● SEGMENTO ESPACIAL
- EL SISTEMA DE CONTROL
- LOS USUARIOS

-Los Satélites.-La constelación está compuesta de 24 satélites más tres de repuesto dispuestos en seis planos orbitales a 55 grados respecto del Ecuador. Cada órbita circular dispuesta a 20.183 Km. de altura contiene 3 satélites. Cada satélite transmite dos radio frecuencias para el posicionamiento

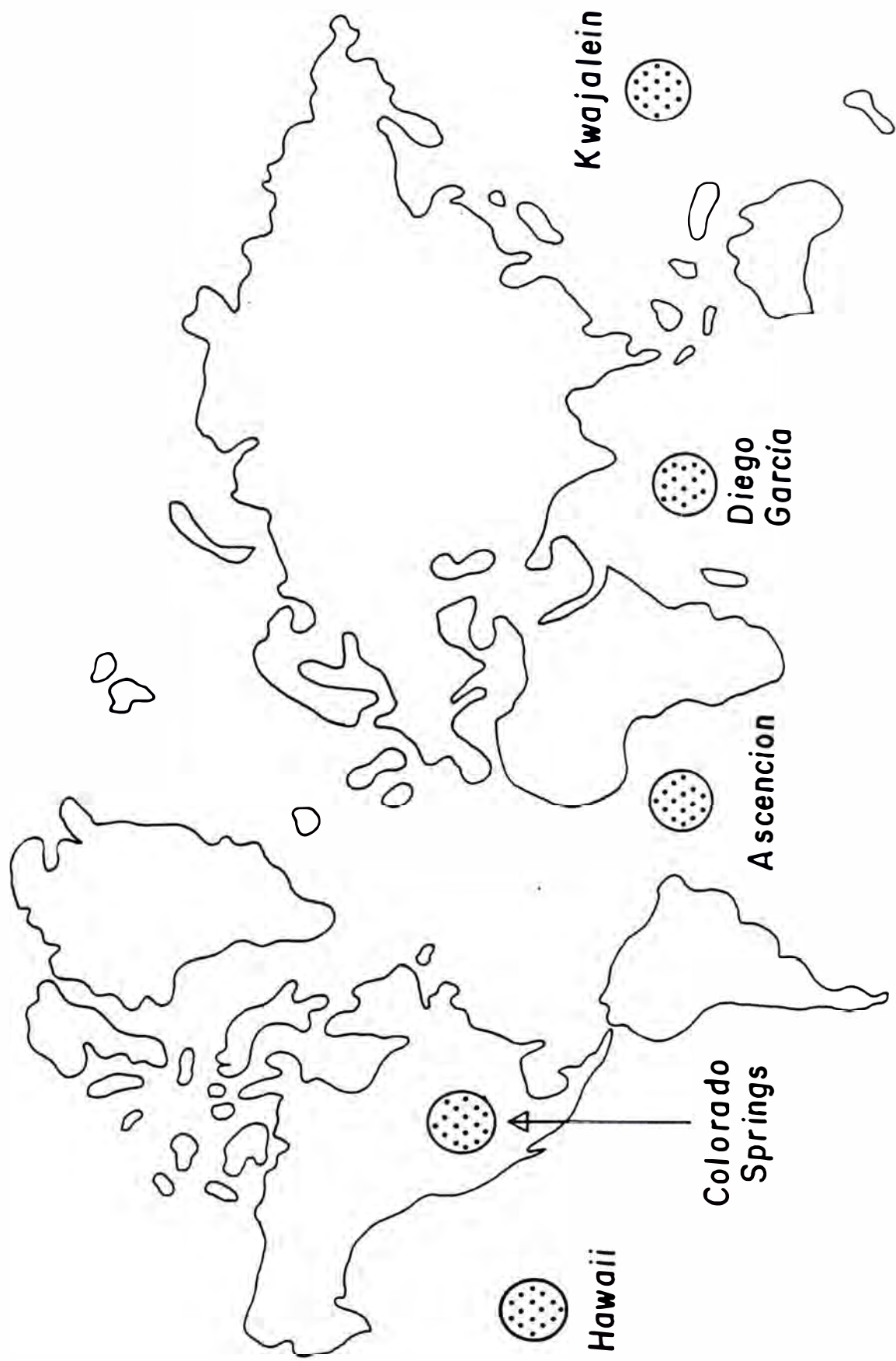


Fig.31 ESTACIONES DE CONTROL GPS

- L2 con 1227.60 MHz.
- L1 con 1575.42 MHz.

El mensaje del satélite se emite a razón de 50 bit por segundo, la longitud de éste es de 1500 bit, el cual se completa en 30 seg. de transmisión. El mensaje está dividido en cinco partes, cada una conteniendo 10 palabras de 30 bit cada una.

Además existe el código P (preciso o protegido) que se transmite en 10.23 Mhz. En la práctica es fijado en el fin de cada semana GPS y es el resultado de una familia de 37 diferentes códigos. Esta señal es asignada a los diferentes códigos de los satélites GPS. El efecto que produce el código P es dar una mayor resolución a la señal y por tanto a la determinación de la posición, sin embargo este código es transmitido en forma oculta ya que su creación se debe a fines netamente militares, por lo tanto se debe contar con receptores con este código incorporado.

#### **-El Sistema de Control .-**Compuesto de cinco estaciones:

- ISLA DIEGO GARCIA
- ISLA ASUNCIÓN
- ISLA KWAJALEIN
- ISLA HAWAI
- COLORADO SPRINGS, estación master del sistema.

El propósito de este sistema es el de monitorear las órbitas de los satélites y su funcionamiento y chequear el funcionamiento de los relojes.

Este segmento tiene la tarea de llevar a cabo el rastreo, cálculo, transmisión de datos y supervisión necesarios para el control diario de todos los satélites del Sistema, envía informes de efemérides y luego las recibe, compara, establece los factores de corrección y modifica la trayectoria de los satélites en el espacio.

Todas estas estaciones se encuentran igualmente espaciadas, además de cumplir 3 funciones especiales

Todas cumplen labores de monitoreo, rastrean todas las señales de GPS para ser empleadas en el control de los satélites y predecir sus órbitas. Este rastreo se realiza mediante receptores de doble frecuencia equipados con osciladores de Cesio. También son recolectados datos meteorológicos para permitir una evaluación más precisa de los retardos troposféricos. Las posiciones para estas Estaciones de Monitoreo son conocidas con muy alta precisión.

Tres de las estaciones (Ascension, Diego Garcia y Kwajalein) están capacitadas para transmitir información hacia los satélites, incluyendo nuevas efemérides, correcciones de reloj, mensajes de transmisión de datos y comandos de telemetría. Estas realizan un seguimiento permanente de la constelación NAVSTAR, transmisión de datos y comandos de telemetría, transmitiendo los datos recogidos al Consolidate Space Operations Center



(Centro de Operaciones Espaciales Unidas), de la estación principal, donde estas observaciones y las efemerides de referencia proporcionadas por la Naval Surface Weapons Center - NSWC, obtenidas mediante integración de largos arcos de trayectoria, se calculan las efemerides de cada satélite para un periodo posterior.

Esta información se inyecta desde la estación principal al receptor colocado a bordo de cada satélite.

Una estación (Colorado Springs) es la Estación de control principal. Los datos rastreados desde las estaciones de monitoreo son transmitidas a la Estación de Control Principal para ser procesadas. Este procesamiento involucra el cálculo de las efemerides de los satélites y correcciones de reloj a los mismos. La Estación de control principal es también responsable de controlar las correcciones orbitales cuando cualquier satélite se desvía de su posición asignada. Además como función adicional, la Estación de Control Principal está en capacidad de realizar las maniobras necesarias para que un satélite ya inactivado sea reemplazado por uno de repuesto.

Como el tiempo de sincronización del satélite es una de las más importantes tareas del Segmento de Control, la Estación de Control Principal está directamente conectada con el tiempo estándar del Observatorio Naval de los Estados Unidos en Washington D.C.

**-Segmento Usuario .-** Está constituido por todos los equipos, permanentes u ocasionales, utilizados para la recepción de señales emitidas por los satélites y empleados para el posicionamiento o para la precisa determinación de tiempo. Se conoce como receptor GPS a un equipo constituido por una antena con preamplificador para la captación de las señales emitidas por los satélites y un receptor integrado por los elementos físicos y de lógica necesarios para el control, seguimiento, registro, almacenamiento, visualización de los datos, cálculos pre y post-observados y presentación de resultados.

Un receptor GPS normalmente utiliza un canal o más. Un canal consta de un hardware y un software necesarios para rastrear la señal de un satélite en una de las dos frecuencias portadoras.

Algunos receptores llevan incorporado el calculador, así como un elemento para registro de datos sobre soporte magnético, en tanto que otros precisan de un ordenador exterior, generalmente de tipo PC y unidad de registro en diskette. Además pueden acoplarse a otros elementos exteriores, tales como un oscilador atómico, sensores meteorológicos, etc.

### **Efemerides**

Las efemerides son una lista de coordenadas que definen la posición orbital de un satélite en diversos momentos. Todas las técnicas de procesamiento de

# SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

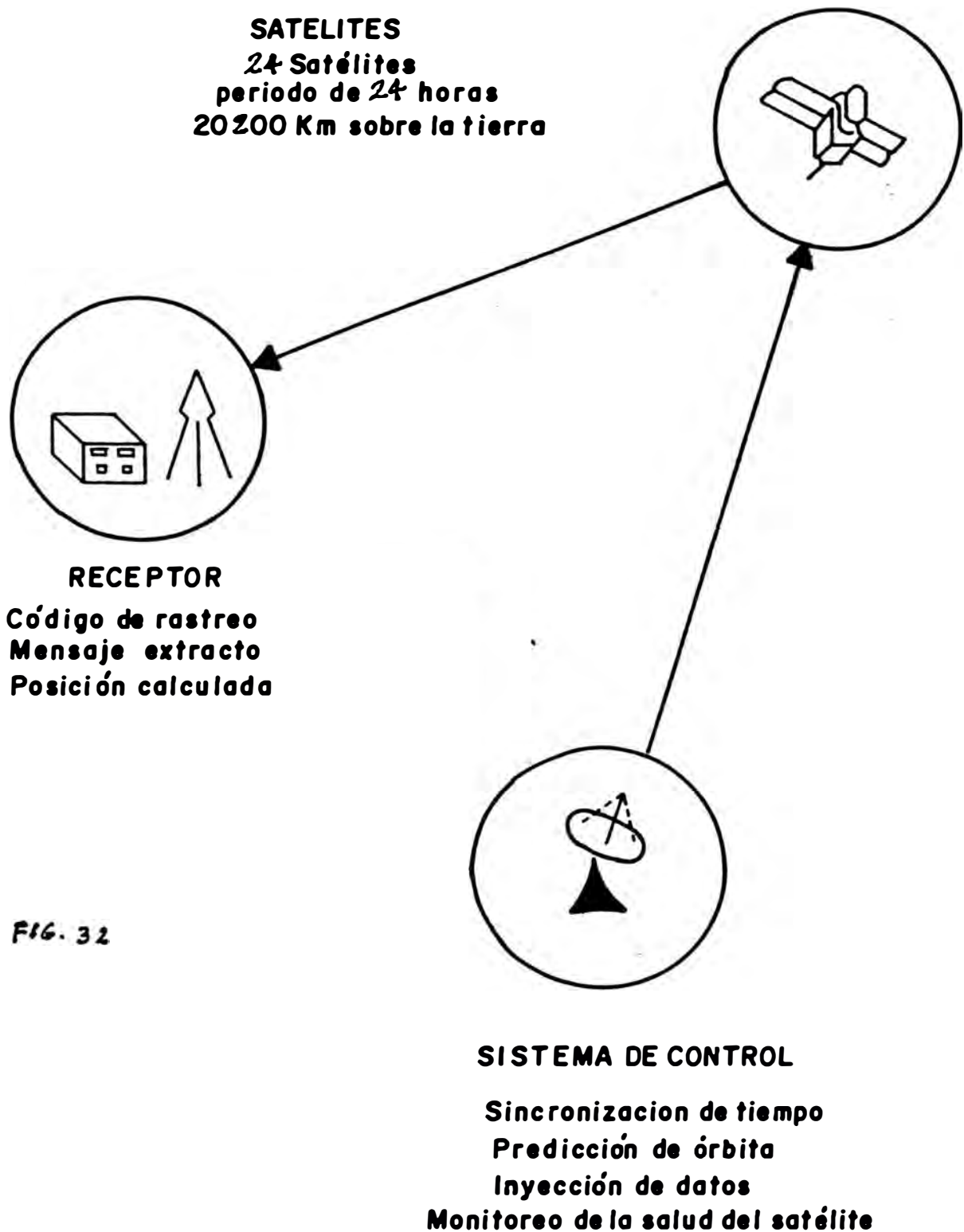


FIG. 32

receptor terrestre, tanto la absoluta para la modalidad de posicionamiento por puntos como la relativa cuando se utiliza en la modalidad diferencial.

En el caso del posicionamiento por puntos, los errores en posición de las efemérides del GPS que se introducen en el mismo son aproximadamente de la misma magnitud.

Las efemérides de los satélites están siendo actualizadas en cada posición de las efemérides del GPS que se introducen en el mismo, son aproximadamente de la misma magnitud.

Las efemérides de los satélites están siendo actualizadas cada hora, pero son válidas por un intervalo de tiempo adicional (al menos cada hora). Las efemérides son un conjunto de parámetros que contienen no solamente elementos keplerianos de la órbita sino también correcciones para ellas.

Los valores de los parámetros son obtenidos por un ajuste de mínimos cuadrados de la órbita predicha dentro de un intervalo de tiempo. Por lo tanto en apariencia son solamente elementos keplerianos que no se cumplen para el total de la órbita. Sin embargo, describen la verdadera órbita kepleriana dentro de un rango de unos pocos kilómetros en el espacio.

Las efemérides se clasifican generalmente en

- \* Transmitidas (o de referencia) y
- \* Post-precesadas (o pronosticadas).

### **Efemérides transmitidas**

La predicción de las efemérides es un proceso que se cumple en dos etapas, a saber :

A partir de las observaciones realizadas aproximadamente durante una semana de mediciones y mediante un ajuste lineal por mínimos cuadrados, se genera una "Efemérides de Referencia".

Empleando mediciones adicionales para determinar correcciones lineales.

La efemérides de referencia es un estimado inicial de la trayectoria del satélite, calculada a partir del registro de datos durante una semana, en las cinco estaciones de monitoreo. Esta efemérides es empleada para permitir la linealización precisa del modelo orbital en el filtrado Kalman. Errores en las efemérides de referencia del orden de 100 metros darán como resultado errores en la linealización, que a su vez afectarán la predicción de las efemérides, específicamente, del orden 1 metro por día.

### 2.1.3.-CONCEPTOS BASICOS DEL SISTEMA GPS

El sistema basa su funcionamiento en cinco principios basicos

- i) Realización de una **TRILATERACION** desde las antenas de los receptores a los satélites.
- ii) Medición de la distancia entre antena y satélite mediante el tiempo de viaje de las radio señales.
- iii) Determinación precisa del tiempo. Cada satélite cuenta con cuatro relojes atómicos más dos relojes por cada receptor.
- iv) Tener totalmente determinadas las posiciones de los satélites para cualquier instante de tiempo, lo que se llama **ALMANAQUE**.
- v) Aplicar las respectivas correcciones al retardo que sufre la señal al cruzar las distintas capas de la atmósfera que cubren la tierra

Sobre lo mencionado anteriormente comentamos lo siguiente

La posición de la antena es calculada basándose en la medición de distancia. Esta se realiza utilizando la señal que emiten los satelites. Matematicamente se necesitan tres distancias a estaciones conocidas para determinar la ubicación de un punto en el espacio, pero por razones técnicas del sistema este requiere de un mínimo de cuatro satelites para tal efecto (La cuarta incognita es el tiempo). Ahora bien, si conocemos la distancia a los satelites tambien debemos conocer la posición de estos en cada instante y solo así podremos determinar posiciones absolutas.

Para lograr dicho objetivo existen las cinco estaciones de rastreo, dispuestas en la línea del Ecuador, y son estas las que monitorean el paso de los satélites ingresandoles datos de corrección a sus órbitas para que a su vez sean transmitidos a tierra.

#### Principio de medición del sistema GPS

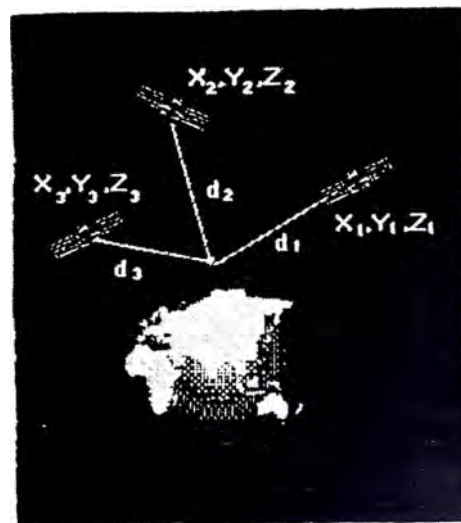
La posición es calculada midiendo las distancias a 3 puntos (satelites) cuyas posiciones son conocidas.

Como resultados se generan tres esferas

De su intersección se obtienen dos soluciones

Una absurda, por no estar sobre la superficie de la tierra

La otra, es la posición del punto a ser ubicado.



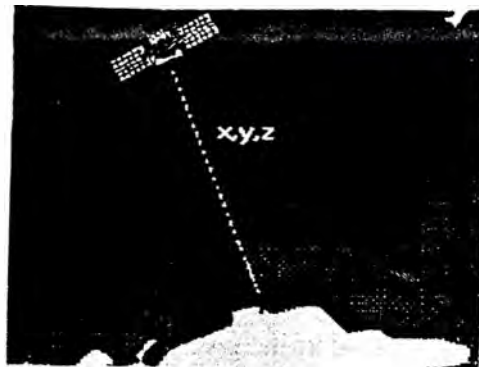
La posición se obtiene midiendo distancias  
Cálculo de posición de un punto.

Para calcular la posición de un punto en el espacio, dados 3 puntos conocidos, necesitamos saber :

\*Las coordenadas de dichos puntos de referencia (satélites) al momento de hacer la medición.

\*La distancia "d" que hay entre cada satélite y el punto cuya posición se desea conocer.

La antena del sensor GPS se coloca sobre el punto a ser ubicado.



### Ubicación de las posiciones de los satélites

Es relativamente fácil determinar la posición de los satélites.

La ley de Newton establece que : "Un cuerpo en movimiento, permanece así a menos que exista una fuerza que se oponga a dicho movimiento".

A 20,200 Km de altura no hay mayor oposición al desplazamiento de los satélites.

Entonces, se puede asumir que los satélites viajan a velocidad constante.

Además, cada 30 segundos, los satélites envían mensajes que contienen efemérides para cada uno de los 24 satélites que forman la constelación.

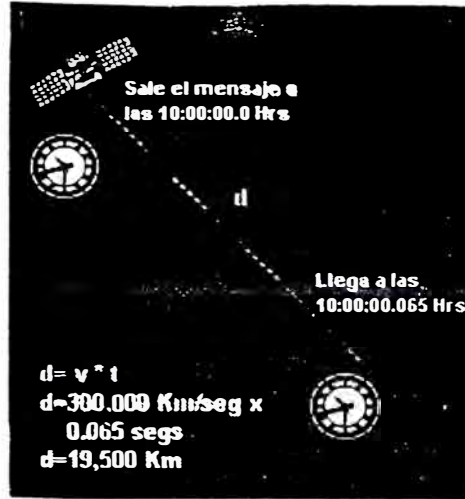
Estos parámetros permiten determinar con bastante exactitud la posición de los satélites en un instante dado.



### Medición de distancias en el sistema GPS

Supongamos que :

- a.- El receptor está ubicado sobre el punto cuyas coordenadas deseamos conocer.
- b.- Que los satélites nos envían por medio de ondas de radio mensajes codificados en los cuales está indicada la HORA EXACTA en que se envió el mensaje.
- c.- Que la velocidad de propagación de las ondas de radio es la velocidad de la luz, es decir, 300,000 Km/seg.



### Ubicación de un punto

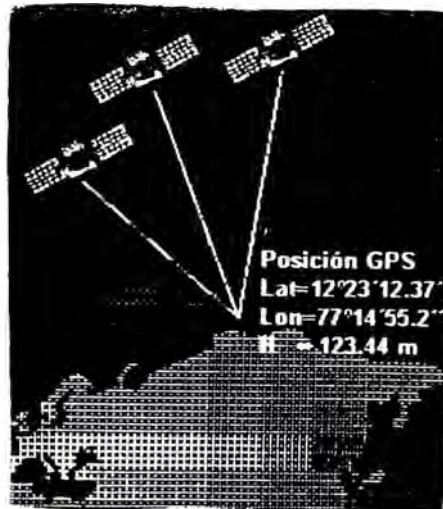
El receptor sabe la HORA EXACTA de recepción del mensaje.

Entonces, conocida la hora de envío es fácil calcular el tiempo que tomo el mensaje para viajar del satélite al receptor.

La distancia se obtiene aplicando:  $d = c \cdot t$

De las efemerides contenidas en el mensaje, se conoce la posición del satélite.

Repetiendo el proceso con 2 satélites más se obtiene la posición del punto en el espacio.

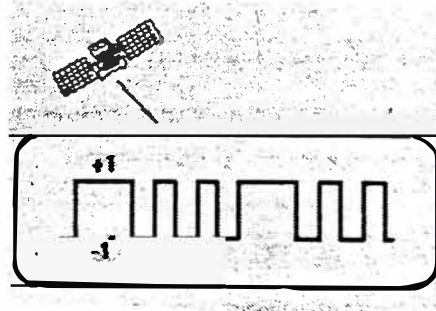


### Códigos

Son una serie de pulsos eléctricos con valores  $\pm 1, -1$  que modulan de modo PSEUDO ALEATORIO las señales de radio frecuencia.

Los códigos son generados por los satélites usando un complicado juego de instrucciones que se repiten cada siete días.

El receptor genera un código igual al del satélite que debe estar exactamente sincronizado.



### Midiendo el tiempo se obtienen las distancias

El código generado por el satélite sufre un retraso debido a la distancia que debe recorrer para llegar hasta el receptor.

El retraso será mayor cuanto mayor sea la distancia.

El receptor calcula la distancia comparando el código recibido del satélite con el generado en el mismo.



### PSEUDO DISTANCIA

No es cierto que el reloj de transmisor y el reloj del receptor estén sincronizados perfectamente.

Los satélites tienen relojes atómicos de alta precisión y estabilidad, que por su costo no pueden ser usados en los receptores GPS.

Lo anterior, introduce un error en el cálculo del tiempo y por lo tanto, en la determinación de la distancia. Por ello, la distancia así medida se llama PSEUDO DISTANCIA.



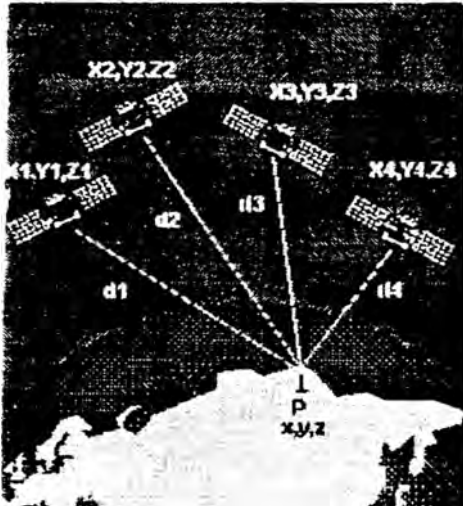
### La solución : 4 satélites

Por lo tanto, para calcular la posición de un punto en el espacio, se debe conocer el error de tiempo (sincronización).

Este error se llama *T* bias y es igual para todos los satélites.

Determinado el error de tiempo, es fácil corregir las Pseudo Distancias obtener sus valores reales.

Haciendo mediciones a un cuarto satélite se obtiene un sistema de cuatro ecuaciones, que considera los efectos del error de sincronización de los relojes.



$$d_1 = v_{at} = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2}$$
$$d_2 = v_{at} = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2}$$
$$d_3 = v_{at} = \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2}$$
$$d_4 = v_{at} = \sqrt{(x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2}$$

Un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas...

#### 2.1.4.- FUENTES DE ERROR

El sistema de Medicion Satelital GPS, también está afecto a errores, los que se pueden agrupar de la siguiente manera :

##### ERROR DEL SATELITE

En donde se encuentran los efectos asociados al satélite y que contribuyen a alterar la medición de distancia. Anteriormente se mencionó que el mensaje de transmisión estaba compuesto por la posición instantánea del satélite, determinada en un sistema geocéntrico. Este mensaje es conocido con el nombre de EFEMERIDES y sus valores son predeterminados por las estaciones en tierra. A este mensaje podemos atribuir tres tipos de error :

El primero sera intrínseco al sistema debido a que es imposible determinar con toda exactitud la posición del satélite porque las órbitas de estos estaran influenciadas por la atracción gravitacional, la que a su vez no ejerce una fuerza constante sobre dichos cuerpos.

El segundo tipo de error estara asociado a la medición de tiempo. Esta determinación es fundamental en la medición de la distancia receptor-satélite. Aunque los relojes empleados son de alta calidad, estos no son perfectos.



Y la tercera fuente de error introducida deliberadamente por el Departamento de Defensa de los EE UU, en donde se degrada las Efemérides y se alteran los relojes. Esta acción se conoce con la sigla SA Selectiv Availability o DISPONIBILIDAD SELECTIVA. Tal acción se realiza con fines netamente estratégicos.

#### ERROR EN LA PROPAGACION DE LA SEÑAL

Este error es introducido cuando la señal del satélite pasa a través de la atmósfera, encontrándose con la Troposfera y la Ionósfera, las que afectan la onda produciéndole un cambio de velocidad o retraso conocido con el nombre de REFRACCION. La mayor parte de este error se produce al cruzar la IONOSFERA, capa superior de la atmósfera que posee una gran cantidad de partículas cargadas electrónicamente.



$$GDOP = \sqrt{PDOP^2 + TDOP^2}$$

#### GEOMETRIA DE LOS SATELITES

Otro factor que también podría afectar la medición es la GEOMETRIA, es el que tiene relación con la disposición espacial, respecto del receptor, que puedan tener los satélites en un momento dado. De tal manera, que cuando encontramos satélites en una configuración en donde todos se encuentran juntos, este factor tenderá a aumentar y por lo tanto indicará una medición poco confiable. Por el contrario cuando estén bastante dispersos respecto a la antena el valor será pequeño, indicando una buena medición. El efecto de la configuración geométrica es conocido con el nombre de FACTOR DE DILUCION DE LA PRECISION GEOMETRICA.

La figura ilustra la situación comentada anteriormente :

### Errores en la determinación de la distancia

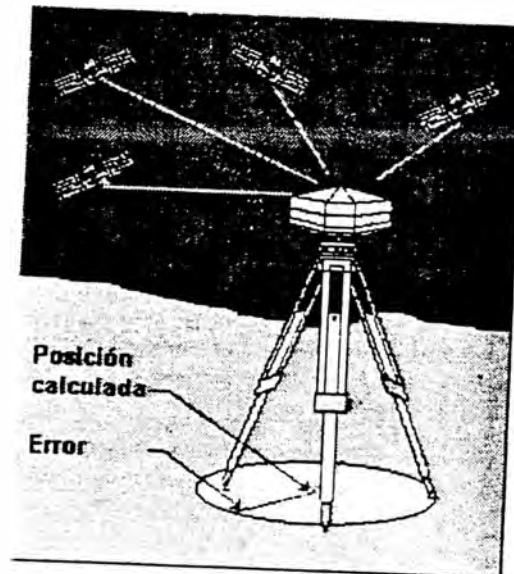
En la marcha del reloj del satélite : 0.6 m.

En la efemérides : 0.6

En los relojes de los receptores: 1.2 m.

Efectos de la atmósfera: 3.7 m.

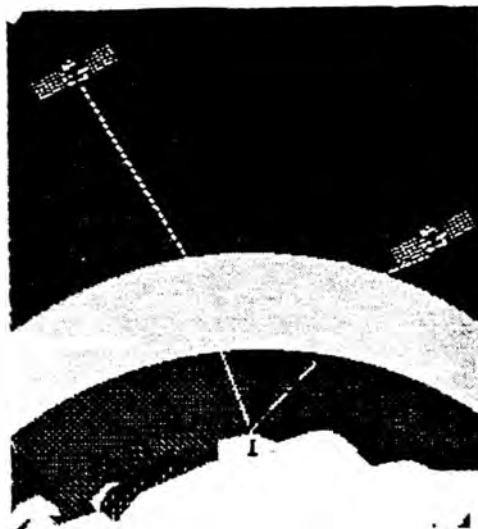
Disponibilidad selectiva : 7.6 m.



### Efectos de la ionósfera

Lamentablemente las ondas de radio no viajan por el espacio vacío. Tienen que atravesar también la capa ionosférica que rodea la tierra.

El grado en que la ionosfera afecta a las ondas de radio depende de la densidad de carga ionosférica y del ángulo de incidencia.

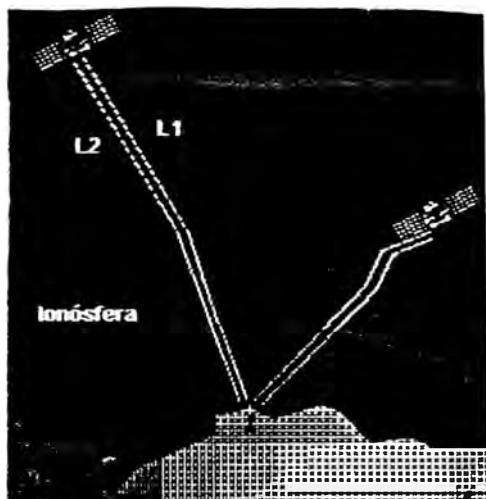


### Con dos frecuencias se reduce el efecto de la ionósfera

El retraso que ocasiona la ionósfera en la propagación de las señales es inversamente proporcional a la frecuencia.

Usando DOS FRECUENCIAS se puede determinar la diferencia entre los tiempos de retardo y por lo tanto, eliminar en gran parte el efecto ionosférico.

