

### Hablemos de algunos PORTICOS ...

En nuestro primer encuentro conversamos ya sobre algunos pórticos, hablamos sobre la puerta de entrada a esta cátedra, luego de la puerta de entrada a la vida profesional del Agrimensor, también sobre el pórtico que flanqueado por dos musas, un colega, en el año 1600 imaginó como la entrada al conocimiento de la Topografía.

▪ **Ahora, en la puerta de entrada de este capítulo, los invito a que atravesemos otros pórticos...**

En el pórtico de entrada de la Academia de Filosofía de Platón, había un cartel que sentenciaba: “ **Nadie que no sepa Geometría entre aquí** ”. El maestro ateniense ponía a la Geometría en el más alto sitial, y no era por la utilidad práctica de sus enseñanzas, sino porque la consideraba vital para **educar a los cerebros en la inteligencia de las ideas**. (extraído del Tratado de Geometría Analítica Donato Di Pietro)

En el mundo antiguo existieron muchísimos “oráculos”, lugares donde por intermedio de sacerdotes o de bellas pitonisas, se transmitía a los “suplicantes” el mensaje de los dioses.

El oráculo Griego más famoso, fue el “Delphos”. Allí, los suplicantes se comunicaron durante 1100 años con el Dios Apolo. Pero en ese mismo lugar y 1000 años antes del reinado de este dios, quién transmitía las profecías era la diosa “**Gea**”, que había elegido ese lugar por considerarlo el centro del universo. La diferencia entre ambos dioses no era mucha, salvo que el primero profesaba en un monumental templo, mientras que la diosa daba sus cátedras en una cueva. Pero había algo que ambos oráculos tenían en común y que resultaba la clave de todas las profecías. Tanto en la entrada de la cueva, como en el **pórtico** del fastuoso templo, había un cartel que modestamente aleccionaba sobre la principal máxima universal : “**Conócete a ti mismo**”.

#### **Pórtico sobre la palabra** Eduardo Galeano escritor y poeta uruguayo

*I.- Los cuentacuentos, los cantacuentos, sólo pueden contar mientras la nieve cae. Así manda la tradición.*

*Los indios del norte de América tienen mucho cuidado con este asunto de los cuentos. Dicen que cuando los cuentos suenan, las plantas no se ocupan de crecer y los pájaros olvidan la comida de sus hijos*

*II.- En Haití, no se pueden contar cuentos durante el día. Quien cuenta de día, merece la desgracia: la montaña le arrojará una pedrada a la cabeza y su madre sólo podrá caminar en cuatro patas. Los cuentos se cuentan en la noche, porque en la noche vive lo sagrado, y quien sabe contar cuenta sabiendo que el nombre es la cosa que el nombre nombra*

*III.- En lengua guaraní, ñe'~e significa "palabra" y también significa "alma". Creen los indios guaraníes que quienes mienten la palabra, - o la dilapidan - son traidores del alma....*



#### **Pórtico sobre la Memoria** Eduardo Galeano

A orillas de otro mar, otro alfarero se retira en sus años tardíos.

Se le nublan los ojos, las manos le tiemblan, ha llegado la hora del adiós. Entonces ocurre la ceremonia de la iniciación: el alfarero viejo ofrece al alfarero joven su pieza mejor. Así manda la tradición, entre los indios del noroeste de América: el artista que se va entrega su obra maestra al artista que se inicia.

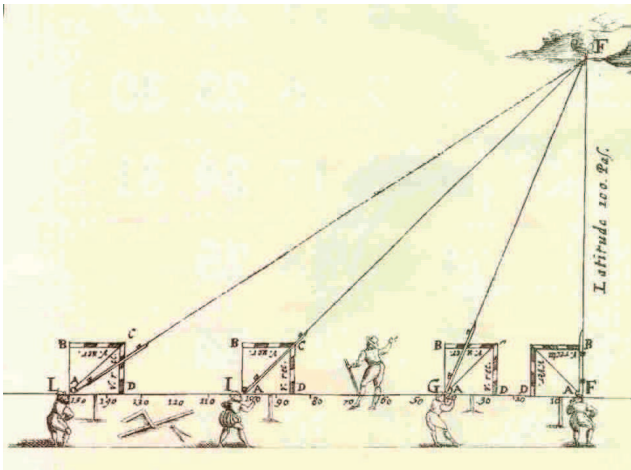
Y el alfarero joven no guarda esa vasija perfecta para contemplarla y admirarla, sino que la estrella contra el suelo, la rompe en mil pedacitos, recoge los pedacitos y los incorpora a su arcilla....