Este efecto es más notorio durante el día



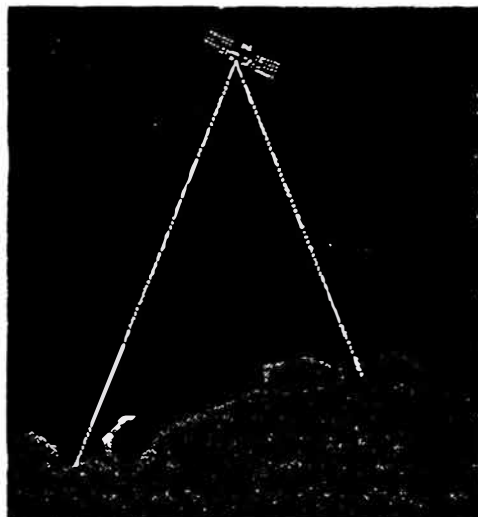
### Error en la marcha del reloj de los satélites

Pequeños errores en los relojes de los satélites causan que los códigos pseudo aleatorios sean generados fuera del tiempo.

Las pseudo distancias medidas pueden tener un error de 0.6 m. debido a este efecto.

Las estaciones de control en tierra, pueden ajustar los relojes.

El post procesamiento de las señales observadas, cancela el error del reloj del satélite usando diferencias simples entre 2 receptores.



### Error en las efemérides

Las efemérides transmitidas no representan exactamente la trayectoria de los satélites.

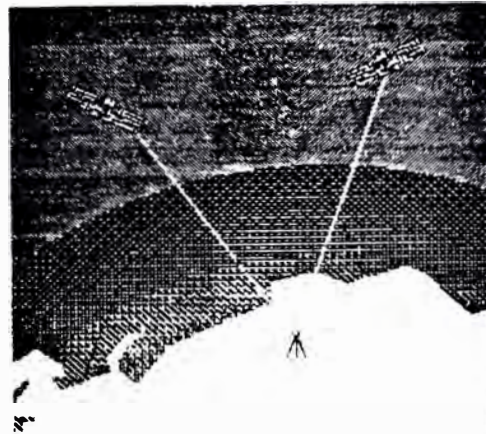
Estas diferencias se manifiestan en un error en la ubicación del receptor de hasta 0.6 m.

Para posicionamiento de muy alta precisión es recomendable el uso de las EFEMERIDES PRECISAS.



### Error en la marcha del reloj de los receptores

El error en la marcha del reloj de los receptores, se cancela mediante las diferencias simples entre satélites.



### 2.1.5.-METODOLOGIA DE TRABAJO

Respecto a las metodologías de trabajo utilizando receptores GPS, estas se pueden dividir en dos grupos :

MEDICION INDIVIDUAL.-Aquí se encuentran todos los trabajos realizados con un solo equipo, debido a que se necesita hacer mediciones de terreno con poca precisión

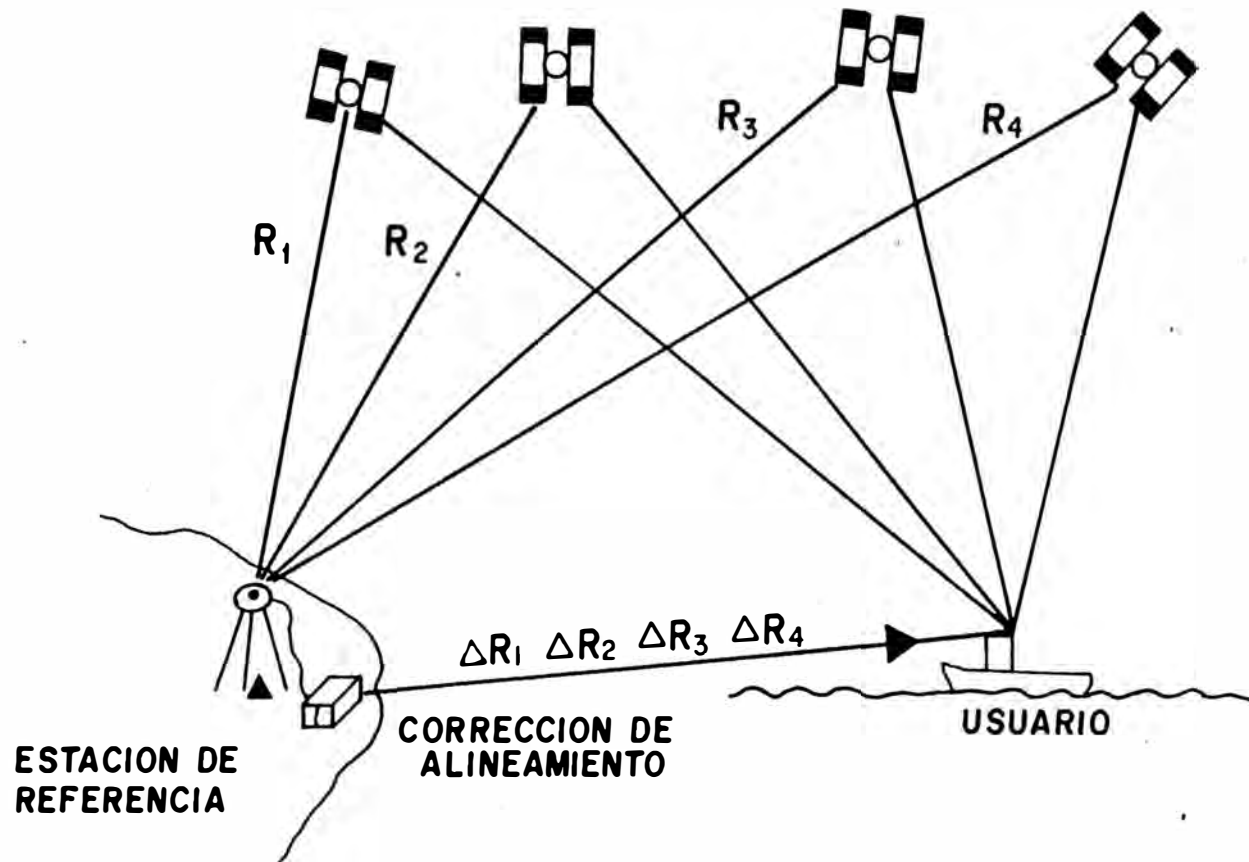


Fig.47 GPS DIFERENCIAL : CORRECCION DE ALINEAMIENTO ESTA TRANSMITIENDO AL USUARIO MOVIL

(30 m a 50 m.). En estos trabajos podemos incluir la navegación, el posicionamiento de terreno, etc.

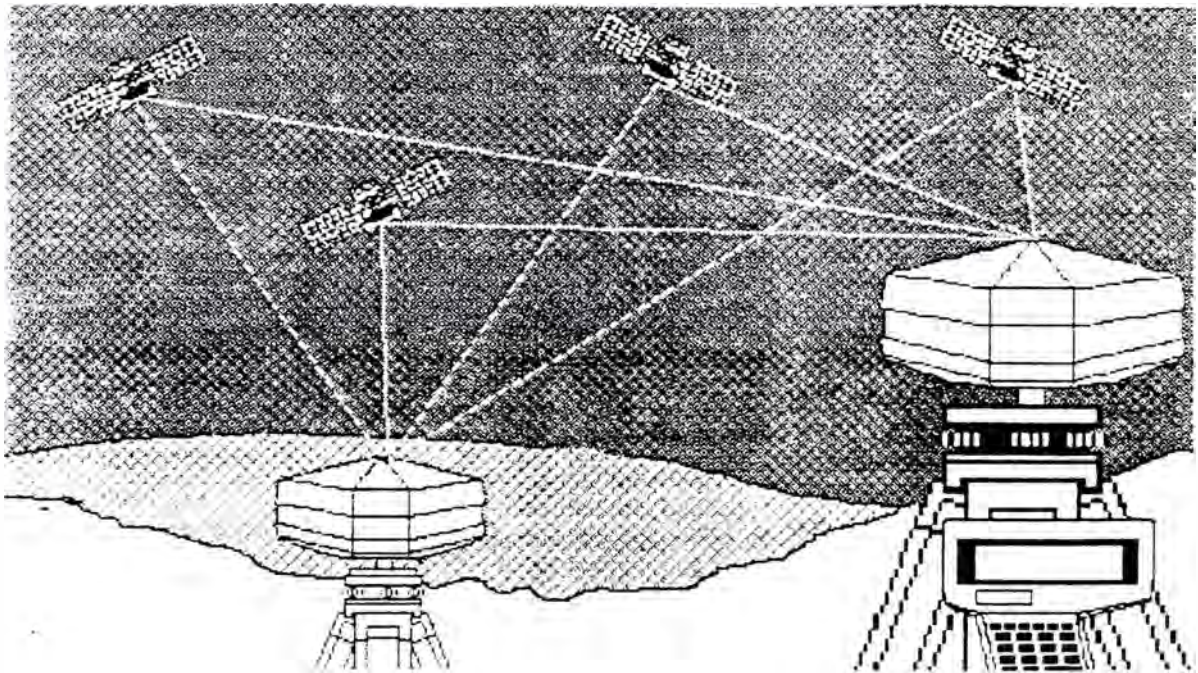
**METODO DIFERENCIAL.**-La corrección diferencial en GPS es un proceso mediante el cual se ubica un receptor en un lugar conocido, llamado estación base, y se usa los datos recopilados por el satélite para ajustar las posiciones del GPS que fueron computadas por otros receptores (remotos) en lugares desconocidos. Las posiciones móviles o remotas se comparan con las posiciones de la estación de base conocida y las diferencias existentes se emplean para corregir las posiciones de los móviles.

Se considera el hecho de que la precisión disminuye a medida que incrementa la distancia de la estación base al móvil.

En el GPS de tiempo real, la estación base inmediatamente determina el error por cada uno de los satélites a medida que recibe los datos. Esta corrección es recibida por el receptor móvil que aplica la corrección a la posición que se está calculando. El resultado es el que se ve en la pantalla del móvil su posición corregida diferencialmente. Esto es útil para saber donde se encuentra en un determinado momento.

La medición en modo diferencial con post-procesamiento, cancela los errores debidos a los relojes, efemérides y disponibilidad selectiva.

La medición en modo diferencial con post procesamiento cancela los errores debidos a los relojes, efemérides y disponibilidad selectiva.



### Métodos de medición : Estático

Método clásico de medición.

Error medio cuadrático : 5 mm - 1 ppm

Distancias mayores de 20 Km.

Tiempos de observación : 1 hora

Una o mas estaciones de referencia y una o mas estaciones móviles.

Aplicaciones :

Mediciones de control geodésico sobre grandes áreas.

Medición de redes nacionales y continentales.

Control geodésico, densificación, etc.

**Métodos de medición : Estático Rápido**

Nueva técnica que permite realizar mediciones en distancias menores de 15 Km con cortos periodos de observacion.

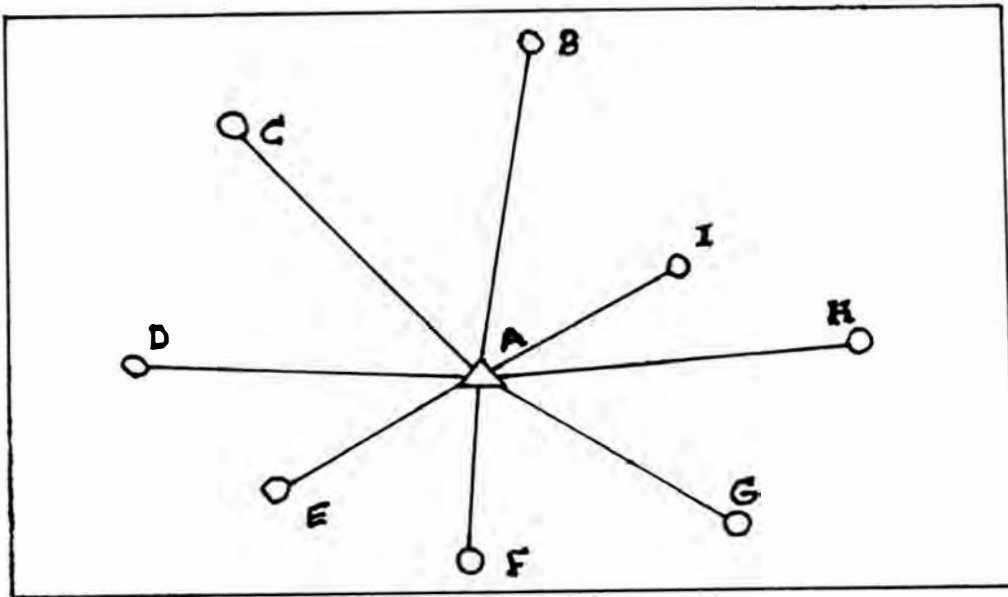
Error medio cuadrático : 5 a 10 mm+ 1 ppm

Tiempo de observación : 3 a 15 minutos

Utiliza una estación de referencia y una o mas estaciones moviles

Aplicaciones :

Mediciones de control para catastro, geodesia e ingenieria



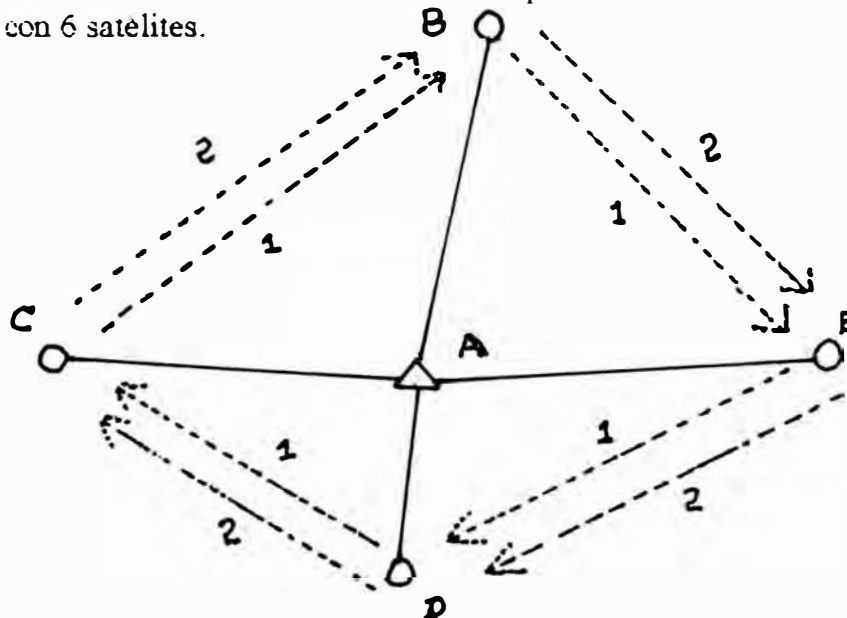
**Métodos de medición : Reocupación**

Este método permite combinar en el programa SKI datos tomados en el mismo punto en dos momentos diferentes, para obtener una solución consistente.

La REOCUPACION permite hacer mediciones cuando no es posible observar 4 satelites simultaneamente.

Tres satelites son observados la primera ocupación y tres diferentes la segunda.

El programa SKI calcula las coordenadas del punto como si se tratara de una observación con 6 satelites.



### Métodos de medición : **Stop and Go**

El método más rápido. Requiere una estación de referencia y una o mas estaciones móviles.

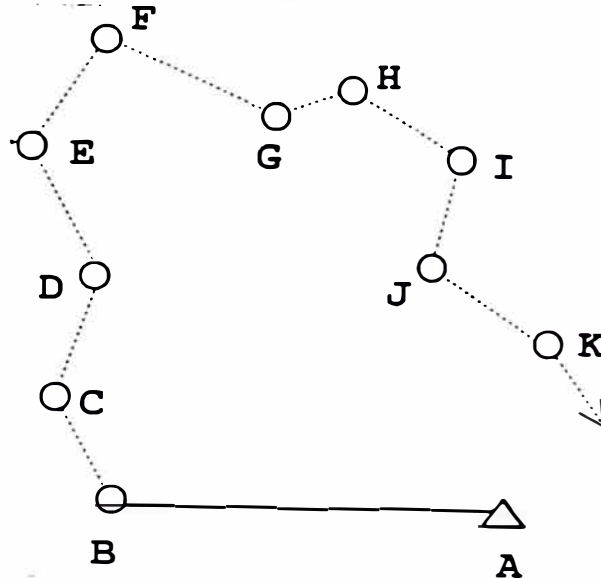
Observando unos minutos con la estación móvil en el punto B se resuelven las ambigüedades.

Luego basta tomar unas cuantas épocas en cada uno de los puntos restantes.

Error medio cuadrático : 10 a 20 mm + 1 ppm

Aplicaciones :

Levantamientos de detalle y de ingeniería en áreas abiertas.



#### 2.1.6. - PRECISIONES

Las precisiones entregadas por un Geo-receptor Satelital dependen del tipo de medición y el equipo utilizado.

\* VER FIGURA EN LA PAGINA SIGUIENTE \*

Nota : La precisión en el modo de medición absoluta esta sujeta a cambios dispuestos por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. lo que se denomina disponibilidad selectiva.

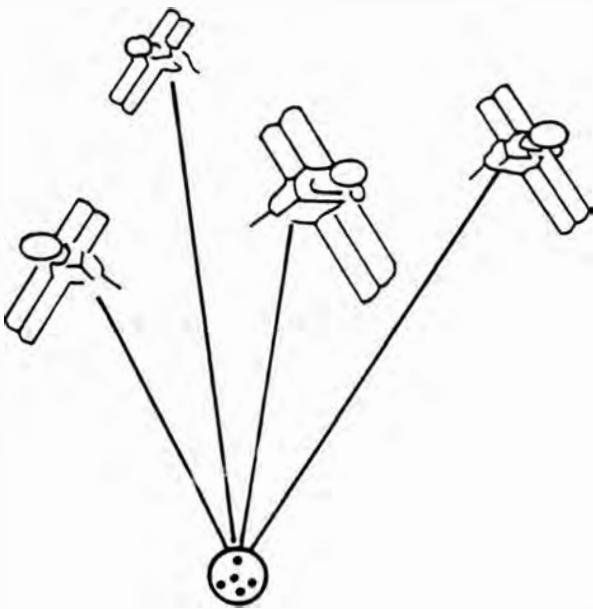
#### Disponibilidad selectiva (S/A)

Técnica utilizada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norte America para degradar la exactitud del sistema .

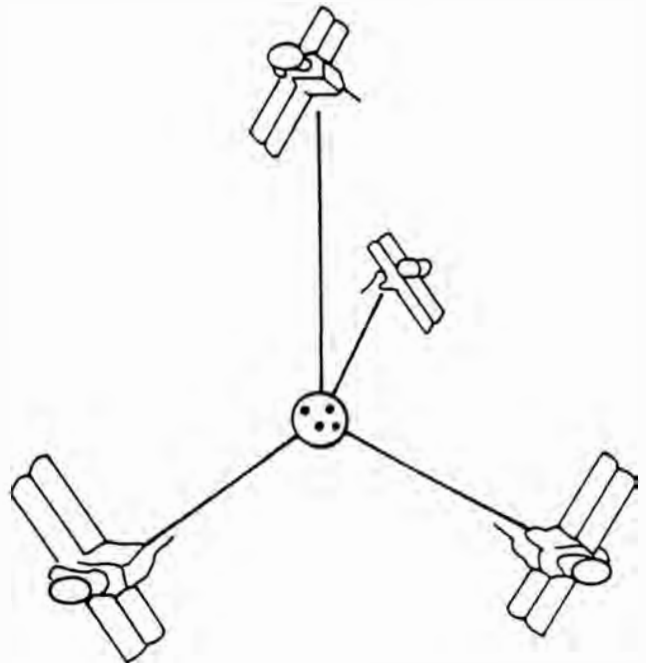


$$\sigma = \text{DOP} \cdot \sigma_0$$

PRECISION DEL POSICIONAMIENTO      GEOMETRIA (DILUCION DE LA PRECISION)      PRECISION DE LA MEDICION



GDOP POBRE  
SATELITES AGLOMERADOS



GDOP BUENO  
(CASO IDEAL)  
UN SATELITE A LO ALTO  
3 EN EL HORIZONTE,  
APARTADOS 120° EN AZIMUT

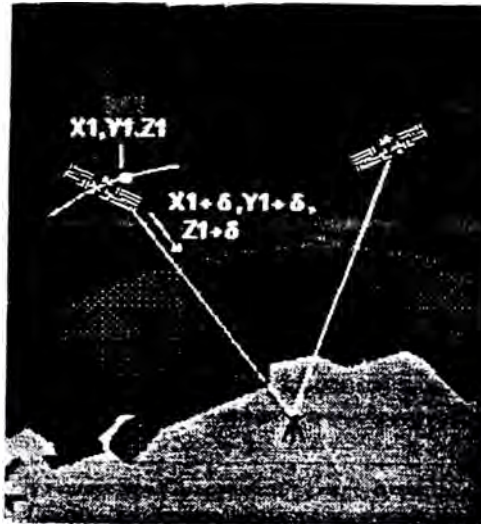
Fig. 52 GEOMETRIA Y PRECISION DEL GPS

Aún así se garantiza una exactitud en 2 D mejor a 100 m el 95% del tiempo.

Emplea dos efectos:

Datos de efemérides alterados.

“Dithering” o inestabilidad internacional del reloj del satélite



#### 2.1.7.-SISTEMA DE COORDENADAS

El sistema GPS tiene su fundamento en la medición de las distancias (TRILATERACION) a puntos conocidos, en este caso los satélites en el espacio. Las órbitas de dichos vehículos están referidas a un sistema Geocéntrico, es decir, un sistema en donde se considera al centro de masa de la tierra como el origen de los tres ejes coordenados (X, Y y Z).

Las coordenadas obtenidas como resultado de una medición están referidas al ELIPSOIDE WGS-84 (World Geodetic System 1984). El elipsoide se define matemáticamente de tal forma que se ajuste lo mejor posible al GEOIDE (superficie equipotencial que representa la verdadera forma de la tierra), es decir, se trata de lograr que las diferencias u ondulaciones geoidales con respecto a este elipsoide sean mínimas.

Un elipsoide se define por su semi-eje mayor (a) y su achatamiento (f), valores que en forma matemática lo representan.

Elipsoide WGS - 84

$$a = 6.378.137 \text{ m}$$

$$f = 1.298.250$$

Elipsoide PSAAD-56

$$a = 6.378.388 \text{ m}$$

$$f = 1.297.000$$

## DATUM HORIZONTAL Y VERTICAL

\* VER FIGURA EN LA PAGINA SIGUIENTE 55\*

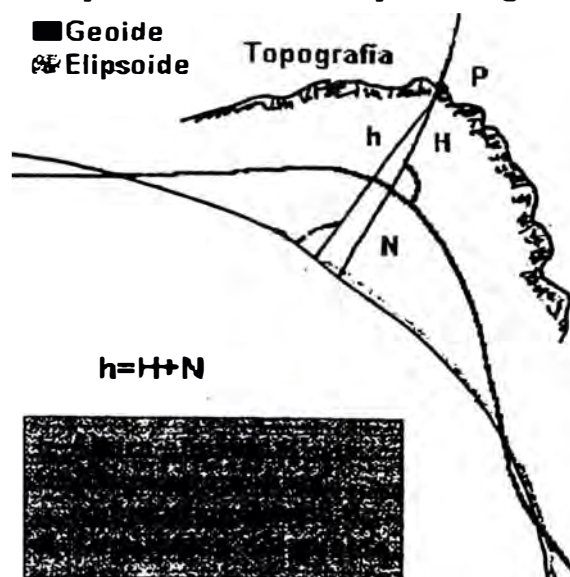
### Altitud

En geodesia dos superficies de referencia: el elipsoide y el geoide.

El elipsoide está definido por sus semi-ejes y su excentricidad.

El geoide es aquella superficie equipotencial del campo gravitacional que mas se aproxima a la superficie de los oceanos.

La altura del geoide sobre el elipsoide es llamada separación geoidal.



### Altura elipsoidal

La altura sobre el elipsoide a lo largo de una perpendicular desde la superficie del elipsoide al punto P se llama "Altura Elipsoidal de P".

### Altura ortométrica.

La altura sobre el geoide medida a lo largo de la línea de plomada a través de P, se llama "Altura sobre el geoide o altura ortométrica".

Esta altura, es también conocida como "Altura sobre el nivel medio del mar".

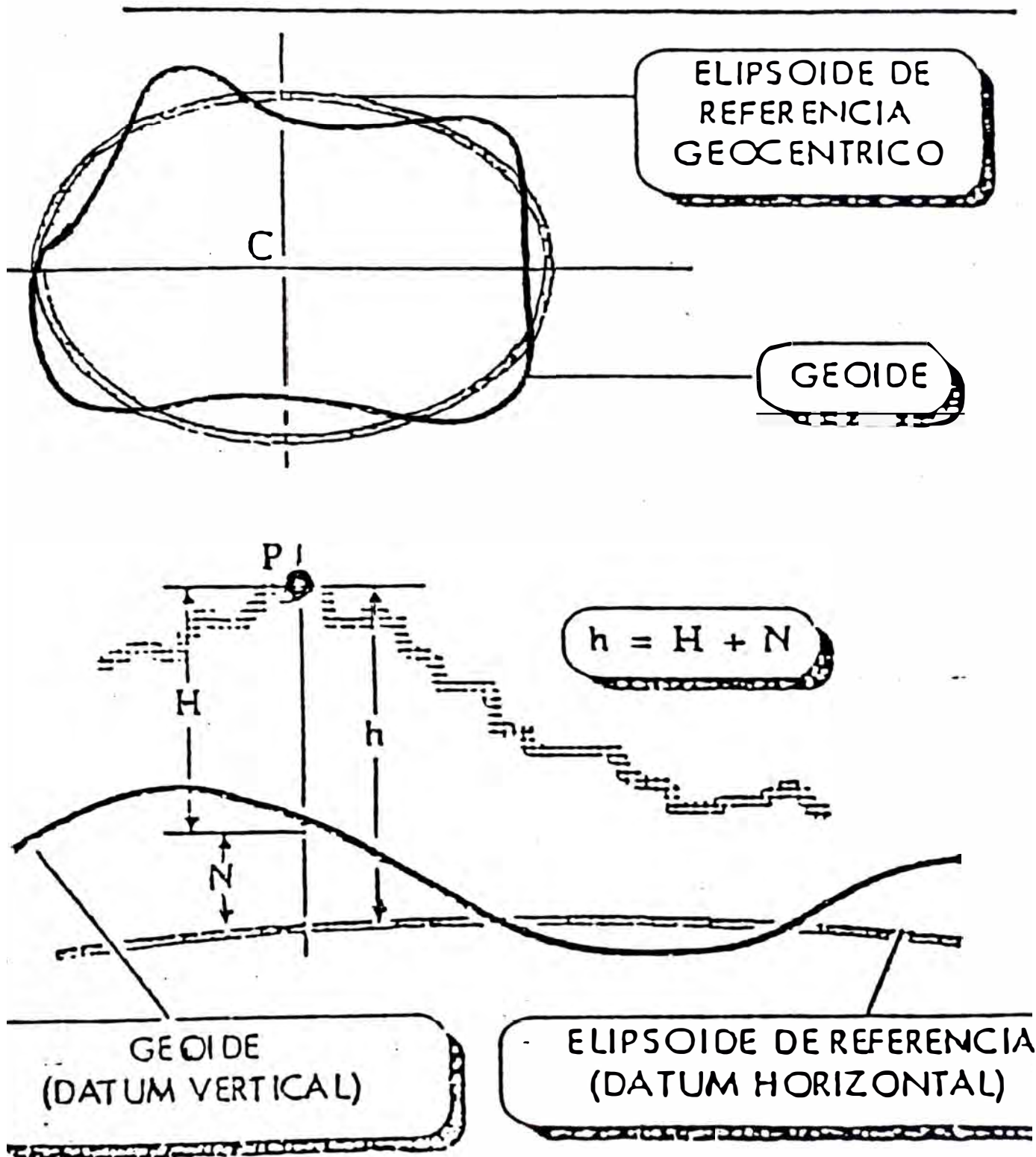
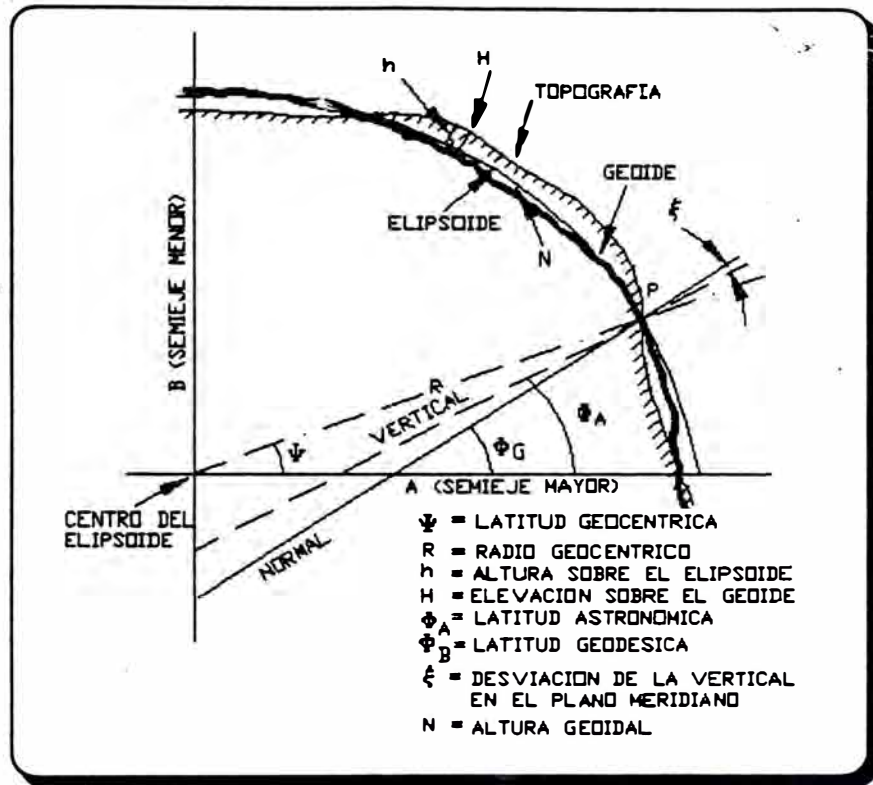
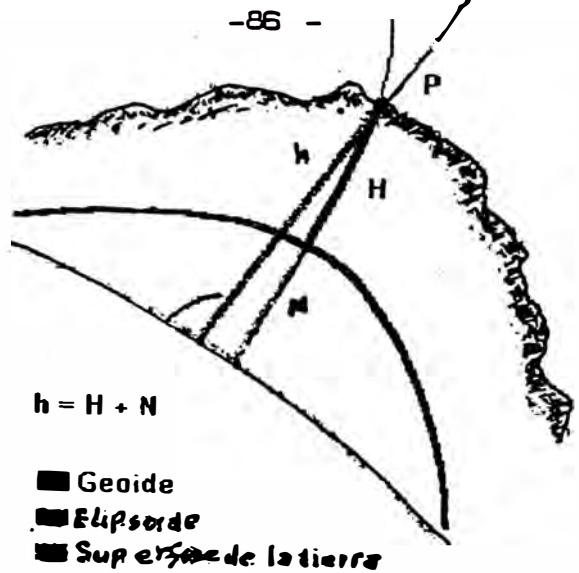


FIG. 55

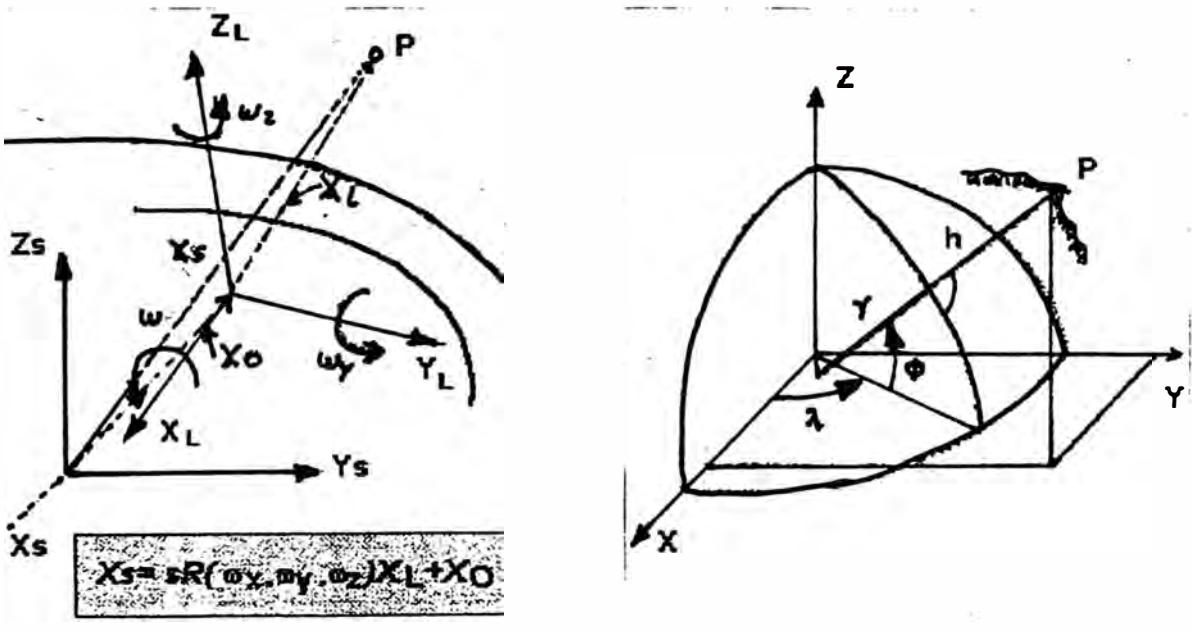


RELACION ENTRE SUPERFICIES GEODESICAS



**Coordenadas elipsoidales**

Un sistema de coordenadas tridimensional no es muy ilustrativo para mostrar la ubicación de un punto sobre la superficie de la tierra.  
 Un sistema mas natural y comunmente usado consiste en ubicar un punto por su longitud, latitud y altura.  
 Las coordenadas de los puntos resultantes de las mediciones con GPS son obtenidas en un sistema geocentrico elipsoidal, llamado WGS84.



**Transformación de Coordenadas**

Las coordenadas medidas con GPS están en el datum de los satelites.  
 Para poder comparar dichas coordenadas con mediciones anteriores es necesario hacer una TRANSFORMACION DE DATUM.  
 Para realizar esta transformación es necesario calcular :  
 "Origen del elipsoide local, respecto al origen del WGS84 (3 traslaciones).  
 \* Las rotaciones, para colocar paralelos los ejes de ambos elipsoides.  
 \* El factor de escala.

### 2.1.8.-APLICACIONES

Las aplicaciones que presenta el sistema GPS son variadas y se podrian dividir en los siguientes grupos

- Levantamientos topográficos
- Geodesia
  - Determinacion de puntos de apoyo
- Tectónica
- Control de estructuras
- Ingenieria Civil
- Levantamiento de detalles
- Levantamiento de fincas
- Inventario de autopistas
- Exploraciones de yacimientos
- Oleoductos
  
- Determinación de coordenadas para usos de tipo :

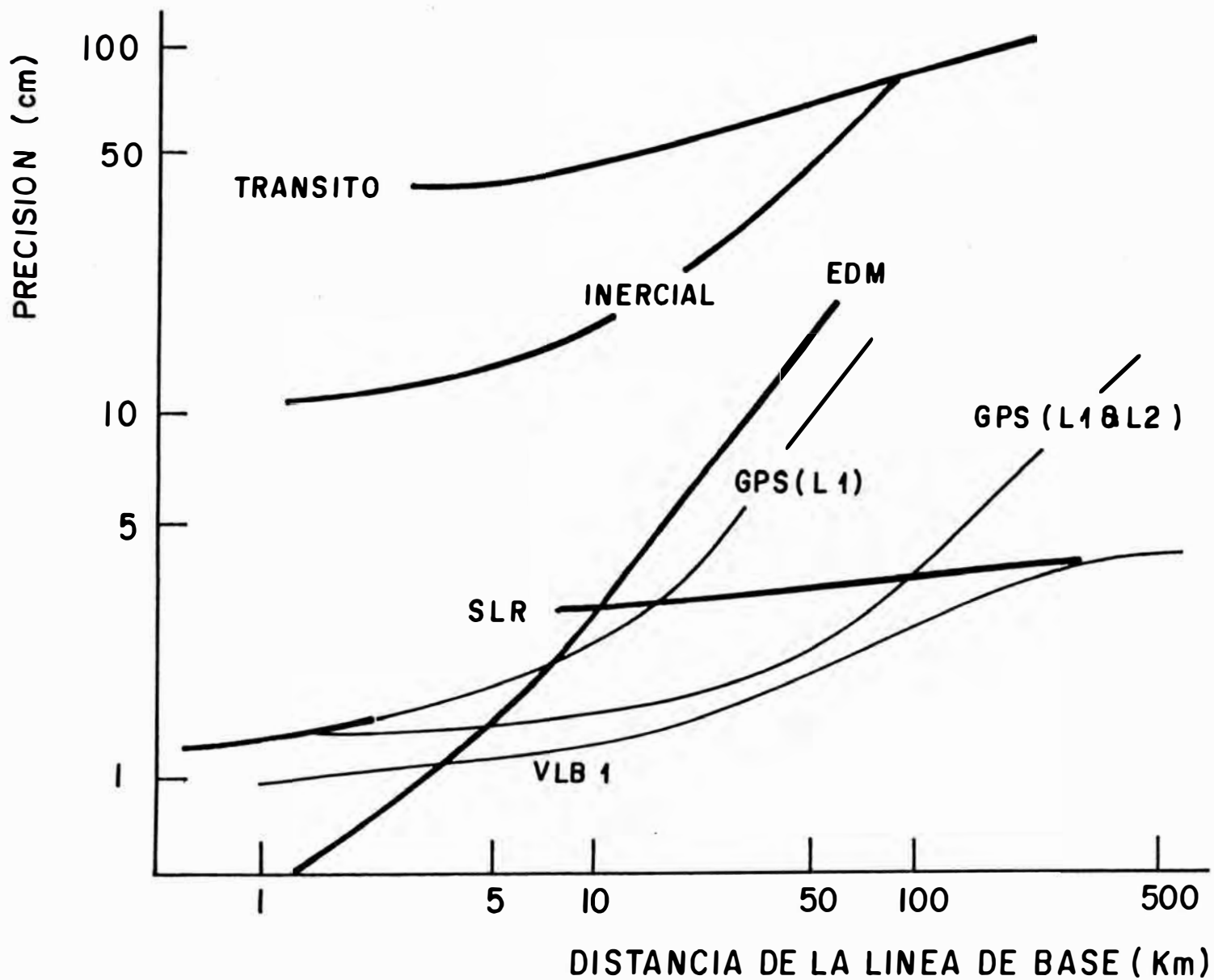
- Geológico
- . Geofísico
- Topográfico
- Forestal
- Maritimos
- Sistemas de Información Geográfica
- Navegaciones de Rumbo a Destino
- . Apoyo a acciones de tipo Bélico
- . Apoyo a patrullas de rescata

### 2.1.9.-GPS Y OTROS SISTEMAS

En los últimos 20 años el posicionamiento geodésico ha venido aumentando precisiones, rendimientos de distintas técnicas y procedimientos, debido al desarrollo de los llamados Sistemas de Instrumentación Extraterrestre. Estos sistemas corresponden a una configuración tal que permita la determinación de posiciones en o cerca de la superficie de la tierra y en donde se utiliza la Radiación Electromagnética emitida o reflejada a un objeto en órbita o alrededor de la tierra. Bajo este concepto el primer metodo desarrollado es el de la ASTRONOMIA DE POSICIONAMIENTO.

Todos los otros sistemas se crearon a partir de 1957, de estos podemos mencionar :TRANSIT, ARGOS, GPS, SISTEMA DE RADIO POSICIONAMIENTO, MEDICIONES LASER, INTERFEROMETRIA DE BASE MUY LARGA (VLBI), etc *F16. 59*

En el siguiente cuadro se realiza una comparación de las diversas técnicas referida a la distancia medida entre dos estaciones (línea base).



**Fig .59 NUEVAS TECNOLOGIAS: PRECISION VS. DISTANCIA**



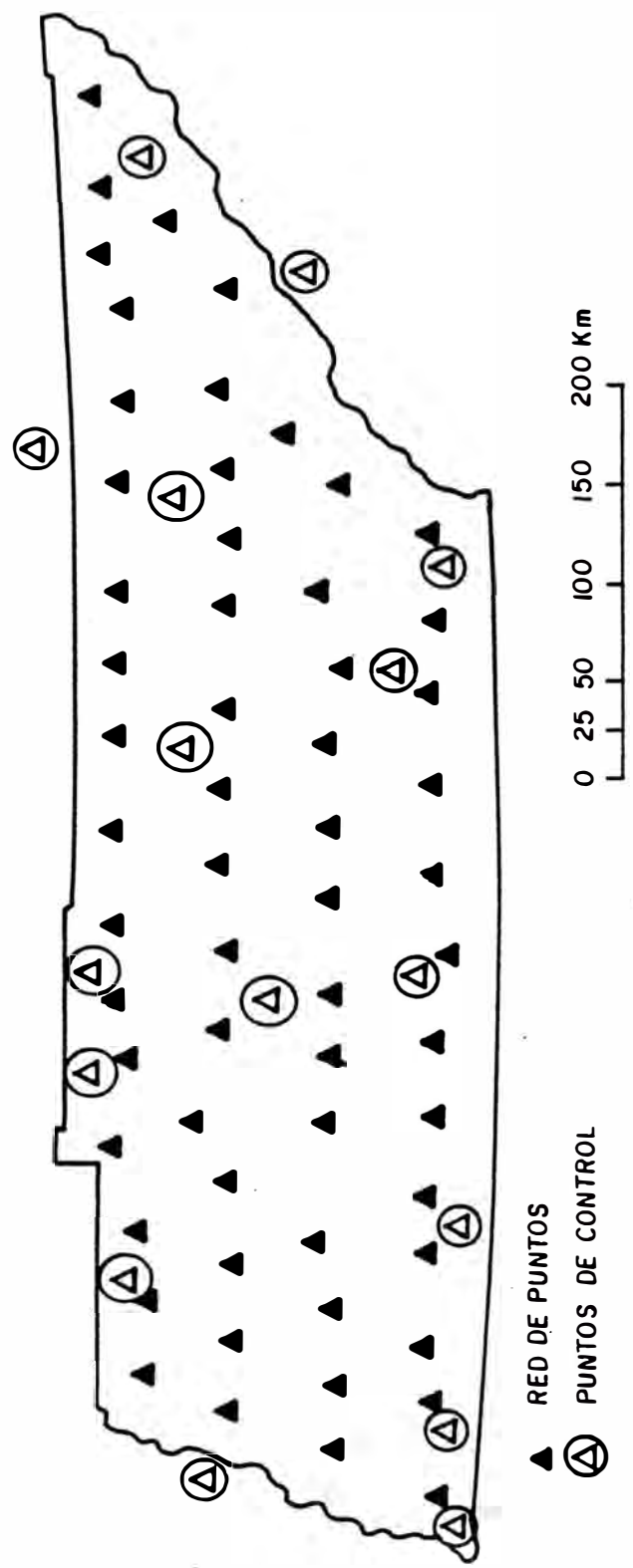


Fig. 60 RED DE REFERENCIA DEL SISTEMA GEODETIC TENNESSEE

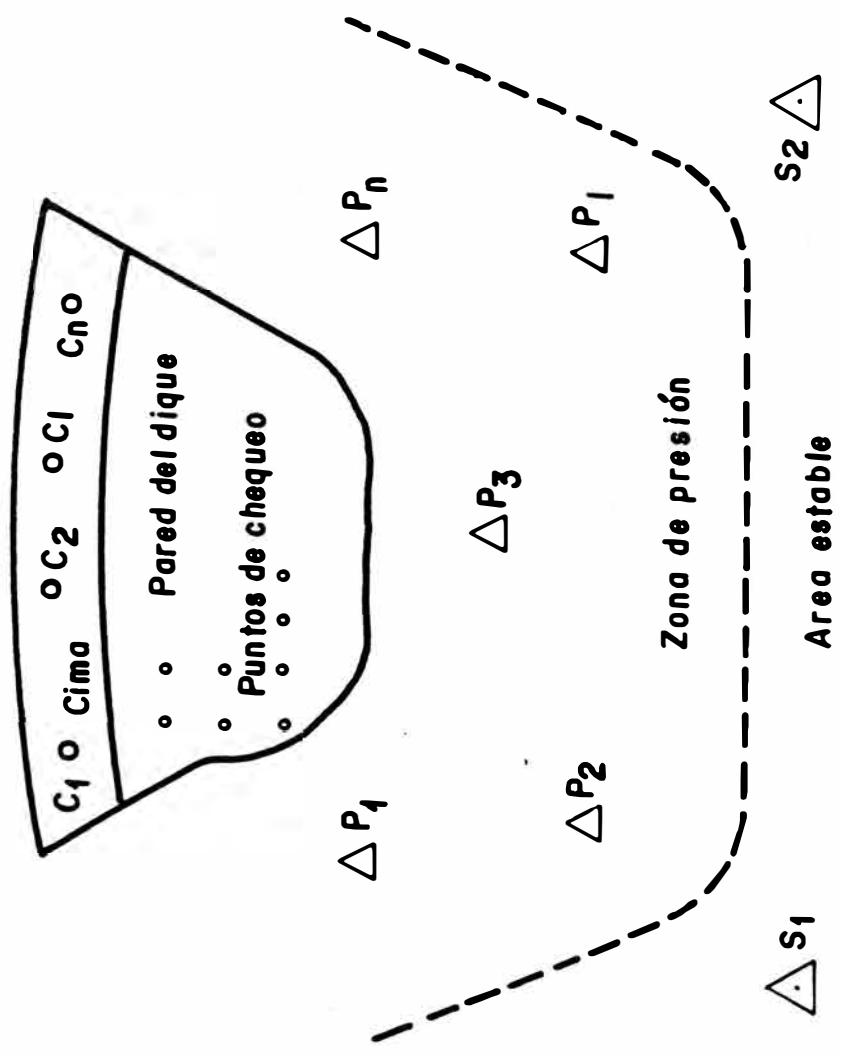


Fig. 61 CONTROL DE DIQUE CON GPS

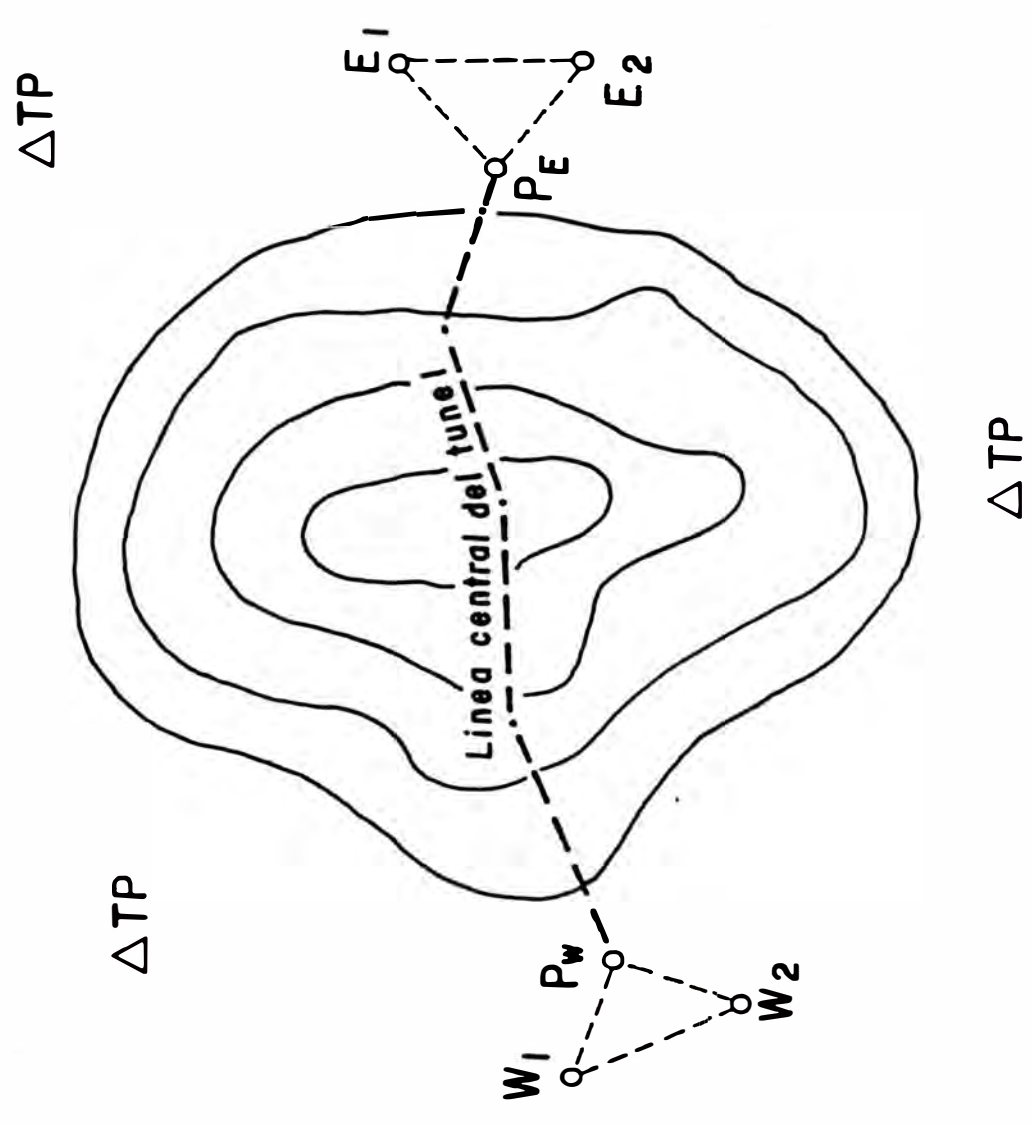


Fig. 62 GENERACION DE RED DE TRABAJO DE UN TUNEL CON GPS

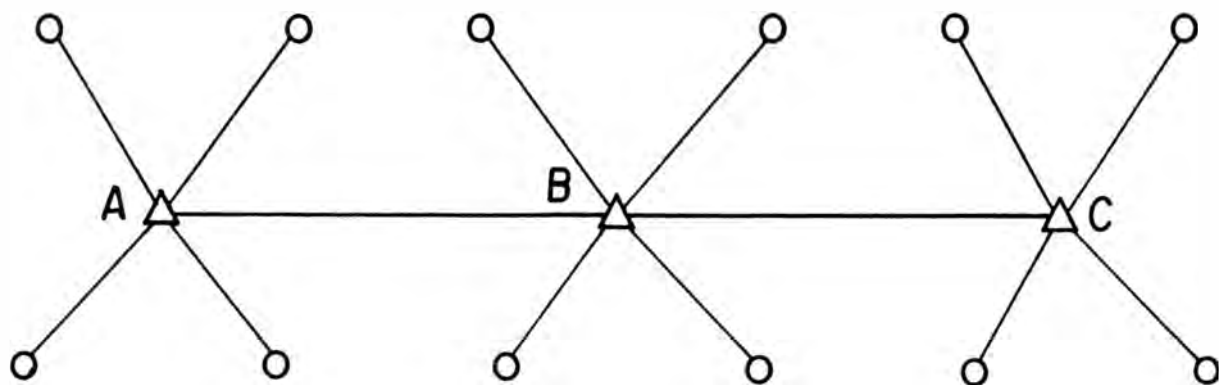


Fig.63 OBSERVACION DE LINEA DE BASE CON DOS RECEPTORES

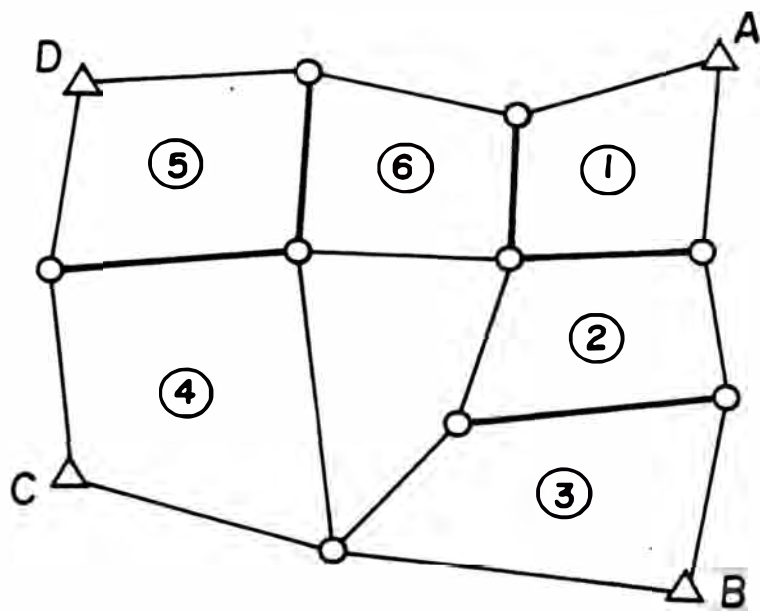


Fig.64 RED DE TRABAJO GPS

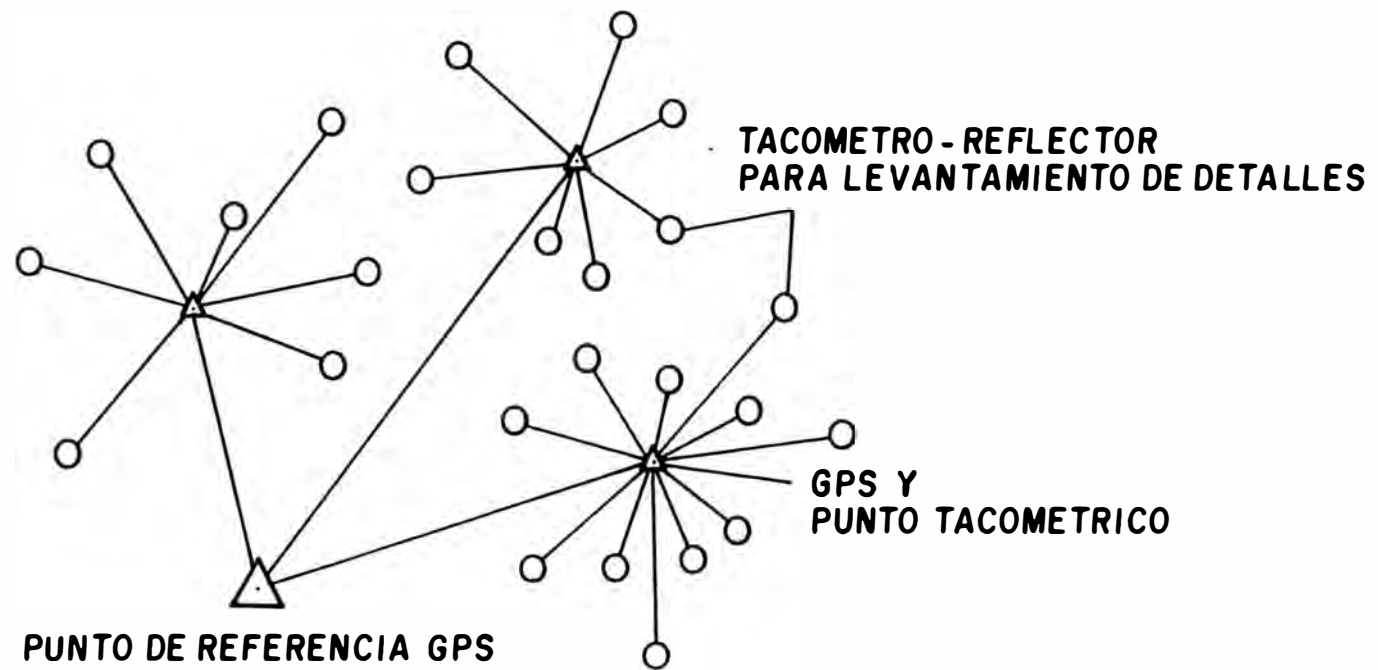


Fig. 66 COMBINACION DE GPS CON UN TACOMETRO ELECTRONICO

#### 2.1.10.-CUALIDADES Y BENEFICIOS DE LAS MEDICIONES CON GPS

- a) No es necesario la intervisibilidad entre los puntos a medir
- b) El sistema opera en forma totalmente ajena a las condiciones climáticas.
- c) Las condiciones topográficas no afectan.
- d) Los equipos son de fácil operación, por cuanto no necesitan ser programados para el rastreo de los satélites, ni requieren de una posición inicial para comenzar la medición.
- e) El procesamiento de los datos se realiza en forma totalmente automática
- f) Si se compara con cualquiera de los métodos convencionales se aprecia la efectividad, eficiencia y economía del sistema.

#### 2.1.11.-FUTURO DEL SISTEMA GPS

Con la intervención del sistema GPS, se ha ingresado a la era del posicionamiento preciso, próximamente disponible las 24 horas del día para cualquier posición de la tierra. Dicho sistema no es el único concebido con tales fines ya que la Unión Soviética ha desarrollado una configuración similar al sistema americano, el que se denomina GLONASS, cuyas características son similares a GPS en cuanto a cobertura, procedimiento y precisiones.

Actualmente se encuentra en carácter de experimentación la integración de ambos sistemas, creando receptores capaces de recibir las señales que emiten los satélites americanos y rusos a la vez, con lo que aumentaría la disponibilidad de 4 a 8 vehículos espaciales como mínimo para cualquier parte del globo.

Otro aspecto importante de destacar es la inclusión del sistema no solo a usos geodésicos o militares, sino a la vida cotidiana, ya que existe el receptor portátil que opera con baterías de 1.5 v., y cuyo tamaño es similar al de un teléfono celular. Esta miniaturización de los equipos ha permitido incorporarlo en automóviles, vehículos de emergencia, flotas de camiones, buses, taxis, vehículos policiales, etc. y en un futuro cercano en relojes de pulsera que entreguen la posición del usuario.

Además el sistema en sí tiene proyectada una renovación del material espacial una vez que haya transcurrido cierta cantidad de años, en donde se pondrán en órbita satélites más poderosos con relojes aún más precisos, que emitan señales que sufran una menor alteración. En donde además se transmita otro tipo de información, todo para optimizar cada vez más el sistema.

## CAPITULO III

### 3.1 ESTACIONES TOTALES GPS EN TIEMPO REAL

#### 3.1.1. INTRODUCCION

Forcemos nuestra imaginación para trabajos topográficos, levantamientos puntuales, replanteo y tareas de apoyo, los topógrafos han tenido siempre que convivir con una serie de limitaciones logisticas. muchas de las cuales han sido creadas por los propios instrumentos que usan. Lo que es más, estas limitaciones se han transformado en un modo tan aceptado de vida que es difícil concebir la topografía de otro modo. Tenemos un ejemplo siempre: un topógrafo tiene que apuntar su instrumento, digamos una estación total tradicional, a un blanco para conseguir una posición exacta.

Imaginemos por un instante que no tuviera que realizar el ejercicio de la puntería.....¿ Cuánto más rápido podría realizar el trabajo?

Consideremos otra limitación: tener que ver el blanco, o si el operador esta en el blanco, tener que ver la estación ¿ Qué pasaría si pudiéramos trabajar sin esa limitación ?. Entonces podríamos realizar los trabajos topográficos por encima de los cerros y alrededor de los edificios, incluso con niebla y polvo. ¿Cuántas etapas podría ahorrarse? Imaginemos además que el portamiras pudiera saber exactamente lo que tiene que hacer a continuación sin tener que comunicarse con ninguna otra persona en la estación. Es más, no se necesitaría absolutamente a nadie en la estación, entonces más rápido podría la cuadrilla topográfica terminar el trabajo. No está limitado a un radio de operación de 2.5 Km. por cada estación como los equipos convencionales si no que puede operar con un radio de 10 Km. de alcance efectivamente se ahorrara muchas estaciones. en lugar de dar servicio a un portamiras cada vez, también puede atender una sola estación a un número ilimitado de topógrafos moviéndose por el asentamiento, todos al mismo tiempo.