#### **Pórtico sobre la Utopía** Eduardo Galeano

*Ella está en el horizonte - dice Fernando Birri -. Me acerco dos pasos, ella se aleja dos pasos. Camino diez pasos y el horizonte se corre diez pasos más allá. Por mucho que yo camine, nunca la alcanzaré. ¿Para que sirve la utopía? - Para eso sirve: para caminar.*

## Capítulo 2. Sistema de Apoyo

### Sistemas de Referencia Marco de Referencia



*En este capítulo no se pretenderá enseñarle nada nuevo al alumno sobre Sistemas y Marcos de Referencia, ya que sin lugar a dudas es un tema que domina ampliamente, pues ha sido visto, estudiado, y aplicado en las materias ya cursadas del área de la Geometría territorial (Topografías, Cartografía, Geodesia, Sistemas de Información Geográfica y Astronomía). Aquí solo se pretenderá repasar algunos conceptos y analizarlo desde el punto de vista de su aplicación en la temática desarrollada, integrándolo al desarrollo de la asignatura.*

*Tal como ya hemos mencionado en el capítulo anterior, el campo de aplicación de las Mediones Especiales es tan amplio, que se emplea tanto en un espacio tan reducido, como puede llegar a ser el hábitculo de una máquina en una industria, o tan extenso cómo el levantamiento de todo un territorio.*

*De modo tal que conforme estemos trabajando en el área de la microgeodesia, de la topometría o de la geodesia, y conforme sea la finalidad del trabajo, emplearemos siempre simultáneamente dos o más sistemas de referencias, y dos o más sistemas de coordenadas.*

*Más aun, cuando desde esta cátedra se viene bregando por la obligatoriedad de la georreferenciación, en todo proyecto de obra pública.*

*Por tal motivo creo conveniente realizar, un breve recorrido por los distintos sistemas que emplearemos, trayendo a la memoria algunos conceptos sobre la forma de la tierra.*



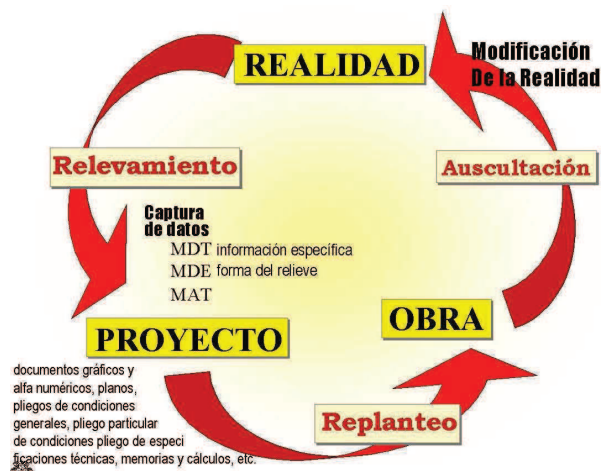
## 2.1 Introducción

### 2.1.1 Etapas Secuenciales de medición

Recordando lo que ya hemos comentado en el capítulo anterior: El Agrimensor interviene en forma directa en 3 etapas secuenciales bien marcadas:

- en la captura de datos y de la información que servirá de base para la elaboración del proyecto ejecutivo.
- en las mediciones destinadas al replanteo del proyecto en el terreno, el control geométrico y las mediciones de certificación.
- en las mediciones destinadas a monitorear las deformaciones de la construcción.