Para este tipo de trabajo la estación base ocupa las redes de puntos de apoyo o control suplementario determinados con GPS Geodésicos referidos a un punto Geodésico de primer orden del IGN.

La técnica GPS en tiempo real resulta particularmente atractiva en aplicaciones donde se han de medir y replantear cientos o miles de puntos en áreas relativamente pequeñas y abiertas teniendo en cuenta que el operador puede desplazarse rápidamente con la estación móvil de un punto a otro, como un geodesta con un bastón de reflector, la técnica GPS en tiempo real se manifiesta muy útil en muchas de las tareas que normalmente se efectúan con estaciones totales.



### 3.1.2 FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES TOTALES

Las Estaciones Totales GPS están basadas en tecnologías de punta: el GPS y la transmisión de datos. Hasta hace poco, sólo se podía obtener precisión centimétrica recogiendo datos suficientes de los satélites en dos o más receptores, y analizando dichos datos; posteriormente en una computadora, con postprocesamiento mediante una lógica adecuada. Esta técnica ha sido empleada normalmente en tareas de apoyo fotogramétrico y trabajos geodésicos y es una práctica normalizada para la solución de vectores topográficos o líneas de longitud media y alta.

Para eliminar la etapa de postprocesamiento y proporcionar coordenadas con precisión centimétrica en tiempo real (esto es, mientras se ocupa el punto), se ha añadido un sistema de transmisión de datos y se han incorporado potentes y sofisticados algoritmos de cálculo en el receptor. Ahora, con el empleo de un radioenlace para la transmisión de datos, la estación base transmite datos GPS de fase al receptor móvil. Este procesa los datos recibidos de la estación de referencia conjuntamente con las señales que recibe procedentes de los satélites, para producir en tiempo real, coordenadas topográficas con precisión centimétrica. Este proceso es idéntico con los receptores GPS que siguen una o dos frecuencias.

### 3.1.3 FIABILIDAD Y PRECISION

A diferencia de las estaciones totales tradicionales, las Estaciones Totales GPS no tienen frágiles sistemas ópticos; por lo tanto, son menos percederas y no están sujetas a errores por falta de calibración. Cada receptor GPS, montado sobre un tripode o transportado en una mochila, acepta y procesa los datos brutos que recibe de múltiples satélites GPS y cada receptor portátil muestra, registra las posiciones y realiza numerosas y valiosas funciones topográficas.

Al evitar los errores de alineación y puntería, las Estaciones Totales GPS permiten obtener consistentemente precisiones de un centímetro.

El topógrafo se siente más seguro con su trabajo de campo porque la precisión de la Estación Total GPS es similar a la precisión que se consigue en los trabajos de apoyo. Las posiciones son casi siempre sobre determinadas y la asignación de atributos la hace el propio operador cuando ocupa el punto, facilitando de este modo las comprobaciones.

Con capacidad de leer el código C/A y la fase de doble frecuencia, proporciona ganancias significativas en la productividad y precisión, ambas necesarias para operaciones geodésicas y de apoyo sobre base líneas largas permite conseguir precisiones superiores a 1 ppm.

Cuando se usa una Estación Total GPS, no tiene que apuntar a un blanco. Eliminando este condicionante y fuente de error, se puede aumentar la precisión y la productividad.

#### 3.1.4.- ESTACION DE REFERENCIA O BASE Y LAS SEÑALES DE RADIO TRASMITIDAS.

El receptor GPS y radio enlace constituye el núcleo central para transmisión omnidireccional de datos de fase GPS relativos a un punto conocido. Una vez puesta en marcha, no requiere vigilancia. Utilizando la misma estación base, cualquier número de operadores móviles pueden estar realizando operaciones de replanteo simultáneamente dentro de un radio de 10 Km. desde la base, más de 15 veces la zona que cubre una estación total tradicional, reduciendo por lo tanto el número de veces que hay que hacer estación en cada apoyo.

Las Estaciones Totales GPS funcionan dentro del espectro de la radio, permitiendo que las señales penetren la niebla, la lluvia y el polvo, incluso pueden funcionar en oscuridad. En contraste, las Estaciones Totales tradicionales funcionan en la parte visible e infrarrojo del espectro y por tanto, requieren para funcionar una intervisibilidad sin obstáculos. Una Estación Base puede dar servicio a muchas unidades móviles.

Los repetidores extienden el alcance del sistema y vuelven a transmitir los datos de fase por encima o alrededor de los obstáculos, cerros o grandes edificios. La cobertura radio se puede extender empleando repetidores múltiples y los repetidores móviles aseguran la cobertura radio.

La unidad móvil mezcla los datos de fase transmitidos por la Estación Base con las señales procedentes de los satélites para establecer coordenadas de punto incógnita con precisión centimétrica. Las coordenadas se muestran en la pantalla después de ocupar el punto durante solamente unos segundos.

#### 3.1.5.- BENEFICIOS DE LAS ESTACIONES TOTALES

Las Estaciones Totales GPS se puede montar en vehículos para tomar datos continuamente en levantamientos topográficos o altimétricos. Un topógrafo puede recorrer a pie un lindero y hacer su levantamiento durante el recorrido.

Durante el trabajo, se puede localizar puntos que estén enterrados ni ocultos por árboles, maleza o nieve ya que la Estación Total GPS ofrece al operador datos gráficos y continuos de navegación hasta el

mismo punto de interés.

No tienen delicados elementos ópticos ni mecanismos de alineación que puedan fallar o romperse, o que necesiten ajuste o sustitución. Pueden ser usados por los operadores con menos experiencia, mientras que los más experimentados quedan libres para tareas más críticas. Permite el posicionamiento dinámico con precisión centimétrica, abriendo avenidas totalmente nuevas a los diferentes trabajos topográficos, por ejemplo, obtener el perfil de una carretera sin más que recorrerla con un vehículo.

Se puede medir distancias mayores que los instrumentos convencionales, lo que facilita la tarea de traer un punto de referencia al nuevo asentamiento.

### 3.1.6. -- AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD

Las Estaciones Totales GPS proporcionan grandes beneficios en proyectos en los que la intervisibilidad es un problema, tales como terrenos ondulados, grandes montañas de material, grandes equipos, maquinarias, problemas con polvo, viento, etc. Cuando puede estar trabajando simultáneamente más de un operador, las Estaciones Totales GPS proporcionan importantes ahorros en los costos, porque una sola unidad de referencia puede dar servicio a varias unidades móviles.

En levantamientos topográficos o en adquisiciones de datos altimétricos en los que se puedan emplear vehículos en todo terreno, los trabajos se pueden terminar en una sola fracción de tiempo. Del mismo modo, los proyectos topográficos que llevan consigo la localización de puntos ocultos son ideales para las Estaciones Totales GPS, así como aquellos que se realizan sobre extensas zonas de terreno, especialmente cuando se emplean repetidores de radio. Aquellos proyectos que requieren trabajar durante la noche o con tiempo inclemente son candidatos excelentes.

Por tanto las Estaciones Totales GPS aumentan la productividad del 100% o superior, sobre los métodos tradicionales de muy diversas maneras, tanto en las operaciones de replanteo, levantamiento topográfico de detalle, etc. Por supuesto, como cualquier otra tecnología topográfica, la ganancia específica en productividad que pueda obtener será en función de la logística de su proyecto en particular.

### 3.1.7. -- COMO SE TRABAJA CON ESTACION TOTAL GPS EN TIEMPO REAL

Comenzar un trabajo topográfico con una Estación Total GPS es similar a empezar con equipo tradicional. Se inicia el trabajo con el colector de datos. Se eligen las unidades y el sistema de coordenadas con que se desea trabajar.

Arrancar el receptor base es tan fácil como identificar un punto e introducir sus coordenadas. Se puede usar un tripode GPS de altura fija para eliminar los errores potenciales debido a la altura de la antena. Con ello se consigue que la operación de poner el instrumento en estación sea una operación virtualmente a prueba de errores. En operaciones de construcción, el receptor base se puede estacionar permanentemente en la oficina pues no requiere atención adicional.

La etapa final necesaria para iniciar un trabajo topográfico es inicializar los receptores de doble frecuencia la inicialización se puede efectuar en cualquier punto. El empleo de un punto conocido proporciona también una comprobación independiente en el sentido de que el receptor base ha sido puesto en estación correctamente.

Una vez que el equipo ha sido inicializado, se puede visitar un tercer punto como comprobación. De acuerdo con una buena práctica topográfica, la relación entre estos puntos debe ser comprobada. La función inversa incorporada en el colector de datos realiza automáticamente los cálculos de cualquier proyección y muestra al operador distancias geométricas y reducidas.

Puede ser usadas por un solo operador en aplicaciones topográficas clásicas, ya sean levantamientos o toma de datos puntuales. Los miembros de la cuadrilla topográfica pueden aprender rápidamente el manejo del colector de datos, pues funciona de una manera similar a los colectores que se usan con instrumentos topográficos tradicionales.

Las Estaciones Totales son muy eficientes en el replanteo y para comprobar la planificación en una construcción. Las coordenadas se muestran en el colector en cuestión de segundos, y se pueden almacenar en la memoria con solo apretar una tecla. En trabajos a pie de obra, un único operador puede medir el perímetro de un terreno o propiedades, eficientemente. La precisión con que se mide cada punto se muestra en la pantalla y se guarda en la memoria. el operador puede escoger el sistema de coordenadas que desea emplear, puede ser WGS-84 o SUD-56 tanto geográficas o UTM, respectivamente, también el operador puede introducir y almacenar proyecciones de mapas y elipsoides.

Con la técnica de tiempo real, el operador realiza las medidas y obtiene los resultados en el sistema de referencia local.

Veamos en las laminas siguientes algunas aplicaciones prácticas de trabajos topográficos con Estación Total en tiempo real.

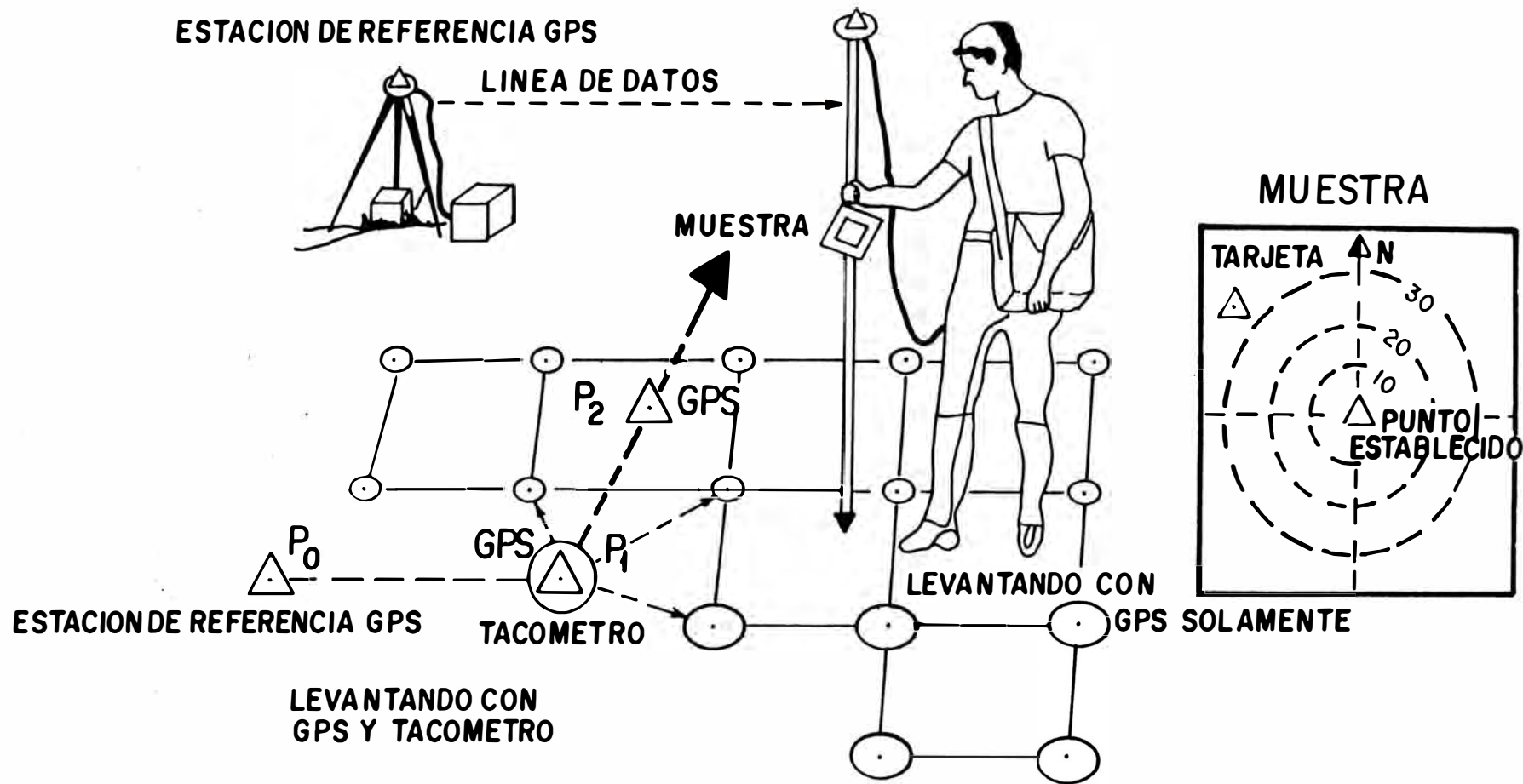
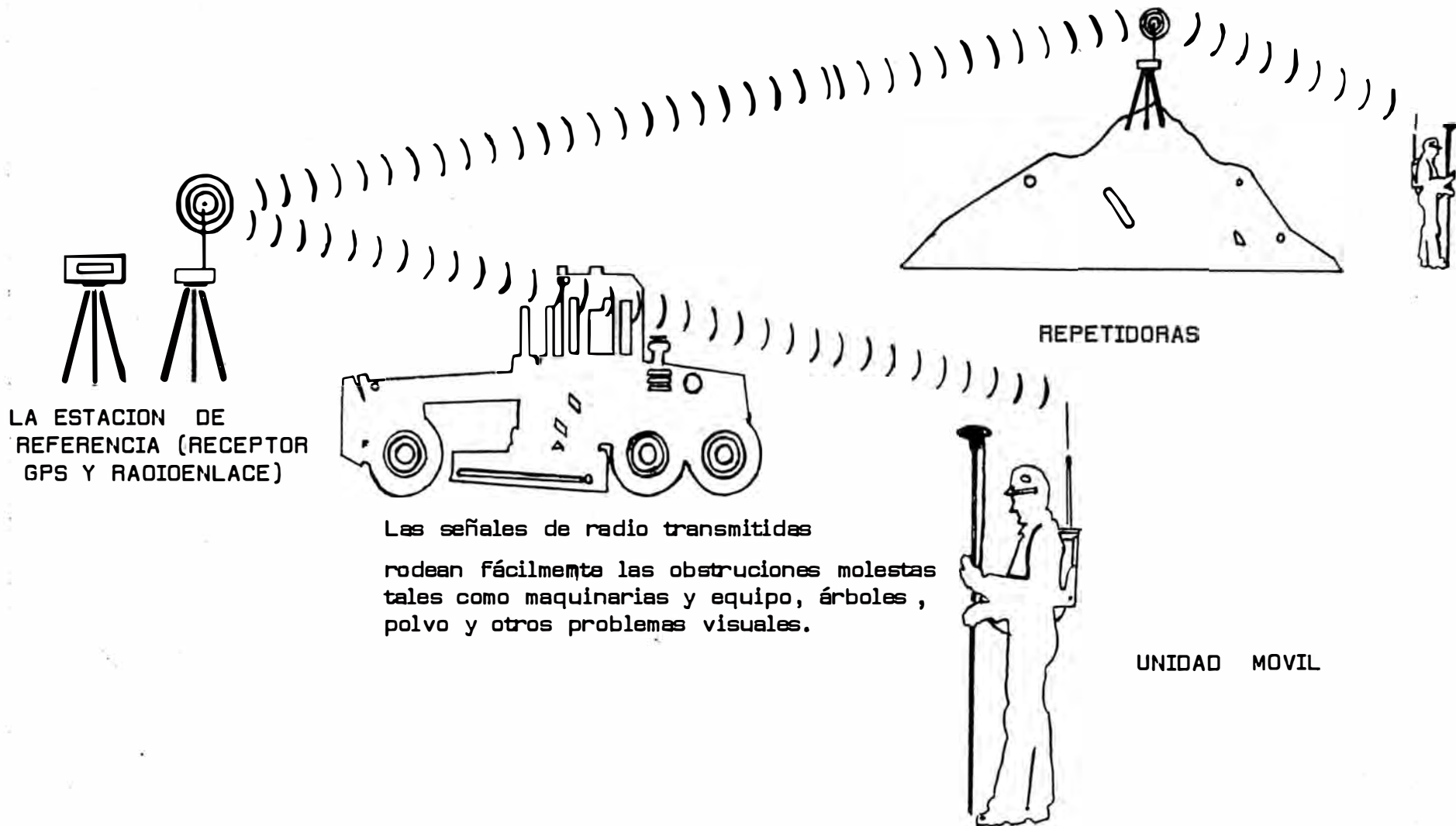
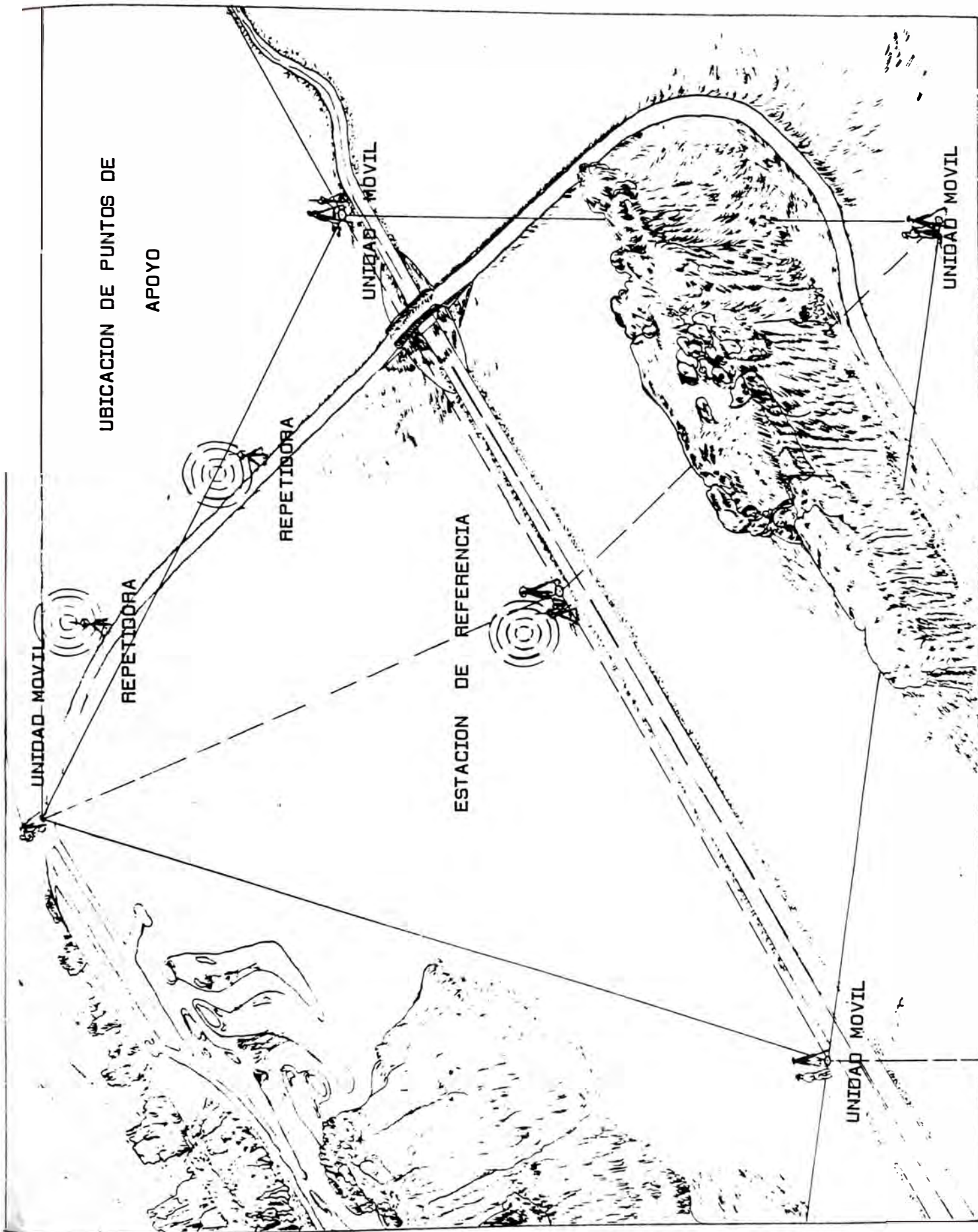


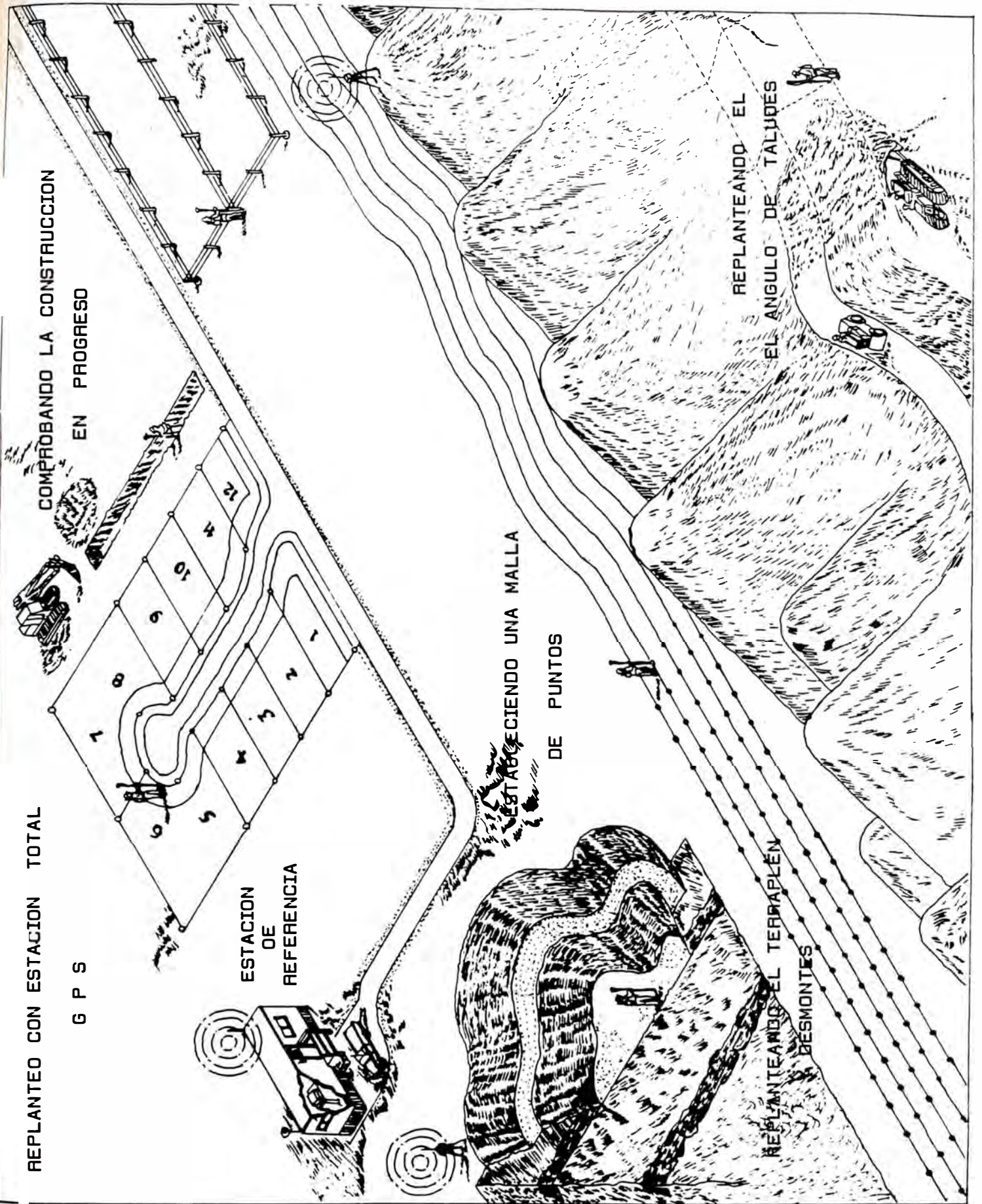
Fig. 66 USO DE GPS EN TIEMPO REAL MIDIENDO DETALLES



Las señales de radio transmitidas rodean fácilmente las obstrucciones molestas tales como maquinarias y equipo, árboles, polvo y otros problemas visuales.

COMO FUNCIONAN LAS ESTACIONES TOTALES GPS .

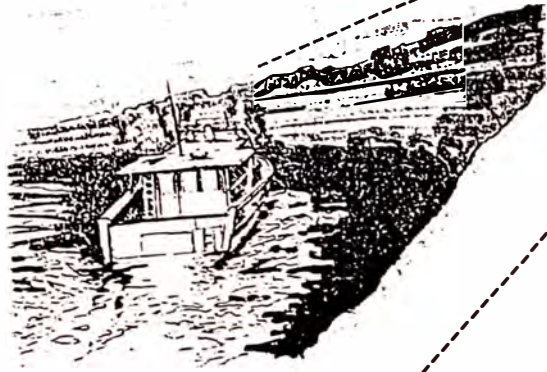




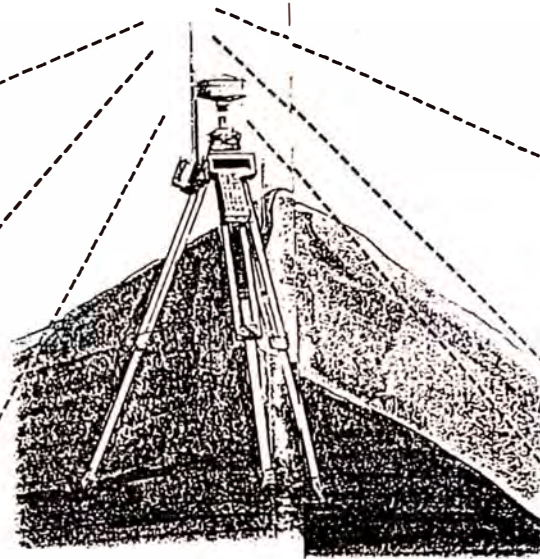


# Levantamientos GPS en tiempo real

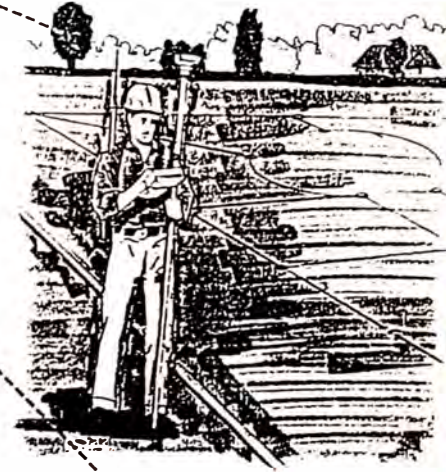
Para todas las aplicaciones



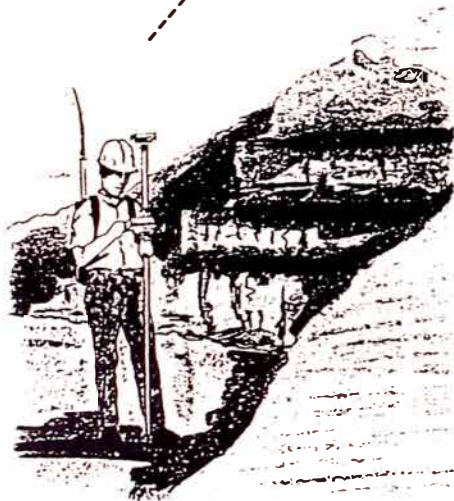
Levantamientos batimétricos en canales, lagos, ríos, puertos y estuarios. Para trabajos de dragado e ingeniería, así como la localización y el tendido de cables y tuberías.



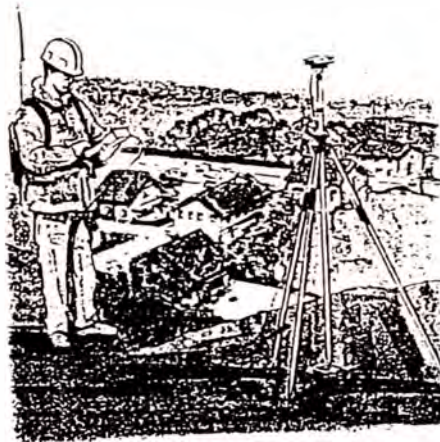
El receptor de referencia estacionado en un punto conocido transmite los datos de observación de forma continua a los receptores móviles.



Levantamiento de puntos de detalle para parcelaciones, topografía, límites, aplicaciones SIG de alta precisión.



Levantamientos topográficos para modelos digitales de terreno, determinación de terraplenes, desmontes y volúmenes. Minería, exploración, levantamientos sísmicos.



Medidas en estático rápido para levantar nuevos puntos, controlar estaciones existentes y coordinar puntos de control fotogramétricos para cartografía.



Tareas de replanteo para obras de la construcción, ingeniería civil, parcelaciones, etc. Emplazamiento de jalones. Determinación de terraplenes y desmontes. Localización de marcas cubiertas por nieve o vegetación.



Levantamientos cinemáticos para determinar la trayectoria de objetos en movimiento, plataformas y vehículos. Para el trazado de carreteras y la navegación de alta precisión.

## CAPITULO IV

### 4.1. METODOLOGIA DE TRABAJO EN CAMPO CON GPS GEODESICO-POST-PROCESO USO DE COMPUTADORA

- El metodo de medicion es estático y diferencial.
- Hay dos tipos de GPS : Individual y diferencial
- Las mediciones con el GPS individual se cometen errores entre 15 a 50 metros dependiendo de las condiciones del terreno , en quebradas cerradas puede cometerse errores hasta de 100 metros .Este tipo de mediciones no esta referido a ningún punto Geodésico ó control suplementario por lo tanto, sirven para trabajos de poca precisión a escalas 1/00,000 ó 1/200,000.