En reglas generales, se cumple siempre con la siguiente secuencia de acciones:



1. Existe una **realidad**: Una porción de la corteza terrestre con todo lo edificado y plantado sobre ella, con construcciones (interferencias) aéreas y subterráneas, mejoras reales y culturales, objetos visibles e invisibles (como son por ejemplo los Derechos Reales).
2. Se realiza un relevamiento o **captura de datos** de la Realidad, los cuales una vez procesados y compatibilizados con los antecedentes consultados, son la base para la construcción de un modelo ideal (abstracto) de la realidad.
  - El resultado es la generación de un **modelo digital del terreno (MDT)**, cuyo propósito es la elaboración de la planimetría general, sobre la cual se asentará la **información específica** para el estudio de la obra particular.
  - Y la elaboración de un modelo derivado del mismo, el **modelo digital de elevaciones (MDE)** que tiene por finalidad la representación de la **forma del relieve**.
  - También generará planos topográficos, perfiles y secciones transversales en soporte papel, también llamados modelos analógicos del terreno (MAT).

**REALIDAD** → Captura de datos → Modelo Digital → MDE

- Tomando como base estos modelos de la realidad, un equipo de proyectistas integrado por un grupo numeroso de profesionales y técnicos, especializados en distintas ramas de la Ingeniería, se abocará a la confección del **proyecto ejecutivo**.

Una vez finalizados los estudios, los resultados se plasmarán en un conjunto de documentos gráficos y alfa numéricos, planos, pliegos de condiciones generales, particulares, de especificaciones técnicas, memorias y cálculos, etc. que conformarán el proyecto ejecutivo.

Modelo Digital → **PROYECTO** → Modelo Digital Modificado

- Cuando haya sido adjudicada la obra, la empresa contratista llevará adelante la construcción de la obra, para tal fin un equipo de topógrafos ejecutará las mediciones destinadas al **replanteo** de las partes que componen la obra.

En las mediciones y procesos que realizamos para ejecutar el **replanteo**, realizamos un proceso mental inverso, a fin de materializar en el terreno una realidad modificada a partir de un modelo abstracto.

Entendemos por Replanteo, el conjunto de tareas, mediciones y cálculos tendientes a materializar en el terreno posición de puntos, ejes, alineaciones rectas y curvas que definen la esencia geométrica de las partes y etapas constructivas que componen la obra.

**PROYECTO** (modelo digital) → Replanteo → **REALIDAD MODIFICADA**



Como vemos, en toda obra de Arquitectura o Ingeniería, la primera tarea es siempre la del Agrimensor. Continuamos midiendo durante toda la ejecución de la obra, y aún después de finalizada la misma ... seguimos midiendo.

Ya habilitada la obra para el uso al que fue destinada, se realizan mediciones periódicas para determinar movimientos o deformaciones. A estas mediciones se las denomina **Auscultación**.

Vemos que se trata de una actividad circular, ya que sobre la realidad modificada seguramente alguna vez volveremos a realizar alguna otra tarea. Reiteradas veces se vuelve a diseñar un proyecto, una ampliación o una modificación, sobre una obra ejecutada muchos años antes.... y la rueda de la historia volverá a girar.

## 2.1.2 La obra es un gran Rompecabezas

Intentaré con esta metáfora analizar como las etapas secuenciales antes vista, se concatenan y relacionan entre sí. Para tal fin los invito a agudizar un poco vuestra imaginación:



Imaginemos por un momento que al realizar el modelo ideal que representa a la realidad, relevamos un cuadro compuesto por un marco y cientos de piezas perfectamente entrelazadas entre sí, como si fuese un puzzle tridimensional.

*Para dar un ejemplo muy sencillo: piensen en un espacio verde de barrio (plaza pública), y descompónganlo en todas las partes que lo integran:*

Árboles, arbustos, farolas de iluminación, veredas, canteros, juegos infantiles, una calesita, bocas de riego, cámaras de desagües pluviales, bocas de registros de la red cloacal, cordones cuneta, bocas de tormentas, bancos de plaza, cercos (de alambrado olímpico, de ligustros), redes eléctricas (líneas y postes de baja tensión, líneas de media tensión, transformadores), líneas y postes de telefonía, de video cable, etc. En lo que se refiere a objetos visibles, pero también están aquellos que no se ven: el límite de la propiedad, una servidumbre, un proyecto adjudicado pero aun no ejecutado, la cañería del sistemas de riego, las tuberías de los desagües pluviales y de la red cloacal, el tendido de cables subterráneo etc.