#### 4.1.1. PLANIFICACION DE LA DISPONIBILIDAD DE SATELITES

La preparacion está referida al trabajo de planeamiento de campo. El componente de diseño del levantamiento le permite mostrar todo los satélites disponibles, la hora en que aparecen y que desaparecen, su posición, y un indicador de la calidad de la geometria de los satélites para una fecha y ubicación específica, ya sea en forma gráfica o de tablas.

Ya que la cobertura del GPS es de aproximadamente 24 horas, se puede salir casi a cualquier hora y calcular una posición. Para asegurarse de sus posiciones aprovechan completamente la exactitud del GPS; pero, necesita planificar la recolección de sus datos para el momento en que la geometria del satélite y el PDOP se encuentren en la mejor ubicación, por ejemplo, el sistema Pathfinder GPS le ofrece esta actividad mediante el programa software PROPLAN. Este software le ayuda a planificar el mejor momento para recolectar datos, al darle la siguiente información

- Puntos en el firmamento que muestran los recorridos del satélite sobre cualquier ubicación específica en el mundo.
  - Número de satélites que se haran visibles en un momento determinado.
  - Azimut de cada satélite que se haga visible
  - Elevación de cada satélite visible
  - Horarios de cobertura del 2D y del 3D
  - Qué satélites se encuentran en cada constelación visible
  - El PDOP de cada constelación visible durante la hora de su mision
- Toda esta información aparece en pantalla en cartas y gráficos y pueden salvarse ya sea mediante archivos en disco o impresiones desde la pantalla.

#### 4.1.2. TOMA DE DATOS EN CAMPO

Para mayor ilustracion, toma de datos en campo, mostraremos como un ejemplo, un trabajo real de un enlace geodésico.

ESTACION BASE DE REFERENCIA O ESTACION MASTER : Base Vanguard (.Ancón)  
ESTACION MOVIL O REMOTA : Base Conchan

**EQUIPOS Y MATERIALES**

- Una computadora portatil con programas instalados para toma de datos, para hacer conversiones y cálculos de los sistemas de coordenadas.
- Un receptor GPS Master Trimble con todo sus accesorios
- Un receptor GPS Basic Remota Trimble con sus accesorios
- Un tripode para la antena del receptor
- Una bateria de carro de 12 voltios
- Una carpa, pilas alcalinas chicas, flexómetro

**PERSONAL :** Un operador para la Estación Base  
Un operador para la estación remota

**MATERIAL INFORMATIVO :** - Coordenadas geográficas Sud-56 de Base  
Conchan, proporcionado por IGN  
- Planos y carta nacional de ubicación

Antes de salir al campo, en gabinete hace los siguientes preparativos :

a)Hacer la conversión de coordenadas geográficas SUD-56 a WGS-84 con el programa Convert.

El programa Convert se utiliza de la siguiente manera :

- Opciones de menu

---

**COORDINATE CONVERSION PROGRAMS**

---

(1)CONVT-CONVERT TO AND FROM GEODETIC, GEOGRAPHIC,  
UTMLAND. LOCAL COORDINATE SYSTEMS

(2) CONVTWGS-CONVERT TO AND FROM NSWG 92-2, WGS84  
AND WGS72 COORDINATE SYSTEMS

(3) DATADAT-DATUM AHIFT PROGRAM TO ALLOW USERS TO INPUT  
DELTA X, DELTA Y, AND DELTA Z

Se escoge la opción (3)

Muestra la siguientes opciones :

01=AIRY	02=AUSTRALIAN NATIONAL
03=BESSEL	04=CLARK 1858
05=CLARK 1866	06=CLARK 1880
07=EVEREST	08=FISHER
09=1960 S.ASLA	10=FISHER 1968
11=HOUGH	12=INTERNACIONAL
13=KRASSOWSKI	14=S.AMERICAN 1969
15=WALBECK	16=WGS 1960
17=WGS 1960	18=WGS 1972
19=WGS 1984	20=USER DEFINED SPHEROID

Primero se escoge el sistema de coordenadas que se quiere obtener (coordenadas de salida) 19

Segundo el sistema de coordenadas que se va a convertir (coordenadas de entrada) 12

Luego se introduce los parámetros de conversión como sigue

```
PLEASE INPUT DELTA X IN METERS WITH DECIMAL & SIGN
- 279.00
PLEASE INPUT DELTA Y IN METERS WITH DECIMAL & SIGN
175.00
PLEASE INPUT DELTA Z IN METERS WITH DECIMAL & SIGN
-370.00
```

En seguida el programa pide : punto de identificación

```
INPUT POINT IDENTIFICATION-ENTER "O" TO STOP
PUNTO BASE VANGUARD
```

El programa pide entrada de las coordenadas geográficas

```
ENTER DEG.MIN.SEC OF LATITUDE SEPARATED BY SPACES
NOTE: INCLUDE NEGATIVE SIGN ON THE DEGREES AND ENTER SECONDS AS A
DECIMAL NUMBER
```

```
-12 05 21.78772
```

```
ENTER DEG.MIN.SEC OF LONGITUDE SEPARATED BY SPACES
NOTE:INCLUDE NEGATIVE SIGN ON THE DEGREES AND ENTER SECOND AS A
DECIMAL NUMBER
```

```
-77 01 18.69138
```

```
ENTER ELEVATION ABOVE/BELOW MSL IN METERS
```

```
175.79787
```

En seguida nos muestra el resultado siguiente

```
DATA FOR POINT PUNO GEODESICO VANGUARD
```

```
INTERNACIONAL (SUD-56)
```

```
WGS 1984
```

```
LATITUD = 12 05 21.78772
LONGITUDE = -77 01 18.69138
ELEVATION = 175.797
```

```
LATITUD = -12 05 34.22277
LONGITUDE = - 77 01 26.38223
ELEVATION = 205.793
```

b) Calcular la ondulación del geode y con esto la altura elipsoidal (HAE). Para calcular el geode se utiliza un utilitario del programa TNL, el cual calcula la ondulación del punto de control Geodesico (Estación Base) en función de las coordenadas del sistema WGS-84. En el Perú se resta la ondulación alelipoide para

obtener el geode.

Datos de Base Vanguard - SUD-56 proporcionado por el IGN  
WGS-84 calculado en gabinete

SUD-56	WGS-84
Latitud : -12° 05' 21.78772" S	-12° 05' 34.22277" S
Longitud : -77° 01' 18.69138" W	-77° 01' 26.38223" W
MSL : 175.797 Mt. (altura geoidal)	Ond. : 28.106 Mt. (altura elipsoidal)

c) Chequear y alistar los equipos; que este en perfecto estado

Coordinar la hora precisa del inicio de toma de datos tanto en la estación base y la estación móvil en forma simultanea.

**d) TOMA DE DATOS EN CAMPO**

El operador de la Estación Master debe de estar 45 minutos antes en la base o punto de referencia, para instalar, configurar y hacer la prueba respectiva del funcionamiento correcto del equipo GPS.

Haciendo uso de una PC portátil se recibe las señales GPS de la Estación Base.

e) Configuración del equipo GPS antes de iniciar la toma de datos.

Se ingresa al programa pfcbs, donde aparecen los siguientes menus y submenus respectivamente, en la pantalla de la PC

FILE	OPTIONS	REIVER SETUP	HELP	QUIT
<b>Output File Path</b>	<b>Logging Rates</b>	<b>Set Operating Parameters</b>		
<b>Auto Log Setup</b>	<b>Display Format</b>	<b>Set GPS Receiver Mode</b>		
<b>Auto Exit Schedule</b>	<b>Reference Position</b>	<b>Set Test Parameters</b>		
	<b>Serial Port</b>			
	<b>File Options</b>			
	<b>Local Time Offset</b>			

En cada submenu se configura lo siguiente :

**Output File Path** : Se crea el subdirectorio (cualquier nombre)

**Auto Log Setup** : Aqui se escoge el dia en que va tomar lectura GPS  
La hora de inicio de lectura de datos GPS  
El tiempo de duracion de toma de datos, puede ser 40,60 minutos o mas depende del tipo de trabajo y la precision requerida. Por ultimo, la hora de finalizacion de toma de datos.

**Auto Exit Schedule** : Se escoge la hora de término de toma de lectura (salida automatica)

<b>Logging Rates</b>	Se escoge el intervalo de tiempo de toma de datos en segundos (en nuestro caso fue cada 10 segundos)
<b>Display Format</b>	En que sistema de unidades GPS será la toma de datos (sistema DEG.MIN.Sec.XXX)
<b>Reference Position</b>	Aquí se introduce las coordenadas geográficas WGS 84 y la altura elipsoidal + altura del tripode (en nuestro caso es 1.80 mts.)
<b>Serial Port</b>	Se escoge puertos 1 ó 2
<b>File Options</b>	Se configura número de horas de toma de lectura GPS y se pone una letra para el primer carácter del archivo para facilidad de identificación de los archivos base, puede ser la primera letra del nombre del lugar (PO20119A.COR).
<b>Local Time Offset</b>	: Se ingresa la hora local, como la diferencia con la hora universal para Sud-América es 5 horas (en nuestro caso , 14 horas + 5 horas = 19 horas, hora local)
<b>Set Operating</b>	: Se escoge lo siguiente : -Método de toma de datos <u>dinámico</u> o estático (en nuestro caso método estático)

- El medio donde se va a tomar datos tierra, mar o aire (en nuestro caso en tierra)
- Angulo de elevación o máscara del receptor según obstáculos alrededor de los puntos a ubicar (en nuestro caso 10°)
- pdop swich = 8

**Set GPS Receiver Mode** : GPS 2D/3D -modo automático o mecánico

concluido la configuración se hace la prueba respectiva y en la hora programada comienza a tomar lectura la estación master.

El operador en la Estación Remota o Móvil debe de estar media hora antes en el punto a ubicarse. La configuración del equipo GPS es semejante que de la Estación Master, con la diferencia que no se introduce las coordenadas geográficas ni la altura elipsoidal.

Luego de configurar y hacer la prueba respectiva del equipo GPS se inicia la toma de datos en forma simultánea en ambas estaciones, durante la programada. Durante la toma de datos, en el Sistema de coordenadas WGS-84 en la pantalla de la PC nos muestra las coordenadas geográficas, la altura elipsoidal, el PDOP, el numero de satélites visibles, los cuatro satelites escogidos y otras informaciones del sistema GPS. Como está configurado la hora de la finalización de la toma de datos, la computadora graba los datos tomados en un archivo creado automáticamente, y sale con un mensaje en la pantalla de la computadora "salida automática con éxito"

Se apaga el equipo y se recoge para trasladarse a la oficina.

En la oficina se hace la transferencia los datos tomados con el receptor móvil a la PC empleando el programa PFINDER (en nuestro caso)

#### 4.1.3.- REPORTE DE POSTPROCESO DEL GPS

##### 4.1.3.1.- PROCESANDO ARCHIVO DE DATOS TOMADOS EN CAMPO

La calidad de procesamiento que se requiere después de la recolección de datos de campo varía con su aplicación dependiendo el grado de precisión que se requiera. Siempre se hace una copia de protección de seguridad del archivo después de haberlos cargado en PFINDER

Las funciones principales de procesamiento disponible en PFINDER son:

- Corrección diferencial
- Exhibición de los datos en mapas
- Exhibición de los datos en archivos de textos
- Determinar la ubicación de las posiciones y características de punto
- Determinar la ubicación área y la longitud de las características de área y línea
- Convertir el archivo de datos en formato GIS compatible
- Borrar record no deseados
- Filtrar posiciones, características y tipos de records para ajustar el archivo
- Cambiar la altitud de las posiciones 2D
- Cambiar los archivos de un formato a otro

El procedimiento que se recomienda es el de realizar los siguientes pasos en el orden que se presenta a continuación:

- 1.- Transferir los datos a la PC
- 2.- Hacer copias de seguridad de los datos
- 3.- Corregir diferencialmente los datos
- 4.- Salida del producto o resultados e imprimirlo

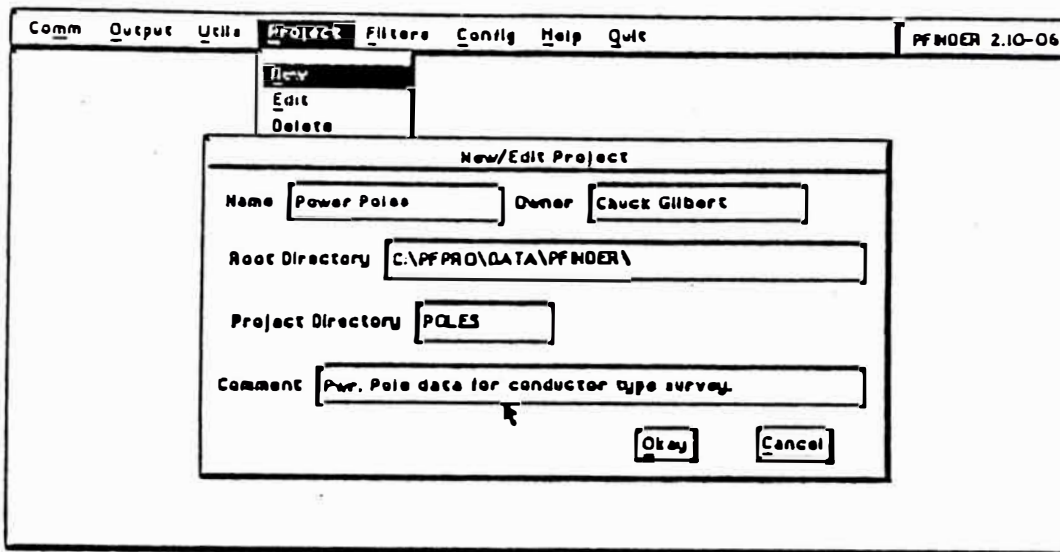
**Los programas Utilitarios.-** Se puede tener acceso a casi toda las funciones disponibles en el programa PFINDER. Si embargo hay muchos programas incluidos en este software. Existen muchos aspectos del procesamiento de datos que son comunes a todos los archivos de datos.

El procesamiento análisis de los datos tendrá mayor éxito si se sigue los siguientes pasos en el orden indicado:

- 1.- Definir el proyecto actual para que los datos sean transferidos a la PC.
- 2.- Transferir los datos del receptor móvil a la PC
- 3.- Hacer las copias de seguridad de sus datos
- 4.- Establecer la posición de referencia del archivo base
- 5.- Corregir diferencialmente los datos
- 6.- Continuar con el procesamiento de datos

#### **Creando un Nuevo Proyecto**

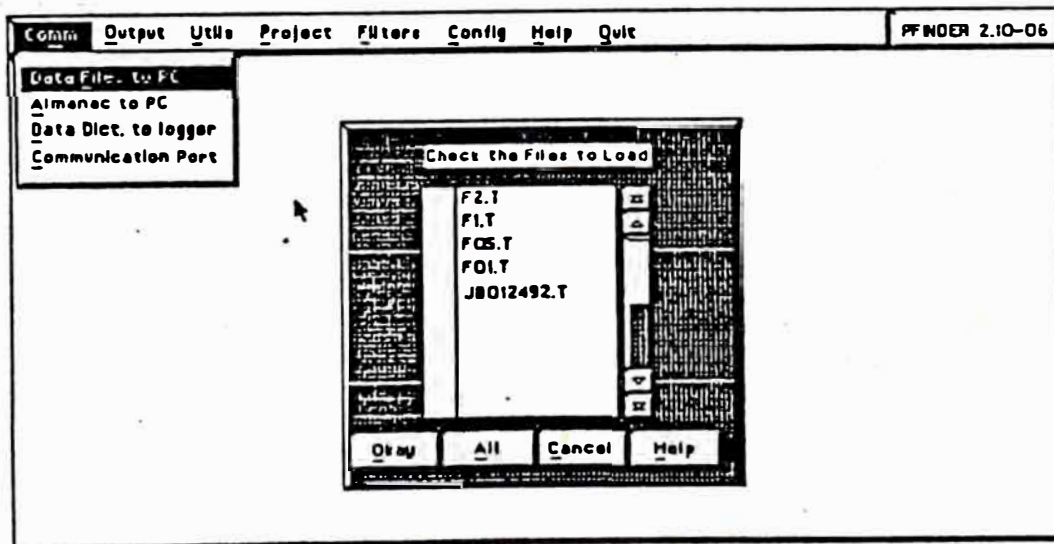
Para seleccionar un Proyecto Existente  
-seleccionar **Set Current** debajo de Proje



### Transferiendo Archivos del receptor movil de datos a la PC

Para transferir Archivos del receptor movil de datos a la PC:

- En PFINDER, seleccionar **Communication Port** debajo de **Comm**
- Conectar el Rover o receptor Móvil de dato a la PC
- Encender el Rover
- Seleccionar **Data file to PC** debajo de **comm.** con esto se habrá concluido la transferencia de datos de campo a la PC.



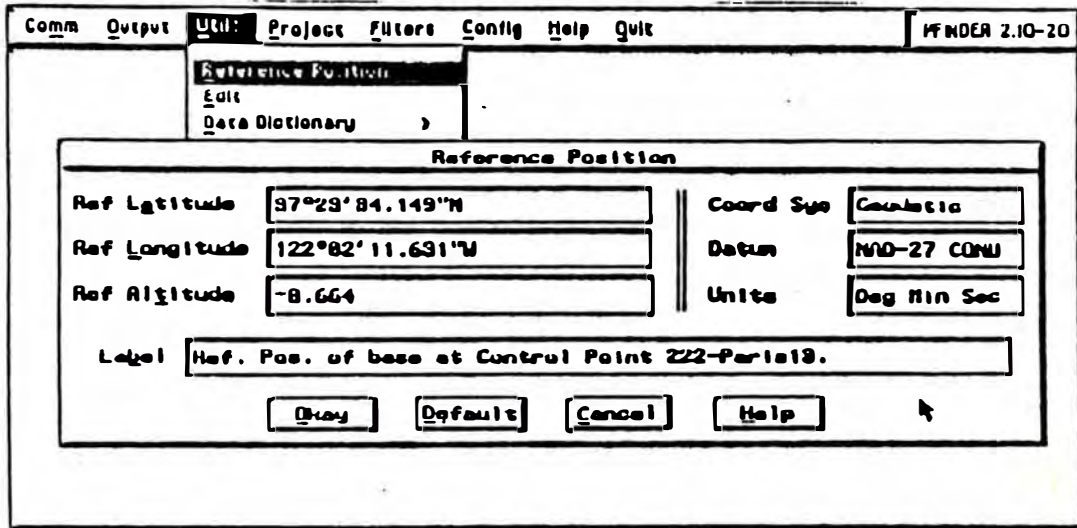
### Corrección Diferencial.

El procedimiento para la corrección **diferencial** se divide en dos partes. La primera parte es preparar el archivo **BASE**, cambiando la posición de referencia de los archivos de **BASE**. La segunda parte consiste en corregir diferencialmente el archivo **ROVER**. Dependiendo del tipo y cantidad de archivos de base que se tiene. Se sigue los siguientes pasos:



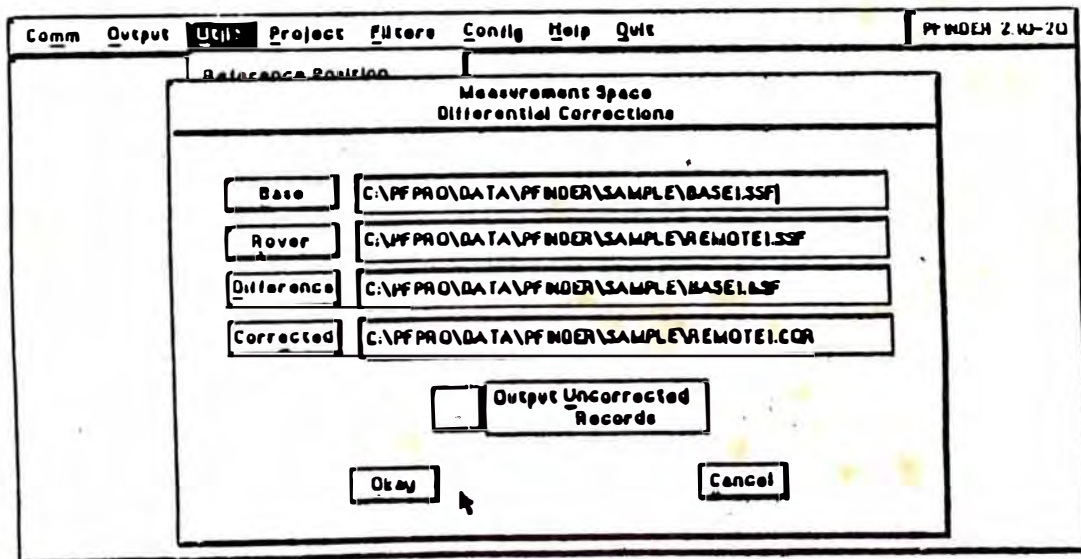
1.- Se ingresa la Posición de Referencia Correcta en el Archivo de BASE SSF.  
Determinando la Posición de Referencia de un Archivo de Base:

- Seleccione **Reference Position** debajo de Utils
  - Ingrese el nombre de archivo de BASE
  - Ingrese la ubicación exacta de la estación base en las unidades presentadas.
- La posición del cuadro es la primera posición en el archivo, cambiar la ubicación actual de la estación BASE . Asegurarse de ingresar la posición en la fecha, sistema de coordenadas y unidades que presenta al lado derecho de la pantalla.



2.- Se Corrije diferencialmente el archivo ROVER SSF.

Se selecciona el archivo de base presionando el casillero ROVER e ingresando el nombre del archivo ROVER en el casillero de selección de archivo, el nombre del archivo corregido será automáticamente reemplazado. Será el mismo nombre de ocho caracteres que el archivo rover seguido de la extensión COR.

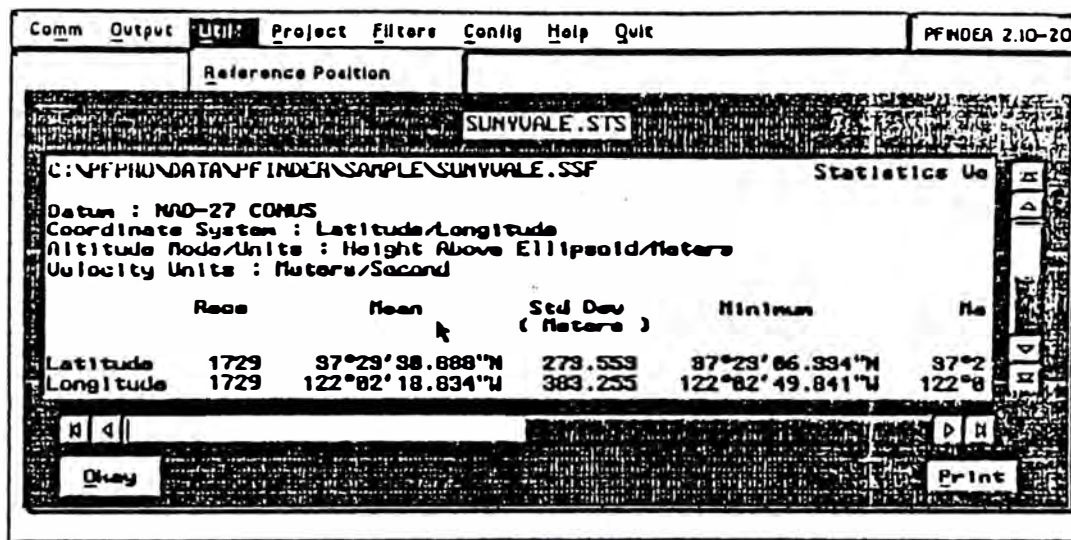


Calculando y viendo las estadísticas de un archivo y resultados

Las estadísticas son la información acerca del : La longitud, Latitud y Altitud mínima y máxima; posición media; desviación standart; número de records; tiempo de inicio y fin de la toma de datos en campo.

Presentación de las estadísticas de un archivo de datos SSF  
Para ver o calcular las estadísticas de un archivo

- 1.- Seleccionar **Utils/Calculate Statistics**
- 2.- Seleccionar un archivo
- 3.- Una vez seleccionado el archivo, se imprime los resultados, estos resultados de las coordenadas está en el sistema WGS-84, luego con los Utilitarios del programa se hace las conversiones respectivas como se vera mas adelante.



#### 4.1.3.2.-CALCULO DEL GEOIDE

Utilizando el utilitario del programa TNL, el cual calcula la ondulacion de un punto en función a las coordenadas WGS84 es como sigue:

```
Enter OSU91A geoid heigt file name  
(example,ground\osu91a.bin)  
osu91a.bin  
Output fil(y/n)  
y  
Enter output interpolation file name (ex,interp.out)  
n  
please input latitude (ex.340 0001.2345)=?(end,-92)  
312 05 34.21431
```

please input longitude (ex,\$40 0001.2345)=?  
w77 01 26.35421  
loading geoid heith data (30 degree latitude band)  
s12 05 34.21431 w77 01 26.35421 **ondulation= 28.106**

El resultado del cálculo de ondulación es : **28.106 metros**

4.1.3.3.-CONVERSION DE SISTEMA DE COORDENADAS DE WGS-84 A SUD-56

COORDINATE CONVERSION PROGRAMS

---

- (1)CONVT-CONVERT TO AND FROM GEODETIC, GEOGRAPHIC,  
UTM,AND. LOCAL COORDINATE SYSTEMS
- (2) CONVTWGS-CONVERT TO AND FROM NSWG 92-2,WGS84  
AND WGS72 COORDINATE SYSTEMS
- (3) DATADAT-DATUM AHIFT PROGRAM TO ALLOW USERS TO INPUT  
DELTA X, DELTA Y,AND DELTA Z**

Se escoge la opción (3)

Muestra la siguientes opciones :

01=AIRY	02=AUSTRALIAN NATIONAL
03=BESSEL	04=CLARK 1858
05=CLARK 1866	06=CLARK 1880
07=EVEREST	08=FISHER
09=1960 S.ASIA	10=FISHER 1968
11=HOUGH	12=INTERNACIONAL
13=KRASSOWSKI	14=S.AMERICAN 1969
15=WALBECK	16=WGS 1960
17=WGS 1960	18=WGS 1972
<b>19=WGS 1984</b>	20=USER DEFINED SPHEROID

Primero se escoge el sistema de coordenadas que se quiere obtener (coordenadas de salida) **12**

Segundo el sistema de coordenadas que se va a convertir (coordenadas de entrada)**19**

Luego se introduce los parametros de conversion como sigue :

PLEASE INPUT DELTA X IN METERS WITH DECIMALL & SIGN  
279.00  
PLEASE INPUT DELTA Y IN METERS WITH DECIMAL & SIGN  
-175.00  
PLEASE INPUT DELTA Z IN METERS WITH DECIMAL & SIGN  
370.00

En seguida el programa pide : punto de identificación

INPUT POINT IDENTIFICATION-ENTER "O" TO STOP  
PUNTO BASE CONCHAN

El programa pide entrada de las coordenadas geográficas

ENTER DEG.MIN.SEC OF LATITUDE SEPARATED BY SPACES

NOTE: INCLUDE NEGATIVE SIGN ON THE DEGREES AND ENTER SECONDS AS A DECIMAL NUMBER

-12 05 34.21431

ENTER DEG.MIN.SEC OF LONGITUDE SEPARATED BY SPACES

NOTE:INCLUDE NEGATIVE SIGN ON THE DEGREES AND ENTER SECOND AS A DECIMAL NUMBER

-77 01 26.35421

ENTER ELEVATION ABOVE/BELOW MSL IN METERS

209.92314

En seguida nos muestra el resultado siguiente :

DATA FOR POINT PUNO GEODESICO VANGUARD

WGS-84	INTERNACIONAL(SUD-56)
LATITUD = -12 05 34.21431	LATITUD = -12 05 21.77933
LONGITUDE = -77 01 26.35421	LONGITUDE = -77 01 18.66339
ELEVATION = 209.92314	ELEVATION = 190.79714

#### 4.1.3.4.-CONVERSION DE COORDENADAS GEOGRAFICAS (SUD-56) A UTM

Mediante el programa Convert, calculamos la conversión de coordenadas Geograficas a UTM, para la cota se considerara la diferencia entre el elipsoide y la ondulation.

---

#### COORDINATE CONVERSION PROGRAMS

---

- (1)CONVT-CONVERT TO AND FROM GEODETIC. GEOGRAPHIC.  
UTMLAND. LOCAL COORDINATE SYSTEMS
- (2) CONVTWGS-CONVERT TO AND FROM NSW 92-2, WGS84  
AND WGS72 COORDINATE SYSTEMS
- (3) DATADAT-DATUM AHIFT PROGRAM TO ALLOW USERS TO INPUT  
DELTA X, DELTA Y, AND DELTA Z

Se escoge la opción (1) y presenta lo siguiente:

SELECT DATA INPUT TYPE

- 1=GEOGRAPHIC COORDINATE INPUT
- 2=GEOCENTRIC COORDINATE INPUT
- 3=UTM COORDINATE INPUT
- 4=LOCAL COORDINATE INPUT

MAKE A SELECTION PLEASE

Se escoge la opción 1

INPUT POINT IDENTIFICATION-ENTER "0" TO STOP

PUNTO BASE CONCHAN

En seguida se ingresa las coordenadas geográficas

ENTER DEG.MIN.SEC OF LATITUDE SEPARATED BY SPACES

NOTE: INCLUDE NEGATIVE SIGN ON THE DEGREES AND ENTER SECONDS AS A DECIMAL NUMBER

-12 05 21.77933

ENTER DEG.MIN.SEC OF LONGITUDE SEPARATED BY SPACES

NOTE:INCLUDE NEGATIVE SIGN ON THE DEGREES AND ENTER SECOND AS A DECIMAL NUMBER

-77 01 18.66339

ENTER ELEVATION ABOVE/BELOW MSL IN METERS

180.79714

El resultado de este cálculo es lo siguiente:

COORDENADAS UTM DE BASE CONCHAN

ZONA = 18  
NORETE = 8662733.663  
ESTE = 279925.182

#### 4.1.3.5.- Cálculo de cota del geoide ( h )

Datos obtenidos : HAE = 209.92314 Mts.  
OND. = 28.106 "  
Altura Instrumental = 1.02 "

$$h = HAE - (OND + \quad) \quad (*)$$

Reemplazando en (\*)

$$h = 209.92314 - ( 28.106 + 1.02 )$$

$$h = 180.79714 \text{ m.s.n.m.}$$

NOTA : La toma de datos en campo y los cálculos de postprocesamiento de otros enlaces GPS en adelante serán con el mismo procedimiento, por lo tanto, en los trabajos realizados que mostraremos tanto con GPS Geodésicos y Estacion Total GPS serán resúmenes y resultados.

(Base CONCHAN)

C:\PFPRO\DATA\PFINDER\SAMPLE\P013117A.COR

Statistics Version 2.11

Datum : WGS-84

Coordinate System : Latitude/Longitude

Altitude Mode/Units : Height Above Ellipsoid/Meters

Velocity Units : Meters/Second

	Recs	Mean	Std Dev ( Meters )	Minimum	Maximum
Latitude	156	12°05'34.21431"S	1.46521	12°05'34.34953"S	12°05'34.07591"S
Longitude	156	77°01'26.35421"W	2.09861	77°01'26.53575"W	77°01'26.11499"W
Altitude	156	HAE:209.92314	4.51736	200.00736	221.36383

No velocity records in file.

No DOP records in file.

Start GPS Week #734 on 01/31/94 at 18:02:50

End GPS Week #734 on 01/31/94 at 18:30:36

Lat: 12° 05' 21.7933 S      ΔH = 28.106 .

Long: 77° 01' 18.66339 W      Δ: 1.02 W

HSL: 180.79714 m

## CAPITULO V

### 5.1.- APLICACION DEL GPS Y LAS ESTACIONES TOTALES GPS EN LA MINERIA

Así como en su oportunidad fue indispensable el teodolito, actualmente GPS es el método de aplicación en la geodesia y procedimientos topográficos. Sus usos son múltiples. Así, en superficies terrestres sirve para el establecimiento de redes geodésicas, mediciones para los propósitos catastrales, actualización cartográfica, delimitación de concesiones mineras, apoyo en prospecciones geológicas, geoquímicas y geofísicas, control de obras de ingeniería, trazado de carreteras, etc.

#### 5.1.1.- DEFINICIONES

##### POLOS GEOGRAFICOS Y MAGNETICOS

Las dos intersecciones de la superficie de la tierra con los extremos del eje imaginario alrededor del cual gira, se denominan Polos Geográficos Norte y Sur.

Los puntos variables muy cercanos a los polos geográficos, ubicados aproximadamente a quince grados (15°) de latitud donde se manifiesta el campo electromagnético de la tierra, se denominan Polos Magnéticos.

##### NORTE GEOGRAFICO O VERDADERO

Es la dirección de un punto de la tierra al Polo Norte Geográfico.

##### NORTE MAGNETICO

Es la dirección que indica la aguja de la brújula y que es distinto para cada punto de la tierra.

##### NORTE CUADRICULA

Indicada por la línea vertical del cuadrillado UTM de la Carta Nacional.

##### AZIMUT GEOGRAFICO

Ángulo entre una dirección y el Norte Geográfico.

##### AZIMUT DE CUADRICULA

Formado por una dirección cualquiera y el norte del cuadrillado UTM de la Carta Nacional.

##### AZIMUT MAGNETICO

Ángulo formado por una dirección cualquiera y el Norte magnético que indica la brújula.



#### DECLINACION MAGNETICA

Angulo formado por el Norte Geografico con el Norte magnetico, siendo variable en función del tiempo para cada punto de la tierra. Existe declinación al Este, Oeste y cero cuando coincidan los Nortes Geografico y Magnetico.

El Instituto Geofisico del Peru (IGP) , es la entidad Oficial del Estado que expide los valores de las declinaciones magneticas.

#### CONVERGENCIA DE MERIDIANOS

Es el ángulo formado por el Norte Geografico y el Norte de Cuadrícula.

#### COORDENADAS UTM

Las coordenadas planas Universal Transversal Mercator, son obtenidas por la proyección de las coordenadas geodésicas del elipsoide de referencia al cilindro paralelo al Ecuador que lo envuelve. El Sistema Geografico Nacional utiliza como Datum horizontal el punto La Canoa 1956, referido al Elipsoide Internacional de Hayford de 1924.

#### COORDENADAS GEOGRAFICAS

La posición de un punto colocado en el elipsoide geodésico o en el esferoide geografico, queda determinado por dos coordenadas que se denominan latitud y longitud, referidas a un sistema de planos que son el Ecuador y un meridiano origen.

#### ENLACE GEODESICO Y SATELITAL

Es relacionar un punto a dos señales geodésicas a través de operaciones topograficas o de posicionamiento satelital

#### PUNTOS O SEÑALES GEODESICAS

Son los hitos debidamente codificados establecidos por el Instituto Geografico Nacional o el Catastro Minero a través de triangulación, poligonación electronica o posicionamiento satelital. de acuerdo a las normas y especificaciones técnicas para puntos de Primer, Segundo y Tercer orden.

#### GRADOS

Toda referencia en el presente Reglamento a "grados", se entenderá como grados sexagesimales.

#### ONDULACIONES

Es la separación vertical entre el geoide y un elipsoide particular de referencia se llama ondulación geoidal N. Los valores numericos de las ondulaciones dependen evidentemente del elipsoide particular empleado.

## 5.1.2.- DETERMINACION DE LOS DERECHOS MINEROS EN EL PERU

### 5.1.2.1.- Antecedentes históricos , legales y técnicos hasta la implementación del GPS

- ANTECEDENTES HISTORICOS.- Considerada la minería en el Perú como una de las más importantes actividades económicas extractivas, en la que el hombre aprovecha los recursos naturales de carácter metálico, no metálico que se encuentran en el subsuelo, se viene practicando desde tiempos muy remotos, aproximadamente de la

edad de piedra. Se inició con la explotación del cobre, que fue utilizado en la fabricación de armas y objetos diversos.

Posteriormente con el avance tecnológico y con el descubrimiento del estaño como metal de aleación, se obtiene el bronce, que permite fabricar armas y herramientas de mayor resistencia.

Fuentes históricas nos manifiestan que en la época pre-incaica la minería no tuvo significado industrial, tampoco incitaba al lucro o a la ambición a quienes los utilizaban.

Los minerales eran empleados en la confección de adornos para los templos y los vestidos, o se confeccionaban utensilios, máscaras y objetos decorativos, en suma tenían fines de alhajas y de atesoramiento.

La explotación minera se realizaba en forma empírica, sin ningún criterio técnico, se limitaban a seguir las vetas y, practicaban socavones irregulares, por lo que estaban muy lejos de la técnica actual que emplean las empresas mineras en la extracción y transformación de los minerales.

Otras fuentes nos indican que la minería en el Perú, se viene practicando desde el afloramiento de las primeras culturas preincaicas. En los restos arqueológicos de Chavín, Tiahuanaco, Paracas, Chimú, etc, se han encontrado numerosos objetos metálicos, herramientas, armas, que son muestras evidentes del alto desarrollo que lograron en la minería y la metalurgia.

Durante la época de los incas se explotaron en vasta escala los metales preciosos, principalmente, que se obtenían en los lavaderos de los ríos o se extraía de las vetas superficiales. A la llegada de Pizarro deslumbramos al mundo como el rescate de Atahualpa y los tesoros que fueron encontrados en templos y palacios del resto del país.

En el Incaico, las minas pertenecían al Inca, como amo y señor del pueblo; la labor minera se realizaba mediante la mita, que era la prestación obligatoria y alternativa de trabajo que las diversas provincias del Imperio debían cumplir, la cual se realizaba por turnos generalmente trimestrales en servicio del Inca.

Lo cierto es que, no hay información respecto a la existencia de algún tipo de regulación en cuanto a las dimensiones que debía tener una mina (entendiéndose como el lugar donde se encuentran minerales), siendo lo más probable que no haya existido disposición alguna.

La labor minera fue realizada en forma muy rudimentaria, consistiendo principalmente en perforaciones que no se dirigían más allá de donde alcanzaba la luz natural. La perforación era principalmente de socavones y túneles, los cuales no era muy profundos, debido a que no emplearon ningún sistema de agotamiento o de evacuación de aguas subterráneas.

Conquistado el Perú en 1535, se aplicó la legislación existente en España, en tanto se entendía que bastaba con la Legislación Castellana para regular la minería en las colonias americanas.

Existieron dos tipos de legislación aplicables, las existentes dictadas en España que debían regir por mandato especial y las que se aplicaban en forma supletoria a falta de otras leyes sobre la materia. De este modo, se explica que en los primeros años de la Conquista se aplicaron la legislación vigente en la metrópoli Ordenanzas Castellanas de Minería, la cual resultó insuficiente con el transcurso de los años, hasta la aparición de las Ordenanzas del Virrey Toledo, como ejemplo de una legislación propia que se pretendía adecuada a la realidad del Virreinato del Perú.

Las ordenanzas se encuentran compuestas de 10 títulos.

La extensión de las pertenencias, que era la unidad de medida en las adjudicaciones de minas se diferenciaba cuando se trataba del descubridor de aquellos que no tenían tal calidad.

Se entendía como descubridor al primero que hallaba el mineral, y en caso de que existiera duda entre dos o más personas, aquel que lo hubiera registrado primero, manifestando a la autoridad competente la muestra del mineral hallado.

Esta normatividad tenía como base el partir desde la veta, de la cual aparecía como consecuencia: las mediciones de la pertenencia, la dirección de estas, los derechos a tener, como todos los demás aspectos que debían tomarse en cuenta.

Debido a que las pertenencias eran de muy pequeña dimensión, es evidente que, dentro de su extensión superficial era muy probable que no se cubriera en su totalidad la extensión de la veta.

Entiendase que, lo que se amojanaba o establecía como hitos en los linderos de la cuadra (forma de la pertenencia) se encontraba en gran parte visible sobre la superficie de la tierra, debiendo tener como dimensiones un estado de alto y de profundidad una vara.

En consecuencia, por la forma irregular que tiene la veta que se encuentra en el subsuelo, nunca podía abarcarse en toda su extensión por el escaso conocimiento técnico para suponer la forma y las direcciones precisas que podía adoptar.

De otro lado, su materialización era inadecuada, así lo demuestra el hecho que a principio de cada año se estaba en la obligación de mantener las estacas en buen estado.

Como se comprenderá, éste era un régimen precario, pues la desaparición de las estacas o la confusión de los pozos o estados provocaba la inubicabilidad de la pertenencia.

El sistema se explica por los conocimientos rudimentarios que entonces se tenían sobre topografía y también por el sistema de pueble o posesión directa que debía sustentar el minero sobre el área concedida por la Corona.

Un principio fundamental y característico de esta legislación era la pretensión del "echado infinito", o sea que, el minero era el único dueño de la veta hasta llegar a su fin. El minero podía perseguir la veta, inclusive ingresando en otra cuadra, presentándose diversas posibilidades de internamiento, permitidas y reguladas por la Ordenanza.

Esto provocaba múltiples conflictos entre los mineros, porque cada uno aducía su mejor derecho, en tanto indicaban con arbitrariedad cuál podía ser la veta principal.

El 22 de mayo de 1783, el Rey Carlos III, dictó las Ordenanzas de Minería para el Virreinato de la Nueva España (México), la que por Real Orden del 8 de diciembre de 1785, dictó que fueran de aplicación en el Virreinato del Perú.

Las Ordenanzas de Nueva España fueron una legislación técnica, tomada en su gran mayoría de la legislación alemana, que era la más adelantada en aquel tiempo. En ella se aprecia la preocupación por la explotación continua de las minas, con la finalidad de fomentar la actividad minera para solventar el gobierno del rey Carlos III.

Los principales objetivos de las Ordenanzas fueron la Organización de los Tribunales de Minas, el establecer reglas para la adjudicación y mensura de las pertenencias; el fijar el orden económico que debía observarse en las bases de las minas; y la reglamentación del comercio de los minerales.

El Código de 1900 uniformó el régimen de las unidades de medida de los distintos tipos de concesiones. Este hecho fue una de las ventajas del Código al homologar las unidades de Concesión.

Un impuesto equivalente a 30 soles anuales (con el transcurso de los años se varió el monto). Efectuado el pago, no existía ninguna otra obligación para iniciar o mantener las labores mineras. Esto resultó perjudicial, porque se mantuvo el derecho sobre las concesiones sin hacerlas o mantenerlas productivas.

La consolidación de la ubicación se alcanzaba mediante la diligencia de posesión y mensura.

La mensura debía ser realizada por peritos. El Código en su artículo 73° indicaba que los vértices de los cuadrados o rectángulos que correspondían a una concesión, se señalaban con hitos solidamente contruidos, que por su forma o alguna señal, se distinguieran de los colindantes y que se encontraran relacionadas con puntos fijos y con los hitos de concesiones vecinas. Los hitos eran inamovibles y el minero estaba en la obligación de mantenerlos en buen estado, bajo pena de pagar

una multa y de responsabilidad criminal si hubiera actuado con la intención de perjudicar a terceros.

La relación que debían tener los vértices de la concesión con puntos fijos, es un avance en este dispositivo respecto de las anteriores ordenanzas. El Código no había previsto el caso de que no existieran puntos fijos, lo cual fue aclarado por Resolución Suprema del 8 de abril de 1904. Al no existir dichos puntos, debían los interesados practicar a juicio del perito, dos perforaciones en el terreno para que ellas sirvan de puntos fijos de referencia.

Muchos años después de la vigencia del Código de Minería de 1900, el 7 de febrero de 1936, mediante Decreto Supremo se dictó el Reglamento de las Delegaciones de Minería. Este significó un avance en las exigencias de las operaciones periciales, destacándose entre los puntos principales, los siguientes

Por lo menos dos de sus vértices de los linderos de la concesión medida, o uno de ellos, desde el punto de partida de la medición, debían quedar relacionados a puntos fijos e identificables del terreno, por medio de ángulos y distancias.

Los ángulos y direcciones medidas debían realizarse con instrumentos que permitan una precisión de lectura directa no menor de un minuto sexagesimal.

Dentro de lo posible debía medirse el perímetro de la concesión, recorriendo un circuito que termine en el punto de partida, tomándose los ángulos verticales para poder determinar las diferencias de nivel entre los vértices y poder construir los perfiles de los lados medidos.

Las medidas de todas las distancias debían realizarse con cinta de acero o utilizando la estadia, permitiéndose un error no mayor de dos por mil en los cierres de comprobación.

Debía calcularse para cada vértice el azimut magnético o geográfico de los lados que concurren en dicho vértice con un error no mayor de quince minutos sexagesimales.

En el caso que, por condiciones del terreno no se podía conectar los vértices de la concesión a puntos fijos del terreno, se debía ubicar, por lo menos, dos vértices por medio de cuatro visuales como mínimo, dirigidas desde cada vértice a puntos visibles del terreno.

Las exigencias en las operaciones periciales de mensura y delimitación de las pertenencias, se explica, en el interés minero, por constituir el título definitivo de la concesión minera, determinando los derechos del concesionario.

#### **El Código de Minería del 12 de mayo de 1950, de Mario Samamé Boggio**

El Código de 1950 como sus reglamentos, significaron un positivo avance, mas si advertimos que se buscaba obtener un primer catastro minero a fin de unificar la información con dicha finalidad determinar que los vértices de las concesiones

debtan enlazarse con los vértices del Servicio Geográfico del Ejército, del Servicio Aerofotográfico Nacional o con los planos catastrales vigentes.

El 22 de agosto de 1949 se nombró una comisión encargada de la elaboración del proyecto de Código, el cual adquirió la calidad de tal mediante la promulgación del Decreto Ley 11357, el 12 de mayo de 1950, entrando en vigencia el 1 de julio del mismo año. (Hoy el 12 de mayo se recuerda como el Día de la Minería).

El Código uniformó el régimen de las unidades de medida de los distintos tipos de concesiones. Este hecho fue una de las ventajas del Código al homologar las unidades de concesión para toda clase de sustancias en una hectarea, en comparación a las dos magnitudes aplicables a las concesiones, establecidas en el Código de 1901.

La unidad de medida era un sólido correspondiente a un cuadrado horizontal de una hectarea de superficie.

La forma de las concesiones se encuentra expresada por la unidad de medida. El empleo del término sólido conlleva que la concesión aparezca como una figura de tres dimensiones, con ancho, largo y profundidas, cuya cara exterior es la de un paralelogramo horizontal, limitado por cuatro planos verticales que se introducen en el terreno indefinidamente. Por consiguiente, el sistema de concesión adoptado era el recto o mexicano.

La extensión de la concesión era de una hectárea hasta un máximo de 1,000 hectareas, en rectángulos cuyos lados debían guardar una relación de 1 a 10.

El procedimiento minero se iniciaba con el denuncia, que se presentaba en dos copias dirigidas al Jefe Regional de Minería.

Requisito esencial era determinar la UBICACION del denuncia solicitado, el cerro, quebrada, paraje o caserío, distrito y provincia, con la descripción del punto de partida con tres o más visuales y precisado con una medida orientada hacia accidentes topográficos inconfundibles del terreno y con los alineamientos que forman el rectángulo. Esta obligación era novedad del Código de 1950.

El croquis que debía adjuntarse a la solicitud, indicaba la ubicación del denuncia, comenzando con señalar los accidentes topográficos (cerro, quebrada, paraje o caserío, distrito y provincia).

Establecida la ubicación, debía fijarse el Punto de Partida (PP) mediante el relacionamiento que se hacía con tres o más visuales, que son líneas rectas, cada una de ellas tirada ("o que parte") del ojo del observador hacia algún accidente topográfico del terreno como un levantamiento, la cumbre de un cerro o nevado, calculándose los grados de circunferencia para cada visual cuyo Punto de Partida, se precisaba mediante una medida trazada o un accidente topográfico que era el Punto de Referencia (PR). Tanto este último como el Punto de Partida, podían estar ubicados indistintamente dentro del denuncia, fuera de él o sobre el perímetro, debiendo ser fijados con hitos de piedra con cemento, o sólo de cemento, o como

viera el interesado de mejor forma determinarlo. La distancia entre el PP el PR debía señalarse en el denuncia en metros, calculándose los grados de la circunferencia entre ambos. Esta línea también se determinaba como línea fija e inamovible en el terreno, de tal manera, que ubicada por dos puntos el PP con el PR se podía deducir un punto del otro por una distancia orientada y en forma viceversa.

Habiéndose fijado el punto de partida y el punto de referencia, se levantaban los alineamientos que formaban el rectángulo, es decir, la cuadratura de un denuncia minero, casi siempre desde el PP, al haberse fijado este, por las visuales. Cambia la posibilidad de trazarse los alineamientos del rectángulo desde otros puntos que podía ser un punto auxiliar, calculándose sus distancias y ángulos con referencia al norte magnético. Aquí se aprecia las posibles dificultades, que existirían, sino se hacía una adecuada lectura en relación al norte magnético, que no es similar para todos los puntos de la tierra, pues varía con el tiempo.

Realizado los alineamientos, se entendía que quedaba establecido técnicamente, el perímetro de la superficie que constituía la materia del denuncia.

La exigencia del código sobre la ubicación de la superficie que se denunciaba fueron mayores a las de anteriores disposiciones, teniendo como objetivo el evitar dificultades que siempre se presentaban entre los concesionarios al no establecerse claramente la ubicación de la concesión con exactitud.

Con el fin de hacer un diagnóstico de los alcances del Reglamento de Normas Técnicas Periciales, D.S. N° 40-94-EM y sus modificatorias, haremos una referencia sucinta de las leyes mineras y sus reglamentos que han normado las diligencias periciales desde sus comienzos hasta la fecha, en las delimitaciones de denuncios mineros y la remensura, restitución del punto de partida (PP) y reposición de hitos de las concesiones cuando así lo requerían las circunstancias o a solicitud de sus titulares.

### **Epoca virreinal (resumen)**

#### **Ordenanzas de Minería de Nueva España de 1783**

Desde la Conquista del Perú por los españoles, se han dado diversas leyes mineras con el objeto de realizar una explotación intensiva, siendo la primera, la Ordenanza de Francisco Pizarro, dictada el 25 de octubre de 1538 y la última, las Ordenanzas de Minería de Nueva España de 1783 que estuvo vigente hasta la independencia del Perú.

Esta Ordenanza establecía la pertenencia de 100 x 200 varas, con su punto de partida representado por el Pozo de Ordenanza, construido sobre la veta, de 10 varas de profundidad por 1.5 varas de ancho y con hitos en los 4 vértices.

### **Epoca republicana**

#### **A. Ordenanzas de Minería de Nueva España de 1783**

Como la guerra de la Independencia arrazó con la minería peruana, el Congreso Peruano expide la Ley del 2-12-1829, dando vigencia y continuidad a las Ordenanzas de Minería de Nueva España. Pero la aplicación de ellas se interrumpe por la guerra con Chile y, como consecuencia, el país queda devastado y la minería destruida.

#### B. Código de Minería de 1900 del 6-7-1900

Este Código que reemplazó a las Ordenanzas de Minería, cuya aplicación seguía rigiendo en virtud de la Ley del 2-12-1829, fue adaptado a las nuevas exigencias técnicas y legales con el fin de impulsar el desarrollo de la minería. Para su mejor aplicación se dicta el "Reglamento de las Delegaciones Mineras", por el Decreto Supremo del 7-2-36, el cual dispone

El PP deberá quedar relacionado a puntos fijos identificables en el terreno con ángulos y distancias; las mediciones serán con cinta de acero estadia, con un error no mayor de 2 por mil; los teodolitos serán al minuto sexagesimal y los azimutes de los lados del lindero tendrán un error no mayor de 15 minutos sexagesimales.

#### C. Código de Minería del 50 ; D Ley del 12.5.50

Art. 151.- La remensura y/o reposición de hitos se regira por el Título V, Procedimiento Ordinario del Capítulo III.

"El Reglamento de Delimitaciones" lo aprueba el D.S. N° 5 del 4-9-50, el cual estatuye

Art. 7°.- Los ángulos horizontales se medirán con aproximación de 30 segundos y los verticales con 60 segundos sexagesimales; las medidas serán con cinta de acero con aproximación de un centímetro.

Art. 8°.- Los linderos hasta 4,000 metros se medirán con cinta de acero y con un error de cierre de 1:5000, compensándose los errores angulares y de distancia.

Art. 9°.- Los linderos de más de 4,000 metros se harán por triangulación, con un error no mayor de 1:10,000 y un segundo en la dirección.

#### D.Ley General de Minería D.L. N° 109 del 1-9-81.

Los dispositivos de esta ley son

Art. 227°.- Las discrepancias angulares de visuales en el PP serán de 4° sexagesimales y del PP al PR de 2° sexagesimales en ángulos y 5% de error en la distancia.

Art. 230°.- Las mediciones serán con estadias hasta los 4,000 metros de perímetro y si son más de 4,000 metros se hará por triangulación.



El Reglamento de la Ley General de Minería, D.S. N° 025-82-EM/VM del 30-7-82, dispone en su artículo 190 que los instrumentos a usarse son :

Goniómetro o teodolito al minuto, brujulas incorporadas, montante y tubular, cinta de acero, distanciómetro, barra invar, miras; para el azimut magnetico, la brujula se estacionará a mas de 50 metros de masas ferrosas o lineas de alta tension.

Esta ley y su reglamento recopilan y compendian toda la jurisprudencia minera, concordándola en cuanto a usos, discrepancias, tolerancias permisibles y limite de errores aceptables en los aspectos técnicos y legales con relación a la formulación, titulación, remensura y/o reposición de hitos de las concesiones mineras.

#### E. Ley General de Minería D.S. N° 014-92-EM del 2-6-92

Esta ley es un compendio del D. Legislativo 708 y del D. Legislativo N° 109 en un Texto Unico Ordenado (TUO) de la Ley General de Minería, e introduce en su ordenamiento el Sistema de Cuadrículas y las Coordenadas UTM de los vértices de los derechos mineros, tanto para los nuevos como para los antiguos. Se implementa esta ley con diversos reglamentos con el fin de hacerla operativa, entre ellos el

Reglamento de Normas Técnicas Periciales Mineras, D.S. N° 40-94-EM del 3-10-94 que fue modificada posteriormente por los Decretos Supremos N° 48-94-EM y el N° 50-94-EM. Estas normas señalan las discrepancias máximas permisibles para la restitución y ubicación de los PP de los derechos mineros, en los artículos siguientes :

Art. 6°.- Para los denuncios en trámite hasta el 14.12.91, las discrepancias angulares de visuales desde el PP serán de 4° sexagesimales y del PP al PR de 2° sexagesimales y de 5% de error en las distancias (Art. 227, D.L. 109)

Art. 7°.- Se aplicará a las concesiones con resoluciones de títulos consentidos o ejecutoriados con las regulaciones siguientes

a) Las discrepancias angulares verificadas del PP entre visuales no excederán de un grado y el error de cierre angular de ellas no debe superar un grado sexagesimal. Las discrepancias del PP y PR no debe rebasar un grado sexagesimal en su ángulo interno y uno por ciento en la distancia.

Art. 8°.- Los instrumentos a usarse serán : teodolito al segundo, brujulas incorporadas, montante y tubular; distanciómetros, barra invar y cinta metálica, posicionadores satelitales (GPS), equipos electrónicos o satelitales con precisión del punto de submetro.

Art. 11°.- c) Se obtendrá la declinación magnética de cartas geomagnéticas elaboradas y expedidas por el Instituto Geofísico del Perú.

## Evaluación comparativa de las Normas Técnicas Periciales

Como corolario de lo expuesto, vamos a hacer comparaciones con los métodos, sistemas, vicios y otras anomalías que han contribuido a otorgar una titulación muchas veces reñida con la veracidad. Estas son :

- 1.- Las leyes mineras han ido perfeccionándose a través del tiempo y todas ellas contemplan un Punto de Partida (PP), Punto de Referencia (PR), hitos en los vértices, visuales; normas para las mensuras, remensuras, reposición de hitos; tolerancias y errores permisibles.
2. Los instrumentos más usados : teodolitos al minuto, cinta metálica, estadia, brújulas diversas y más recientemente, mira invar y distanciómetros electrónicos.
- 3.- Las visuales fueron orientadas a bocaminas, iglesias, aristas de edificaciones y, finalmente, a cumbres de cerros y simas de abras de formas redondeadas y sinuosas con varias crestas. Los croquis de los perfiles fueron mal dibujados.
- 4.- Algunos peritos han cometido errores técnicos en las pericias al no controlar la verticalidad de las miras y cálculos de distancias horizontales y verticales, al usar incorrectamente los valores de tablas diferentes a las taquimétricas
- 5.- Asimismo, otros peritos, como jefes regionales, empleaban topógrafos en los trabajos de campo y gabinete, dando como resultado que al tratar de replantear o restituir estas delimitaciones, aplicando las normas periciales de su época, resultan inubicables al no concordar los datos de campo con los títulos. Estas pericias fueron avaladas por la autoridad minera competente.
- 6.- Muchas de estas anomalías e irregularidades eran causadas por la propia autoridad minera, al pagar honorarios paupérrimos, tarde, mal y nunca.
- 7.- La determinación del norte magnético es fundamental para la correcta aplicación de la ley, con respecto a la orientación de visuales, lados y demás accidentes topográficos. El Instituto Geofísico del Perú no cuenta con datos confiables de registros anuales y periódicos y, por eso, interpola los valores que vende a los usuarios.

Resumiendo ...

El más antiguo se remonta a la época del Virrey Toledo y consistía en la instalación de estacas que se medían a partir de un pozo de ordenanza. Recién en 1926 se reemplazó por otro método basado en medidas de los vértices en relación con accidentes geográficos notables en las proximidades. Luego, se llegó al método que se conoce por el de las tres visuales. Reconocimiento del punto de partida, de la determinación del punto inicial y de la cuadratura, vigente hasta diciembre de 1991. Apoyándose en la red de triangulación Nacional.

## **Red Geodésica del Perú**

La ubicación de los puntos de la red de triangulación inicial del Perú fue establecida por la Misión Geodesica Francesa durante los años 1902 a 1921 con observaciones astronómicas y estelares para el estudio científico de la determinación de la figura de la tierra desde 1921 hasta 1947 el Instituto Geográfico Nacional (IGN) realizó la extensión de la triangulación de 1er., 2do. y 3er. orden simulándolas con las redes de Ecuador y Chile manteniendo muchas de las estaciones que establecieron los Franceses.

En 1947 se inició una nueva red básica de triangulación como parte de la colaboración entre el entonces Instituto Geográfico Militar hoy Instituto Geográfico Nacional y el IAGS (Inter American Geodetic Survey). Este trabajo fue parte de la extensión de un programa de Triangulación en Sud-

América con el propósito de establecer un nuevo sistema de referencia.

Las posiciones geográficas de los puntos fueron referidas al datum provisional para Sud-América de 1956. Elipsoide Internacional Proyección Universal transversa de Mercator.

La totalidad de la Cartografía del Perú a pequeña, mediana y gran escala se realiza utilizando como sistema de referencia nacional el Datum Provisional para Sud América de 1956 Cartográfica y Red Básica establecida por el IGN, entidad rectora del país.

Los puntos de la Red Geodésica Minera con Poligonación Electrónica establecidos de 1980 a 1991 fueron densificados cunándose a las normas y especificaciones técnicas para poligonales de 3er. orden. Los equipos utilizados para lecturas angulares fueron teodolitos graduados al segundo y para distancias los distanciometros electrónicos de alcance hasta 14 Km.

Finalmente, desde 1992 se aplica el sistema de cuadrículas basado en Coordenadas Universales Transversales Mercator (UTM), que hace posible determinar con exactitud en el computador la posición o delimitación de cada derecho minero.

**La Estación Total GPS.-** En realidad se puede trazar el desarrollo de la profesión del Ing. siguiendo la historia de sus herramientas. La brújula, la cadena, el teodolito con lectura vernier, el teodolito óptico, las tablas de logaritmos, las reglas de cálculo y más recientemente, el distanciometro, la estación total y el ordenador. Cada uno ha contribuido en gran parte a la capacidad del ingeniero para trabajar con eficacia.

**La ventaja GPS.-** Indudablemente durante la última década el avance tecnológico más importante en topografía ha sido la creación del sistema de POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) una constelación de 24 satélites dedicados al control de la navegación y posicionamiento. Venciendo las limitaciones logísticas inherentes al empleo de los sistemas topográficos en terrenos superficiales, los equipos basados en el GPS han revolucionado la manera en

que los ingenieros realizan sus trabajos geodésicos, fotogramétricos o topográficos. El GPS aporta grandes ganancias en la productividad al permitir a los topógrafos realizar un itinerario entre puntos de apoyo (incluso en lados opuestos de una montaña) sin tener que recorrer el itinerario ni siquiera sin tener que ver el otro punto.

Más allá de los límites de las operaciones geodésicas o de apoyo, entrando en los trabajos topográficos diarios, las ventajas en productividad en las tareas diarias, tales como determinación de los derechos mineros, exploración de yacimientos, levantamientos topográficos de detalle, replanteos, ubicación de puntos de apoyo local, diseño de redes viales, etc. son muy excelentes en precisión y costos.

#### 5.1.2.2.-ACTIVIDADES GEOMAGNETICAS EN EL PERU

El Instituto Geofísico del Perú opera la estación geomagnética de Huancayo

desde 1922 y constituye la estación de calibración para Sudamérica y Centroamérica. En esta Estación se registran continuamente los componentes vertical, horizontal, declinación e inclinación del campo magnético terrestre. El mismo tipo de registro se hace en la estación geomagnética de Arequipa del Instituto Geofísico de Characato, de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSAA)

Además de la operación de las estaciones magnéticas, el IGP hace periódicamente reobservaciones en puntos estratégicamente distribuidos en el territorio peruano para controlar las variaciones del campo magnético en función del tiempo. Esta información es fundamental para la elaboración de las cartas magnéticas y atender el Servicio Oficial de Declinación Magnética.

En colaboración con la institución Carnegie de Washington, USA., se han hecho observaciones temporales del campo magnético en varios puntos en el sur del Perú. Uno de los resultados de este estudio es el descubrimiento de una anomalía de alta conductividad eléctrica en el sur del Perú y oeste de Bolivia. Esta anomalía sigue la morfología de la deflexión tectónica de Abancay-Pisco.

En cuanto a la predicción de sismos, el IGP opera estaciones geomagnéticas instaladas en las estaciones extensométricas de Guadalupe, Zamaca y Condor, en la zona de Ica; como parte del Programa Cooperativo con la Universidad de Kyoto, Japón, Programa de Deformaciones Terrestres. El Instituto Geofísico de Characato de la UNSAA, opera instrumental similar en la zona de Arequipa.

Se está haciendo esfuerzos para iniciar las reobservaciones de campo a fin de determinar por lo menos, la declinación magnética en los puntos de control de la Carta Geomagnética. A este respecto, se espera que el Instituto Geográfico Nacional colabore con el IGP para actualizar tan importante información.

## CONCLUSIONES

Los programas de Gravimetría y Magnetismo Terrestre han contado con el apoyo de entidades extranjeras y la colaboración del IGN: es de particular reconocimiento, el apoyo del IAGS desde 1958

La información a la fecha catalogada, permite atender las solicitudes del público sobre información gravimétrica y/o magnética.

Los datos gravimétricos proveerán información importante sobre la morfología y valores de las anomalías de geoide, para fines geodésicos.

### **5.123. Construcción de Redes geodésicas de Apoyo para Levantamientos Topográficos**

El objetivo es establecer una red de puntos GPS de alta precisión a nivel local, para que dichos puntos sirvan de referencia para realizar trabajos topográficos posteriores tanto con equipos convencionales como con ESTACIONES TOTALES GPS; esta red geodésica debe cubrir el área donde se tiene que hacer los levantamientos topográficos.

#### METODOLOGIA

La metodología para establecer esta red es como sigue

Ubicar un punto Geodésico de primer orden de alta precisión que sirva como PUNTO DE REFERENCIA DE ENLACE, este punto debe ser Estación GPS de CHARACATO en Arequipa, PUNTO DE RASTREO PERMANENTE N° 4021 de la NASA o puntos Geodésico de Laplas de primer orden; en este punto se estacionara el receptor GPS Master.

Para obtener precisión de  $\pm 5\text{mm} \pm 1\text{ ppm}$  de la línea de base se utiliza el sistema de corrección diferencial que consiste en que un receptor GPS esta ubicado en un punto de control denominada Estación Master mientras que el otro o mas receptores se estacionan en nuevos puntos (estacion móvil o rover). Este método se usa para estaciones que abarcan largas distancias .

#### PLANEAMIENTO EN GABINETE

El trabajo en gabinete consiste en la ubicación de las estaciones que formaran la red , sobre planos catastrales y/o cartográficos a escalas 1/100.000 , 1/50.000 y 1/25.000.

Reconocimiento y monumentación; se considera los siguientes aspectos:

- Verificación de las señales del IGN para las estaciones master
- Las zonas mineras o lugares que garanticen la permanencia del punto y localización en el área planificado.

- Colocación de los hitos de concreto con las características de las descripciones de estación.
- Elaborar el formato de estación nombre y codificación del punto y ubicación del punto y ubicación geográfica.
- Recepción de datos satelitales en el GPS móvil controlando el PDOP menor a 5 y el número de satélites captados.

Los cálculos de Post-procesos se procesa en forma similar al capítulo IV. Los informes tienen un formato respectivo de descripción marca de estación, su itinerario y sus coordenadas respectivas en los sistemas referenciales de WGS84 y SUD-56. Ver plano

#### **5.1.2.4.- Determinación de P.P., P.R., P.I. y Vértices de la cuadratura de un Derecho Minero**

Utilizando la red de puntos GPS establecidos según 5.1.2.3 como punto de control suplementario se procede el POSICIONAMIENTO SATELITAL GEODESICO (GPS) de la siguiente manera:

##### **Planificación en gabinete**

Documentarse para cada propiedad con planos, mapas, descripciones de detalle de la ubicación del P.P. Vías de acceso (carreteras, caminos, centros poblados, etc.) plotear la propiedad minera tanto la cuadratura como el P.P. en la Carta Nacional a escalas 1:100,000, 1:50,000 o 1:25,000. Comprar Declinación Magnética del Instituto Geofísico del Perú para el año del denuncia y el año de la verificación para la comprobación del P.P.- Adquirir señales geodesicas y/o puntos de control suplementario.

##### **Equipos y materiales**

Teodolito, mira, brújula, etc. (todo los instrumentos y materiales de topografía); equipos GPS. Un receptor con corrección diferencial con todo sus accesorios, una computadora para almacenar datos en campo, uno o más receptores móviles.

Personal técnico y de apoyo necesarios como son : Operadores de los equipos GPS y operadores de equipos convencionales, personal de apoyo para el traslado de los equipos, materiales y otros

#### **Determinación del denuncia minero “ CAROLINA ”**

##### **PLAN DE TRABAJO**

##### **OBJETIVO :**

- Determinación de las Coordenadas UTM del PP y uno de los vértices del Denuncio

## PROCEDIMIENTO EN CAMPO

### 1. Verificación del PP , PR ,y determinación de uno de los vértices

#### EQUIPO Y MATERIALES

- Brújula con tripode
- Teodolito Mira
- Equipo GPS
- Estacas

#### CASO 1 (Usaron declinacion magnetica)

- Hacemos la corrección del Limbo de la brújula  $1^{\circ}7'15''$  hacia el W (D.M. 1994)
- Chequeo de rumbo de las Visuales con respecto al PP
- Hacer el paso (\*)

#### CASO 2 (No usaron declinación magnetica)

- Hacemos la corrección del Limbo de la brújula  $2^{\circ}25'33''$  hacia el W (Diferencia de declinación 1981 - 1994)
- Chequeo del Rumbo de las visuales con respecto a PP

(\*) Verificación de los ángulos internos de las visuales con teodolito.

- Ubicación de uno de los vértices con teodolito y mira; haciendo cero en la Visual cerro "EL CONDOR" y barriendo un ángulo interno de  $117^{\circ}15'$  (derecha).

Dicha alineación permitira con ayuda de la mira hallar la medida horizontal de 1,500 mt. Alineamiento con estacas en línea recta DH = 1500 m. medida con wincha y corrección por ángulo vertical.

- Ubicación de PR con teodolito y mira; haciendo cero en la Visual Cerro "EL CONDOR" y barriendo un ángulo interno de  $210^{\circ}30'$  y distancia horizontal de 220 m; determinamos el PR.

### 2.- Determinación de las coordenadas UTM del PP y uno de los vértices

#### EQUIPO

##### ESTACION BASE

- Antena, cable y tripode
- PC y llaves
- Interface
- Bateria
- Coordenadas Geodesicas de la señal Pativilca (WGS-84)

##### ESTACION REMOTO

- Pathfinder
- Pilas Alcalinas (2 piezas)

ITINERARIO

- Lima - Pativilca	3 h. 30'
- Pativilca-denuncio (PP)	0 h. 45'
- Ubicación del PP y uno de los vertices	3 h. 00'

TOMA DE DATOS GEODESICOS (GPS)

Grupo 01 Se queda en el Denuncio

Personal : 1 Operador  
1 Chofer

Grupo 02 Lleva la estación Base al Punto Geodésico (2 horas)

1.- Tiempo de toma de Datos (PP)	0 h. 40'
2.- Intervalo	0 h. 30'
3.- Tiempo de toma de Datos (vértice)	0 h. 40'
4.- Personal : 1 operador 2 ayudantes	

RETORNO A PATIVILCA

- Chofer recoge al 1er. Grupo	1 h 00'
- Chofer recoge al 2do. Grupo	0 h 30'
- Intervalo	1 h 00'
- Retorno a Lima	3 h 30'
- Contratiempos	3 h 00'

TOTAL DE HORAS REQUERIDAS 20 h 00'

DISTRIBUCION DE TIEMPOS

HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO	05 h 00'
HORAS INVERTIDAS EN TRASLADOS	04 h 00'
INTERVALO	01 h 00'
TIEMPO TOTAL DE VIAJE	
LIMA - PATIVILCA - LIMA	07 h 00'

**Calculos post-procesos.-**

Los calculos de post-proceso son similares a lo hecho en el capitulo IV . Unas vez determinado las coordenadas UTM del P.P., para calcular el P.R. y los vertices de la cuadratura , previamente se determina lo siguiente:

**Cálculo de Convergencia**

Los ángulos medidos en el elipsoide están referidos al Norte Geografico cuya representacion en la proyeccion viene dada por una linea curva, transformada del meridiano que pasa por dicho vértice en el



elipsoide y cuya concavidad en la proyección es hacia el Meridiano Central, debido a que la cuadrícula UTM nos da siempre rectas paralelas como Norte de Cuadrícula y los Angulos en la Proyección, hay que referidos a ese Norte. En cada punto habrá que considerar el ángulo que forma la transformación del Meridiano con la dirección del Norte UTM (N.C), valor que constituye la convergencia de meridianos (C), se define por tanto, como tal el ángulo que forman las direcciones Norte geográfico (N.G) y Norte de cuadrícula (N.C).

Fórmula para calcular  $C = - (Long. - MC) * \text{Sen Lat}$  donde:

datos del P.P.

Longitud =  $-10^{\circ} 34' 8.37690''$

Latitud =  $-77^{\circ} 52' 34.93721''$

Meridiano Central =  $75^{\circ}$

Zona 18

Reemplazando  $C = - (-77^{\circ} 52' 34.93721'' - 75^{\circ}) * (\text{Sen} 10^{\circ} 34' 8.37690'')$

$$C = -0^{\circ} 31' 39.3''$$

#### Variación Magnética para el año del denuncia (1981)

Segun dato proporcionado por el IGP

Declinacion magnetica :  $4^{\circ} 04' 48''$  E

#### Cálculo de Declinación de Cuadrícula para el año del denuncia

Decl. Cuadr. = Decl. Magn. - Converg. Meridianos

$$= 4^{\circ} 04' 48'' + (-0^{\circ} 31' 39.3'')$$

$$= 3^{\circ} 32' 48''$$

El Azimut Magnético del año del denuncia de P.P. a VSE es:

N  $143^{\circ} 30' 00''$  E . entonces:

$$\begin{aligned} \text{El Azimut de Cuadrícula P.P.-VSE} &= 143^{\circ} 30' 00'' + 3^{\circ} 32' 48'' \\ &= 148^{\circ} 02' 48'' \end{aligned}$$

$$\text{Az. Cuad. PP-VSE} = 148^{\circ} 02' 48''$$

#### Cálculo de los Vértices de la Cuadratura

Con los datos anteriormente calculados como son:

Coordenadas UTM del PP : N 8830212 . 921

E 185189 . 746

Cota : 133.8669 m.s.n.m.

**Az. Cuad. PP-VSE = 148° 02' 48"**

Utilizando el Programa Vulcano en Qbasic se determina las coordenadas de los vértices de la cuadratura, como se muestra en la hoja adjunta.

NOTA : Para la determinación de todo los derechos mineros a nivel nacional, mayormente en el departamento de Puno ,el porcedimiento fue similar,aqui mostramos como un ejemplo de ilustración como se aplica el sistema GPS y los cálculos posteriores que las normas técnicas legales exigen.

```

DECLARE FUNCTION DEG (A!, B!, C!)
DECLARE FUNCTION DMS$ (Z1!)
1 CLS @: PRINT " Z           N           E           C           S           H           V           DC "
2 PRINT "-----"
4 REM " DENUNCIO MINERO CAROLINA "
5 CLEAR : PI = 3.141592654#: READ Z1, Z2, Z3, N#, S#, C#, S
6 DATA 148,02,48,8830212,921,185189,746,0133,866,0 P.P
7 Z = DEG(Z1, Z2, Z3)
8 CH = 1
9 Z = Z - 180
10 READ A1, A2, A3, D, I, T, P, AV1, AV2, AV3, FL
15 IF (D = 0!) THEN 90
29 A = DEG(A1, A2, A3): AV = DEG(AV1, AV2, AV3) * PI / 180
30 V = D * COS(AV): H = D * SIN(AV)
31 IF (FL = 0) THEN H = D * (COS(ABS(PI / 2 - AV))) ^ 2: V = D * SIN(2 * (PI / 2 - AV)) / 2
38 IF (FL = 3) THEN Z = 0: CH = 0
39 IF (FL = 2) THEN Z = 0
40 Z = Z + A: C# = C# + (ABS(S - I) - P) * CH + V: S = T + P: CH = 1
45 N1# = N#: E1# = E#
50 N# = N# + H * COS(Z * PI / 180): E# = E# + H * SIN(Z * PI / 180)
55 DC = SQR((N1# - N#) ^ 2 + (E1# - E#) ^ 2)
54 PRINT DMS$(Z):
65 PRINT USING " *****.***** *****.***** *****.### 0.## *****.### *****.### *****.###": N#: E#: C#: S: H: V: DC
70 S = 0
80 GOTO 9

```

90 STOP

```

190 DATA 190,00,90,09200,00,9,00,0,90,0,90,090,00,00,0
101 DATA 090,00,00,02200,00,9,00,0,00,0,00,090,00,00,0
102 DATA 270,00,00,02000,00,0,00,0,00,0,00,090,00,00,0
103 DATA 270,00,00,03000,00,0,00,0,00,0,00,090,00,00,0
104 DATA 270,00,00,02000,00,0,00,0,00,0,00,090,00,00,0
105 DATA 270,00,00,00800,00,0,00,0,00,0,90,090,00,00,0
106 DATA 000,00,00,00000,00,0,00,0,00,0,00,000,00,00,0

```

```

FUNCTION DEG (A, B, C) STATIC
DEG = CDBL(A) + CDBL(B / 60) + CDBL(C / 3600)
END FUNCTION

```

```

FUNCTION DMS$ (Z1!)
IF Z1! >= 360 THEN Z1! = Z1! - 360
G! = FIX(Z1!): M! = FIX((Z1! - G!) * 60): S! = (M! - FIX(M!)) * 60
DMS$ = STR$(G!) + ", " + STR$(M!) + ", " + STR$(S!)
END FUNCTION

```

Z	N	E	C	S	H	V	DC
148.	2,-118	3830043.22512	185295.59168	133.866	0.90	200.000	0.000 200.0 P.I.
00							
58.	2,-118	8831207.52764	187162.24634	133.866	0.00	2200.000	0.000 2200.00 VNE
0							
148.	2,-118	8829510.56881	188220.79310	133.866	0.00	2000.000	0.000 2000.0 VSE
00							
228.	2,-118	8827922.98377	185675.26479	133.866	0.00	3000.000	0.000 3000.0 VSW
00							
328.	2,-118	8829619.94270	194616.90817	133.866	0.90	2000.000	0.000 2000.0 VNW
00							
58.	2,-118	3830043.22531	185295.59176	133.866	0.00	800.000	0.000 800.00 P.I.
0							

El replanteo de PP ,PR ,PI ,Vértices de la cuadratura de los derechos mineros se hace en forma mas rapida con Estacion Total GPS.

Los datos técnicos tomados en campo están dentro de las discrepancias permitidas de acuerdo al reglamento de las normas técnicas establecidas por RPM. A continuación se menciona.

### **Discrepancias permisibles de acuerdo al Reglamento de Normas Técnicas para Operaciones Periciales Mineras**

#### **Derechos mineros sin resolución de título consentida o ejecutoriada (D.S. N° 040-94-EM)**

La comprobación del Punto de Partida deberá ejecutarse en base a los datos contenidos en la solicitud y croquis de denuncia y comprenderá :

1. Descripción física del PP y PR
2. Distancia y Azimut del PP al PR
3. Azimut y Perfil de las Visuales

#### **Discrepancias permisibles**

1. Angulo entre Visuales del PP : = 4°
2. Angulo entre PP y PR : = 2°
3. Distancia entre PP y PR : = 5°

#### **Derechos Mineros con Resolución de Título Consentida y Ejecutoriada**

Se ubicará el Punto de Partida o Pozo de Ordenanza de acuerdo con las informaciones técnica y descripciones que aparezcan en el Acta, Informe, Planos y Registro de Operaciones Periciales de la última Diligencia, ya sea se trate de Posesión Delimitación o de operaciones periciales de remensura o de reposición de hitos, con resolución consentida y ejecutoriada.

Ubicado el punto de partida se determinará el valor de las coordenadas UTM de los vértices de la concesión.

#### **Discrepancias Permisibles**

1. Angulos internos entre visuales verificadas del PP obtenidos en la diligencia de posición , delimitación o de operaciones de remensura o de reposición de hitos : = 1°
2. Discrepancias angulares internas del PR en relación a una Visual : = 1°
3. Distancia PP - PR : = 0.50 m. + 1% (distancia)

### 5.1.2.6.- REPLANTEO DE PETITORIOS

Para hacer el replanteo de petitorios hay dos métodos.

- 1.- SEMI CONVENCIONAL: Combinación de GPS Geodésico , Distanciómetro y teodolito.
- 2.- Estaciones Totales GPS en Tiempo Real

REPLANTEO DE PETITORIOS VISCACHANI 1 ,2 y 3 . Ubicados en Rio Seco entre Ñaña y Huarochiri

#### PLAN DE TRABAJO

- El método aplicado fue SEMI CONVENCIONAL
- Materiles : Carta Nacional del IGN; donde se ploteó las coordenadas de los vértices de los tres petitorios; coordenadas UTM de los petitorios
- Preparar el itinerario del recorrido en la Carta Nacional, teniendo mucho cuidado por donde acceder de acuerdo a la topografía del terreno a los vértices de los petitorios.
- Libreta de campo, donde se anotará todo los datos observados en campo.
- Coordenadas geográficas del punto Geodésico Vitarte , proporcionado por el IGN; cuyas conversiones respectivas al sistema WGS-84 y que se introduce al GPS de la Estación Máster.

**Equipos:** -Un GPS navegador portátil

- GPS Geodésico Diferencial, compuesto por : Estación Máster y Rover ó móvil
- Un teodolito, brújula, pintura
- Material para monumentar los vértices

Personal :

- 3 técnicos
- 3 ayudantes
- 1 movilidad
- 1 chofer

#### Método de trabajo en campo:

Antes de replantear los vértices de los petitorios se determinó una red de puntos de control suplementario próximos a los vértices , estos puntos fueron enlazados al punto geodésico Vitarte.

Replanteo de los vertices:

Un operador y su ayudante se ubica en la Estacion Máster(punto de control suplementario cercano a los vertices)

El operador del Rover se aproxima con el GPS navegador (individual portátil) a los vértices del petitorio, esta aproximación es con un error de 25 a 50 m. dependiendo de las condiciones topográficas, si el vértice se encuentra en una quebrada muy cerrada el de aproximación con el GPS navegador fue hasta de 100 m.

Luego se estableció una base de triangulación de 100 a 200 m con el GPS con corrección diferencial. Calculada en gabinete las coordenadas UTM, se establece un triángulo formado por un vértice del petitorio y los dos puntos de base de triangulación con sus respectivas coordenadas UTM.

Se hizo el cálculo de las distancias de los tres lados como sus ángulos horizontales internos y sus rumbos respectivos, como se muestra en la figura.

Este dato se proporcionó al topógrafo para que haga el replanteo respectivo de los vértices de los petitorios, con teodolito y mira, utilizando como estación uno de los puntos de base, como vista atrás el otro punto de la misma base y como vista adelante el vértice del petitorio.

Indudablemente el replanteo con Estación Total GPS en Tiempo Real sería en menor tiempo y más preciso, no se requiere el uso del teodolito. La metodología es como sigue:

- Ubicar dos puntos de control suplementario en los puntos más altos del área de los petitorios
- Utilizar como base de referencia los puntos de control suplementario donde se estacionará el equipo GPS con su Radio transmisor
- Se configura el receptor móvil con las coordenadas UTM de los vértices, en seguida vamos en la búsqueda de la ubicación de las coordenadas de los vértices. El receptor móvil estará interconectado a un radio receptor para hacer las correcciones diferenciales en tiempo real; en la pantalla del receptor mostrará la dirección correcta a seguir hacia el vértice y las coordenadas Norte y Este que nos falta para llegar al punto por ubicar. Una vez ubicado un vértice se procede a ubicar los siguientes vértices restantes.

### **5.1.3. USO DEL EQUIPO GPS Y ESTACIONES TOTALES EN LA ETAPA DE EXPLORACION MINERA**

1.- Se traza una base o una red de puntos que abarque todo el área que se va a explorar, esto está referida a las cartas IGN a escalas: 1/100,000, 1/150,000, 1/25,000 disponibles, utilizando todo los rasgos topográficos.

La red se construye en forma similar en 5.1.2.3. enlazando con GPS geodésicos a puntos de primer orden del IGN. Estos puntos son monumentados con concreto y codificados.

TRABAJO REALIZADO EN VILQUE - PUNO

2. Luego de determinar la red de puntos, sobre el área a explorar se define las propiedades mineras con sus características respectivas como : PP, PR, PI y los vértices y área de interés en forma similar a 5.1.2.4.

3.- Pasar a escala 1/100,000 ó 1/5,000 para hacer reinterpretación topográfica que consiste en tender una red de puntos topográficos visibles y convenientes, esto debe de estar bien ubicado para trabajar bien, seguidamente se ubican puntos de relieve característicos o típicos.

Este trabajo se realiza en zonas de interés, con estaciones totales GPS, cuyo radio de alcance es de 10 Km., ¿cómo se trabaja con este equipo? ya se explicó en el Capítulo III, donde las coordenadas se determinan en tiempo real.

Como Estación Master o puntos de control se utilizan los puntos establecidos en 5.1.2.3. y las estaciones river o móvil se ubican en los puntos a determinar donde es corregido diferencialmente en forma simultánea tanto en la Estación Master y móvil, esta corrección diferencial es transmitida por un radio transmisor desde la base y recibida por el radio receptor de las estaciones móviles.

Dependiendo de la topografía del terreno, se puede determinar un promedio de 80 puntos por hora (toma de lectura 5"). Los datos los almacena en su tarjeta de memoria para luego en la oficina procesarlos y graficar.

El siguiente paso de trabajo con este equipo es hacer el contorno. Llenar de polígonos que representan afloramientos de tipo de rocas, alteraciones, fallas volúmenes, etc.

4.- Luego de este trabajo previo netamente de topografía se construye mallas para :

- Prospección geoquímica
- Prospección geofísica
- La construcción de mallas de 400 x 400  
200 x 200  
100 x 100  
50 x 100

Lo que es común en un proyecto.

En nuestro caso se construyó malla de 100 x 100 mts. como se muestra en el plano.

5.- Determinación de una red de puntos para la prospección geofísica. la dimensión de las mallas varía dependiendo del voltaje y carga del equipo, puede ser 100 ó 50 mts.

La línea de puntos y estacados en cada línea se muestra en el plano

Nota :Nuestra misión fue determinar puntos topográficos con el equipo GPS para que luego los geólogos hagan sus trabajos de exploración respectiva por tal razón es que informo netamente la parte topografica.

#### 5.1.4.- LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y TRAZO DE CARRETERA PARA EL ACCESO A UNA MINA

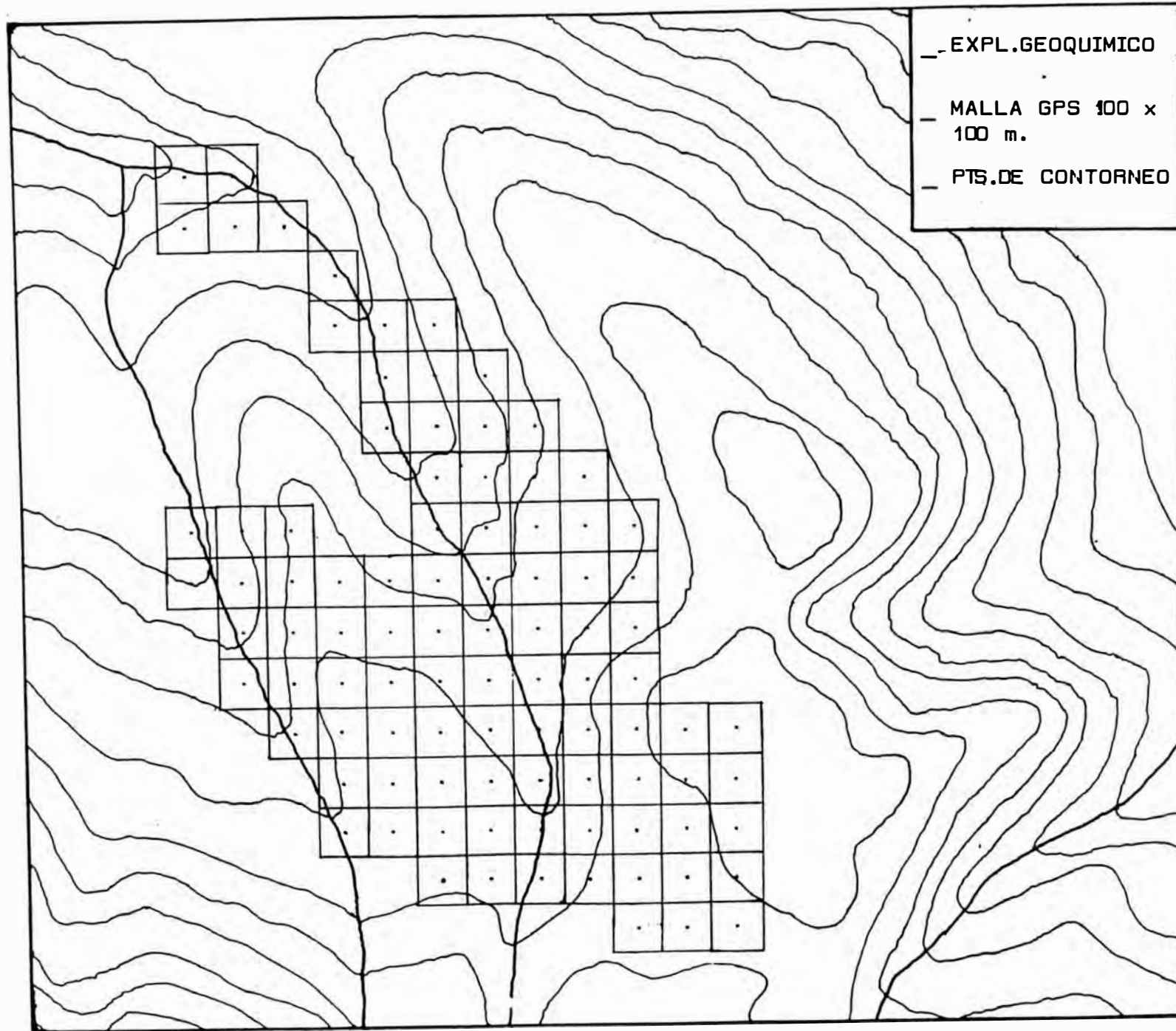
Es imprescindible contar con un cuidadoso levantamiento topografico que permita definir la ubicación precisa de todo los detalles de la mina, como también los volúmenes de material a excavar durante toda la vida del proyecto.

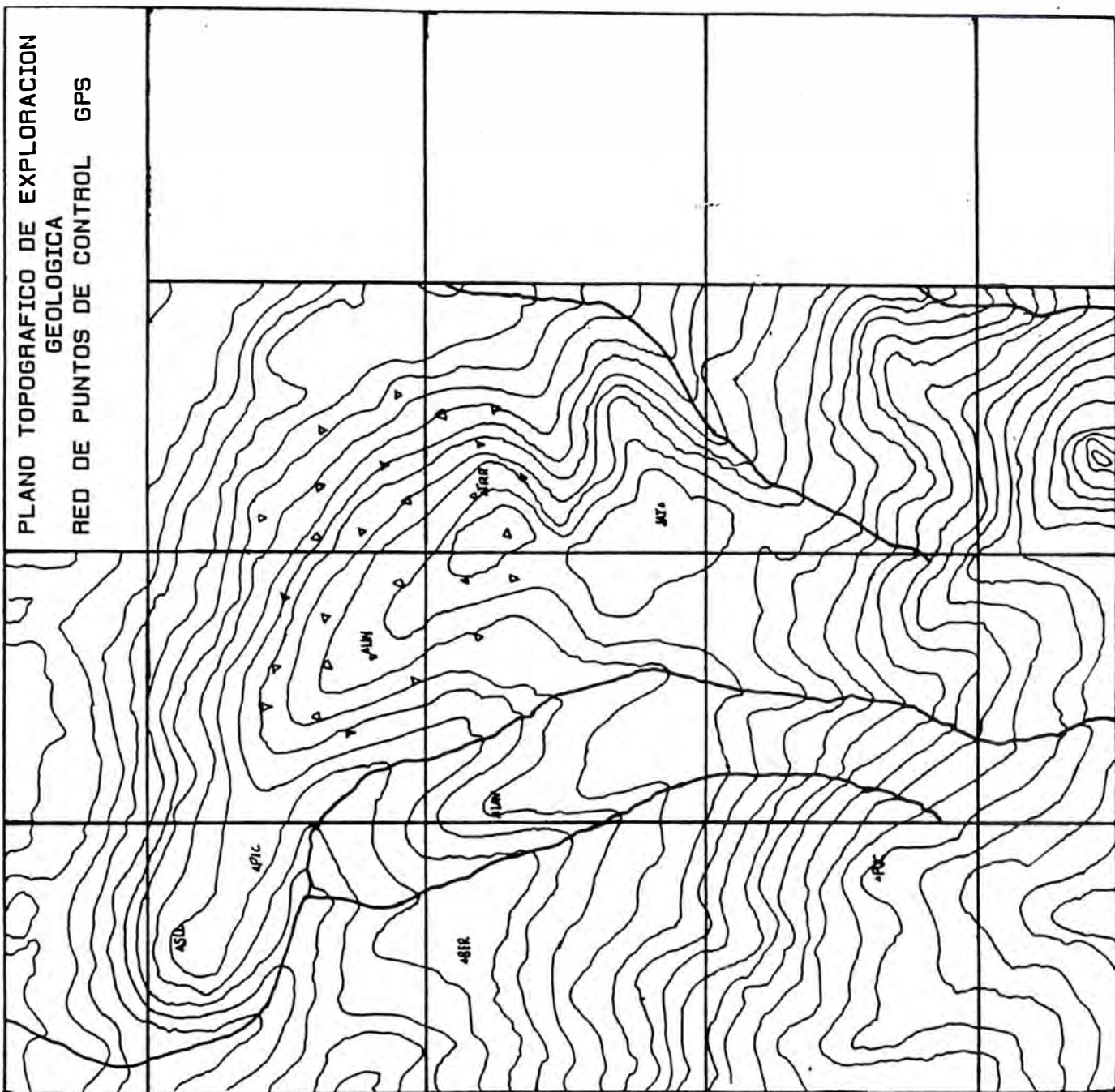
El levantamiento topográfico fue de una mina abandonada ,Santo Domingo Carabaya - Puno

Para este trabajo se tuvo que reinterpretar la topografía del terreno a una escala 1/500 como sigue : Como primer paso se establecieron 2 puntos de apoyo, luego se levantó el relieve del área de trabajo, una vez concluido este trabajo se procedió a ubicar : las labores mineras, ubicar puntos topograficos en las bocaminas, para utilizarlo en trabajos subterranos; ubicacion de campamentos, planta concentradora, canchas de relave, linea de cauville y trazo del eje de carretera 2,420 mts.

Este trabajo se hizo con GPS geodésico con corrección diferencial por no contar en ese momento con Estación Total GPS en tiempo real. El resultado se muestra en el plano adjunto.







## CAPITULO VI

### 6.1.- COMPARACION TECNICO ECONOMICA DEL GPS VS. TECNICAS CONVENCIONALES

El costo calculado es netamente del enlace geodésico para determinar las coordenadas UTM del Punto de Partida del derecho minero CAROLINA como también el cálculo del costo del enlace de dos Puntos de Partida de varios derechos mineros en la zona de Puno, más no la ubicación y verificación del Punto de Partida, es decir, previamente se ubica el Punto de Partida con el mismo método tradicional, (verificación de visuales, PR y su distancia como los vértices de la cuadratura).

La distancia horizontal entre el punto geodésico Pativilca y el PP del derecho minero CAROLINA es de 18.696 Kms.

#### COSTOS :

##### **Enlace Geodésico con GPS del P.P.**

-Tiempo requerido 1 día

- Alquiler de equipo GPS ( 1 día)	\$ 400.00
- Viáticos	107.00
- Gasolina	53.00
- Sueldo y salarios	125.00
- Otros	<u>40.00</u>
	\$ 728.00
- Costo de Post.Proceso	<u>50.00</u>

COSTO TOTAL :----- \$ 775.00

##### **Enlace Geodésico Método Convencional (equipo electrónico)**

-Tiempo requerido 5 días

-Poligonal abierta

-Alquiler de equipo	\$ 200.00
-Sueldos y salarios	240.00
-Gasolina	120.00
-Viáticos	500.00
-otros	150.00
	-----
	1210.00
Gabinete (2 días)	150.00

total -----  
1360.00

**Costo total ----- \$ 1360.00**

Para establecer una red de puntos de triangulación, se ha tomado como base dos puntos geodésicos (Antacollas Titicaca), para ubicar dos puntos de partida que son comunes a varios derechos mineros en la zona de Melgar-Puno, se concluyó el trabajo tanto de toma de datos en campo como en gabinete en dos meses (45 días). Se han establecido 23 puntos de control topográfico, mediante una poligonación electrónica de doce lados y desde las cuales se han triangulado ocho estaciones y establecido tres puntos auxiliares

Los dos puntos de partida están a una distancia 20.50 Km.

La determinación de UTM de los mismos puntos de partida con el equipo GPS enlazando con el punto geodésico Macusani: se hizo en dos días.

**- Costo : Con equipo electrónico**

- Alquiler de equipo	\$ 1,800.00
- Viáticos	3,600.00
- Gasolina	1,000.00
- Sueldos y salarios	3,750.00
- Otros	1,000.00
- Gabinete	750.00
	-----
Total	5,000.00

**- Costo Total ----- \$ 5,000.00**

**- Costo Total Con GPS ----- \$ 1,700.00**

\* El error cometido con el método convencional fue de 7 metros en determinar uno de los PP y en el otro caso fue de 9 metros, este PP está más alejado a los puntos geodésicos del IGN.

Registro Publico de Minería cobra por  
ubicar un punto con GPS ----- \$ 800.00

- Según los estudios realizados de costos y tiempo para elaborar el Catastro Minero a nivel nacional es como sigue :

- Con GPS en dos años el costo por punto con mucha precision ----- \$ 500.00
- Con sistema convencional, en 5 años, por lo tanto, el costo sería mucho mayor y con menor precision

**CONCLUSIONES:**

• Cumpliendo con los mismos objetivos, pero con procedimientos y equipos diferentes (convencional y GPS) generamos costos diferentes como se muestra a continuación:

**Enlace Geodésico del PP de un derecho minero**

<b>Método</b>	<b>Tiempo Requerido</b>	<b>Costo Ocasionado</b>
Convencional	5 días	\$ 1,300.00
Sistema GPS	1 día	\$ 775.00

**Establecimiento de una Red de Puntos de triangulación para determinar dos PP comunes a varios derechos mineros**

<b>Método</b>	<b>Tiempo Requerido</b>	<b>Costo Ocasionado</b>
Convencional	45 días	\$ 5,000.00
Sistema GPS	2 días	\$ 1,700.00

• Las cifras son elocuentes de que el uso del equipo GPS abarata los costos enormemente, se gana mayor precisión y productividad.

**6.2.- COMPARACION TECNICA REAL DEL GPS VS. REGLAMENTACION Y ALCANCES DE NORMAS OFICIALES**

**ENLACE GEODESICO DEL PUNTO DE PARTIDA (D.L. 708)**

El objetivo de esta diligencia es identificar la cuadratura de los derechos mineros no delimitados con coordenadas UTM y para este fin los titulares de derechos mineros formulados antes del 14 de diciembre de 1992, debían contratar los servicios de un perito minero de la nomina oficial para que verifique su punto de partida y posteriormente lo enlace a una base geodesica del Instituto Geográfico Nacional y/o Catastro Minero Nacional, tal como se dispone en la Decima Disposicion Transitoria del Texto Unico Ordenado, su reglamento respectivo y de acuerdo al formato oficial aprobado por el Registro Publico de Minería (se adjunta un ejemplar de este formato)

REGLAMENTO DE NORMAS TECNICAS PARA OPERACIONES PERICIALES DECRETO SUPREMO N° 40-94-EM

ENLACE GEODESICO DEL PUNTO DE PARTIDA DE ACUERDO A LO CONTEMPLADO EN LA R.D. N° 163-92-EM/DGM (15.03.93) MODIFICADA DE ACUERDO AL D.S. N° 40-94-EM (5.10.94)

Los alcances mas significativos al uso de GPS y respecto al D.L. 109 son los siguientes

Articulo 10° : d) Para observaciones Satelitales

Para determinar la posición de la estación (PP,PR,PI, vértices de la cuadratura y cuadrícula) empleando posicionadores satelitales (GPS), se utilizará el metodo diferencial con procedimiento estatico o estatico rápido.

El Método Estático.- Se utiliza para el control geodésico de distancias mayores a diez (10) km. con tiempo de observacion de dos (2) horas en promedio con 5 mm + 1ppm de error medio cuadrático (EMC)

El Método Estático Rápido.- Se utilizará para distancias menores de diez (10) Kms y para levantar detalles y levantamientos de puntos cercanos, en tiempo de observación de treinta (30) minutos por punto con precisión de 1 a 10 cm. + 1 ppm de la linea base.

Con cualquier procedimiento se debera establecer por lo menos lo siguiente :

Usar dos o mas unidades GPS de recepción de señales del mismos satelital y al mismo tiempo. Un receptor GPS estará siempre estacionado en un punto conocido (punto o señal geodesica) y la otra unidad, despues de estacionada en una señal geodésica, se desplazará al punto (s) por determinar.

Debe recepcionarse un minimo de cuatro (4) satelites al mismo tiempo para obtener mediciones tridimensionales.

Articulo 11°.- Determinación del azimut y declinacion. Para los siguientes casos

a) De un punto conocido (señal geodesica) hacia un punto de enlace sean ellos : Punto de Partida, Punto de Referencia, vertices, estaciones, entre otros.

- Se determinara mediante dos (2) observaciones estelares del sol o estrellas con cuatro (4) series de lecturas (sets) de cuatro punterias o visuales cada uno, dos (2) con el telescopio directo y dos (2) con el telescopio invertido. El error entre lecturas del azimut no debe ser mayor de diez (10) segundos.

b) Determinacion de azimut de cuadrícula

A partir de dos (2) puntos de control suplementario o señal geodésica que viene a ser el ángulo comprendido entre el Norte de cuadrícula y la linea recta que une el punto de observacion y el punto observado.

c) Determinación de declinación magnética

Se obtendrá la declinación de cartas geomagnéticas elaboradas y expedidas por el Instituto Geofísico del Perú.

La declinación magnética servirá para:

- Calcular la declinación de la cuadrícula UTM en función de la convergencia de meridianos.
- Calcular las coordenadas UTM de los vértices de cuadratura en función de la fecha de la delimitación o del denuncia si el Punto de Partida es para un solo derecho.

Si el Punto de Partida es común a varios derechos colindantes con vértices comunes, la declinación será referida al derecho más antiguo.

**NORMAS TECNICAS LEGALES**

Observaciones satelitales

Método Estático: distancias a 10 Km.

Tiempo de Observación: dos horas

Error medio cuadrático: 5mm + 1ppm

Satélites recepcionados: =4 satelites

Método Estático Rápido: distancias a 10 Kms.

Tiempo de observación: 30 minutos

Error medio Cuadrático: 1 a 10 cm + 1ppm.

Satélites recepcionados : a 4 satélites

**ESPECIFICACIONES TECNICAS DE EQUIPOS GPS**

surveyor 4000 SSE TRIMBLE

Precisión Horizontal : + 5mm+1ppm tipo por línea de base

Precisión Vertical: +-5 cm + 1ppm por línea de base

Peso : 3.1. Kg.

Temperatura de operación:-20°a + 55°c

Resistencia medio ambiente:100% h humedad

Modos de medición : Estático, cinemático

Canales : 12 en codigos C/A y P

Frecuencia : 2 (L1 y L2)

Distancia de Estaciones hasta 1000 Kms.

Satelites observados : 12

**GPS WILD SR 298**

Precisión Horizontal : 5 mm + 1 ppm

Presión Vertical

Peso 2.3 Kg.

Temperatura de

Operación -20° y + 50°c

Resistencia Medio

Ambiente 100 % de humedad

Modos de medición : Estatico, estatico

Canales 9 canales

Frecuencia -2)L2 y L1)

Distancia de estaciones : 20 Km.  
Satélites observados : 9 satélites

ESTACION TOTAL GPS TRIMBLE 4000

Precision horizontal : 1 cm + 2 ppm por base linea  
Precision vertical : + 2 cm. + 2 ppm por base linea  
Peso : 5.4 Kg.  
Temperatura de operacion : - 20<sup>o</sup> a + 50<sup>o</sup>c  
Resistencia medio ambiente : 99%  
Modos de medicion : Estatico automatico  
Cinematico automatico  
Canales : 9 canales  
Frecuencia : 2 (L1, L2)  
Distancia de estacion : 20 Km.  
Satélites observados : 9 canales



## CONCLUSIONES

- Asi como en su oportunidad fue indispensable el teodolito, actualmente GPS es el método de aplicación en geodesia y procedimientos topográficos.
- La utilización de la metodología GPS en las diversas aplicaciones que tiene en Minería es indudablemente mas rápida y eficiente que los métodos topograficos convencionales.
- El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y la Estacion Total GPS, permiten afrontar trabajos de geodesia y topografía con mayor rapidez, eficiencia, economia y precisión superando ampliamente los métodos tradicionales.
- GPS en tiempo real es la tecnica perfecta para llevar a cabo levantamientos de puntos de control local para detalle, de ingeniería civil, en la exploración de yacimientos mineros, para replanteos en areas abiertas y pequeñas donde apenas haya obstrucciones que evitan el empleo de un radio modem.
- La combinacion del receptor móvil y unidad de control (estacion de referencia) posibilita la indicacion continua de la posicion en coordenadas WGS84 o coordenadas de sistemas locales, como SUD-56 geográficas y UTM.
- Este sistema GPS permite una navegacion en tiempo real. En la pantalla del receptor se obtiene informacion instantanea acerca del curso de velocidad, la distancia, la posición, rumbo y la distancia a puntos de distintos datos. Este en el desierto, la selva o alta mar, siempre sabra donde se encuentra y que direccion tomar.
- El proceso de cálculo (post-proceso) de la estación Master y móvil conocidos como "traslocacion" es a traves de software para equipos GPS; obteniendose precisiones menor al centimetro.
- La proyección UTM se acomoda para nuestra cartografía siendo muy util y aplicada para demarcaciones mineras en cuadrículas de 1 Km x 1 Km.
- Como se muestra en los cálculos de los costos, es eficiente y economico que los métodos tradicionales, sustituyendo al método de la triangulacion.
- El uso de las estaciones totales GPS en tiempo real aumentan la productividad de muy diversas maneras en trabajos topográficos como: Obtener perfiles y secciones de un terreno, replanteo de PP de derechos mineros, replanteo de petitorios, en exploraciones geoquímicos y geofísicos.etc.

En muchos casos, la aplicación de la metodología GPS los costos son sensiblemente inferiores en relacion a los métodos topográficos convencionales, manteniendo la precisión requeridas.

## RECOMENDACIONES

- Para conseguir precisiones compatibles con la topografía o la geodesia, los datos GPS deben ser tomados en aplicación de la metodología diferencial con una estación de base de primer orden

- Tomando datos desde dos estaciones simultáneamente, muchas de las fuentes de error que están asociadas al posicionamiento GPS (errores en las órbitas, efectos atmosféricos, derivados del reloj, etc.) pueden ser minimizados o aun eliminados.

Sin embargo, esta precisión depende de varios factores como el número de satélites, la geometría de la constelación, el tiempo de observación, la efemérides, la ionósfera, la resolución de ambigüedades, etc.

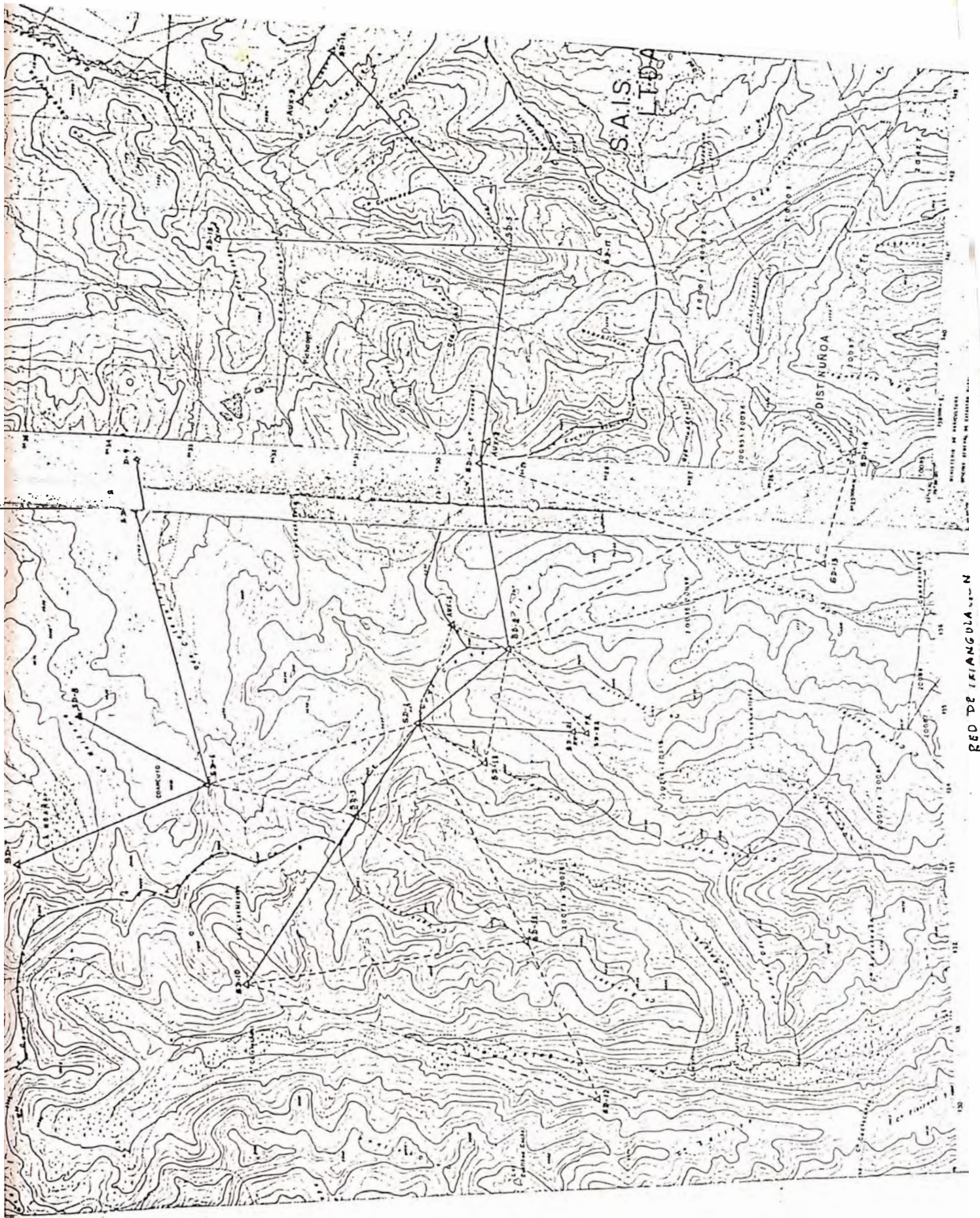
- Es importante que los datos sean capturados en el mismo intervalo de tiempo en ambos procesos

-Para automatizar registro de datos, por ejemplo durante largos periodos de medición en estaciones de referencia, puede conectarse el receptor a una computadora personal que disponga de programas SPCS o PFCRS.

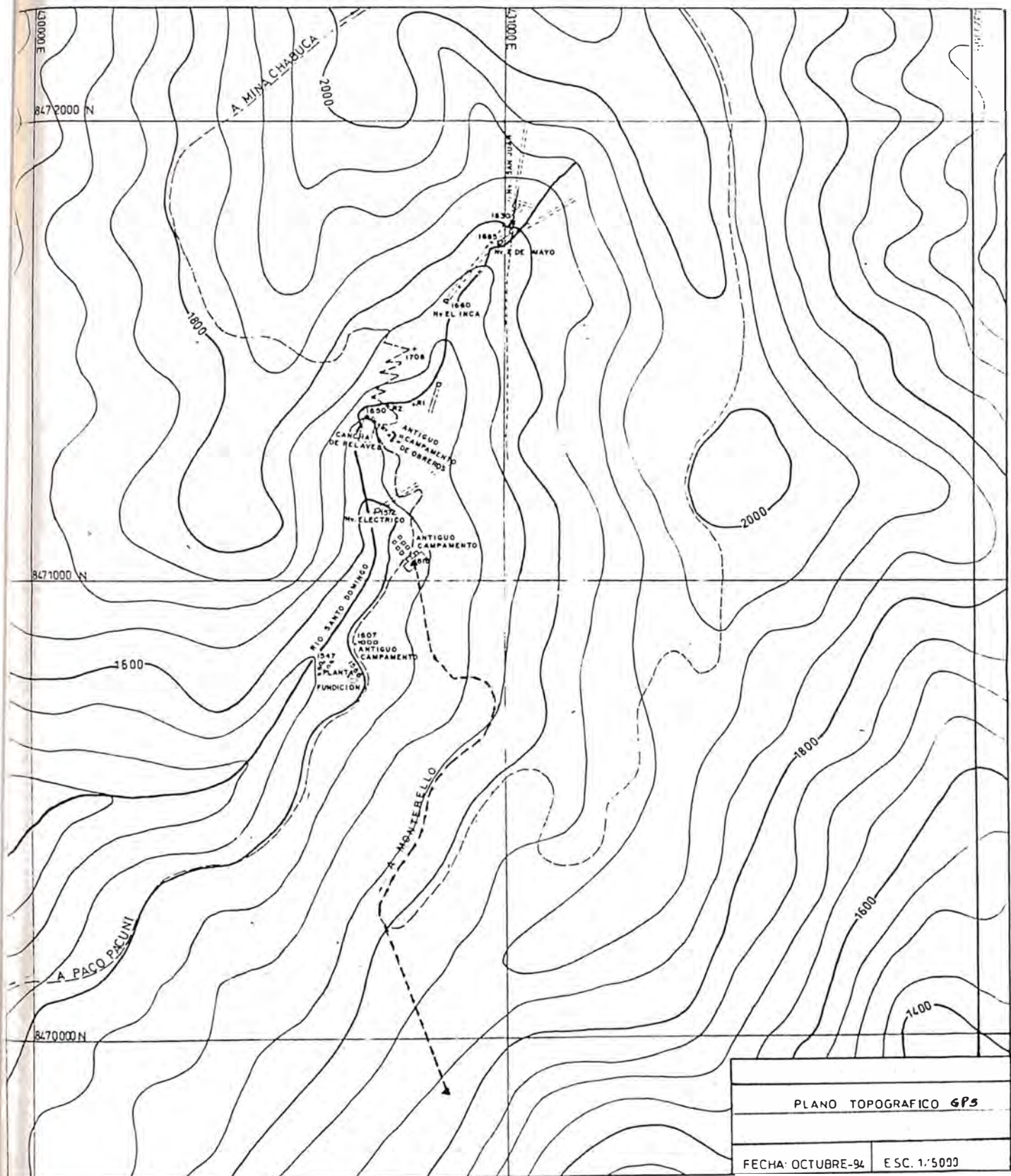
- Establecer con alta precisión y rapidez puntos de control geodésicos de primer orden en toda las áreas mineras, tomándose como base las señales geodésicas del IGN.

-Antes de hacer el enlace con GPS verificar primero elementos técnicos de un denuncia o concesion minera (PP.PR, vértices y perfiles, etc.), mediante la comprobación de sus visuales, Azimuts y distancias.

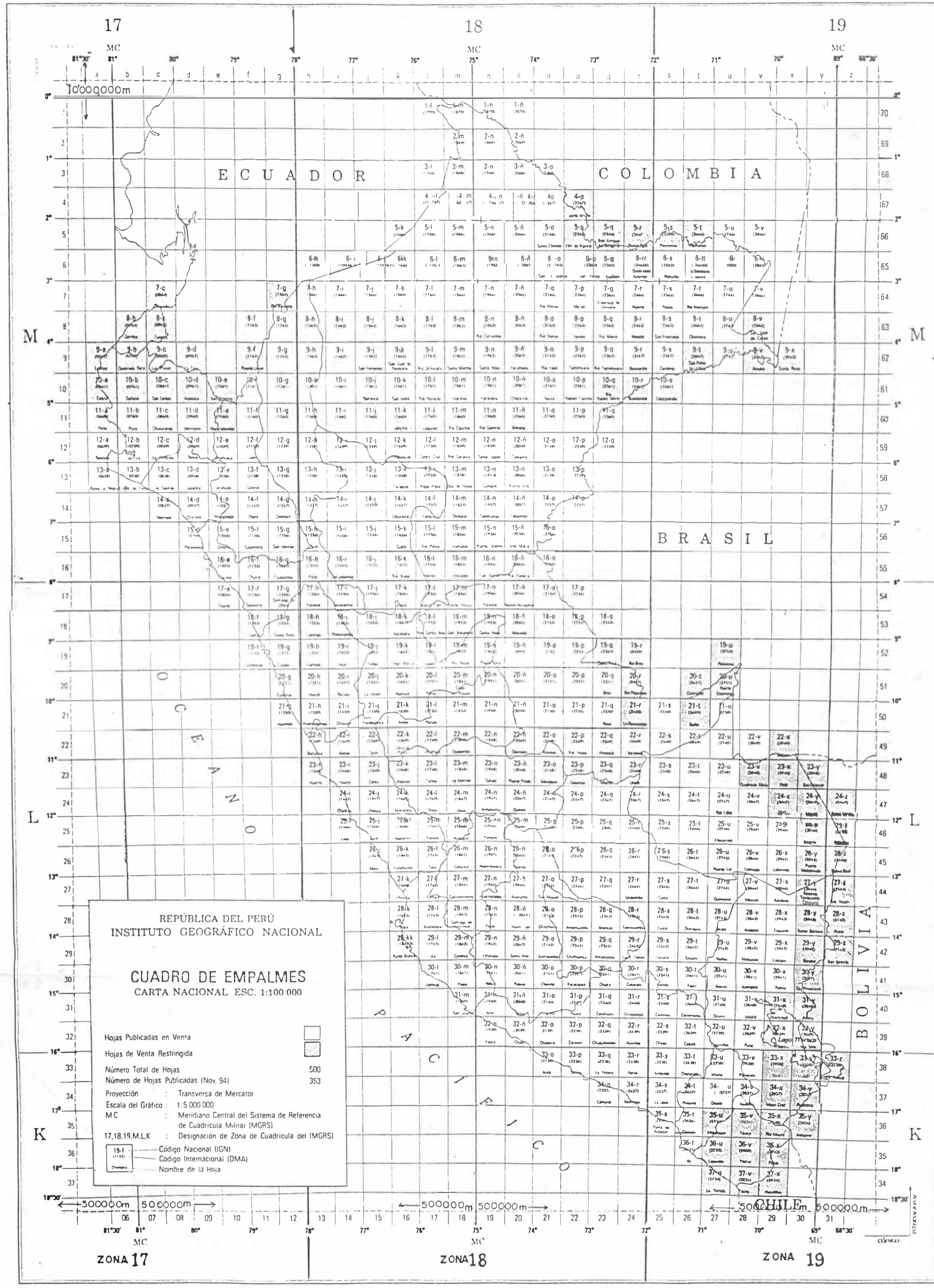
- Los tiempos de observación no pueden determinarse de forma exacta. Dependen de la longitud de la línea de base, el número y la geometría de satélites, las condiciones: ionosféricas y topográficas. Pues hacer mediciones en una quebrada muy cerrada es difícil y en la parte alta de la misma quebrada es más cómodo y con mayor precisión.



RED DE TRIANGULAÇÃO



PLANO TOPOGRAFICO <b>GPS</b>	
FECHA: OCTUBRE-94	ESC. 1:5000



REPÚBLICA DEL PERÚ  
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

**CUADRO DE EMPALMES**  
CARTA NACIONAL ESC. 1:100 000

Hojas Publicadas en Venta	
Hojas de Venta Restringida	
Número Total de Hojas	500
Número de Hojas Publicadas (Nov. 94)	353
Proyección	Transversa de Mercator
Escala del Gráfico	1:5 000 000
MC	Meridiano Central del Sistema de Referencia de Cuadrícula Militar (MGRS)
17,18,19.M.L.K	Designación de Zona de Cuadrícula del (MGRS)
19-f	Código Nacional (IGN)
Chimbo	Código Internacional (DMA)
	Nombre de la Hoja

ZONA 17

ZONA 18

ZONA 19

## BIBLIOGRAFIA

- SATELLITE GEODESY : Foundations, Methods and Applications  
Gunter See Ber
- ASTRONOMIA DE POSICION : Ricardo R. Santos R.
- THE WAMSTAR GLOBAL POSITIONING SYSTEM : Tom Logsdon
- PFINDER : Software User's Guide  
Trimble Navigation
- LAS ESTACIONES TOTALES : Trimble Navigation
- GPS EN TIEMPO REAL : Química Suiza
- ACTUALIZACION Y LEGISLACION MINERA, ASPECTOS JURIDICOS Y  
TECNICOS : Paul Alva, Alex Castilla, Henry Luna
- CURSO DE GPS : Principios Básicos de Geodesia, Cartografía GPS  
Ing. Ralfo Herrera
- CATASTRO Y DERECHOS MINEROS : PERU MINERO
- EL PERU MINERO TOMO I : Mario Samamé Boggio
- CODIGO DE 1900 : Publicación Oficial
- TOPOGRAFIA GENERAL : Serrahima y Urpi S.L.
- UNIFICACION DE CRITERIOS EN LA EJECUCION DE DILIGENCIAS  
PERICIALES MINERAS : Registro Publico de Minería