Cuando generamos la maqueta geométrica, todos estas piezas encajan en un todo compacto.

2

La obra al ser creada (cuando aún es una idea), es decir mientras está en la mente del proyectista, es un también todo.

A medida que el consultor va armando su equipo de trabajo, y convocando a trabajar a profesionales de distintas disciplinas, y desarrollando los proyectos de cada uno de ellos, se van a ir **sumando al puzzle original decenas piezas nuevas y distintas**.

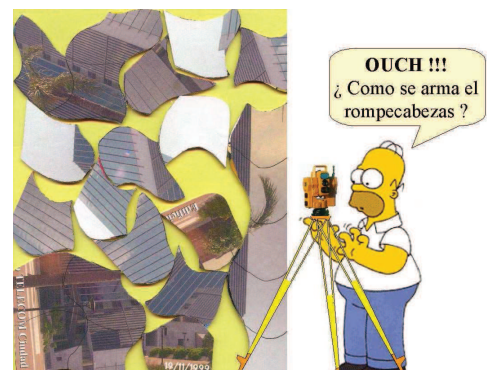
Continuando con nuestro ejemplo supongamos que sobre nuestro relevamiento del espacio verde, los proyectistas diseñen un grupo edilicio integrado por varias torres. Habrá pues, un proyecto de instalaciones sanitarias, otro de instalaciones eléctricas, de parquisiones, de iluminación, de obras viales de acceso y playas de estacionamiento, de fundaciones, de colocación de insertos, de estructuras metálicas, de apuntalamiento y encofrados, de estructuras premoldadas, etc.



Imaginemos ahora que al trabajar los proyectistas cambien de forma, de dirección y de tamaño varias de esas piezas del rompecabezas; pero al ser el proyecto en su conjunto un modelo virtual de la realidad modificada, continúa siendo **un rompecabezas ideal**, donde todas las piezas siguen empalmando perfectamente entre sí y a su vez encuadra con el marco original.

*Por ejemplo: parte del sistema de desagües existente actualmente será demolido, y el nuevo sistema que evacuan los líquidos pluviales del conjunto edilicio, empalma correctamente con el sistema viejo en distintas partes. De igual modo ocurre con la red cloacal, la red de gas, y de provisión de agua potable. Además todo el proyecto queda perfectamente encerrado dentro de los límites que fija la mensura de la propiedad*

Pero al dar comienzo los trabajos de la construcción, y al tener el topógrafo que empalmar las distintas partes que conforman la obra, éste se ha convertido en un **puzzle real**, en escala 1:1, en donde ya las piezas no van a empalmar estrechamente entre sí, sino que los inevitables errores de medición cometidos en el replanteo, se sumarán a los errores de medición cometidos en el relevamiento que sirvió de base al proyecto, causando que las piezas ya no encajen tan perfectamente entre sí.





Cuando se ejecuta una obra, ésta no comienza en la progresiva cero, y termina en la progresiva final, sino que se abre en todos los frentes posibles, y va creciendo hasta que cada una de las partes se tocan y empalman con los frentes vecinos.

Al planificar los distintos frentes de ataque, el Gerente de Proyecto, fracciona aun más a la obra y agrega más piezas al gigantesco puzzle, centenas de piezas a encajar y en distintos niveles.

En la foto vemos la imagen aérea de la construcción de una central termoeléctrica. Observamos las distintas partes que la componen y como éstas se vinculan estrechamente entre sí.



*Así por ejemplo: la obra de toma se vincula con la central de bombeo, luego con las cisternas, las turbinas, y finalmente ésta con la chimenea de salida del vapor.*

En la mayoría de las obras de arquitectura, la metáfora aquí utilizada de “rompecabezas” se vé más clara, cuando los edificios se “arman” con paneles, tabiques, columnas y losas premoldeadas.

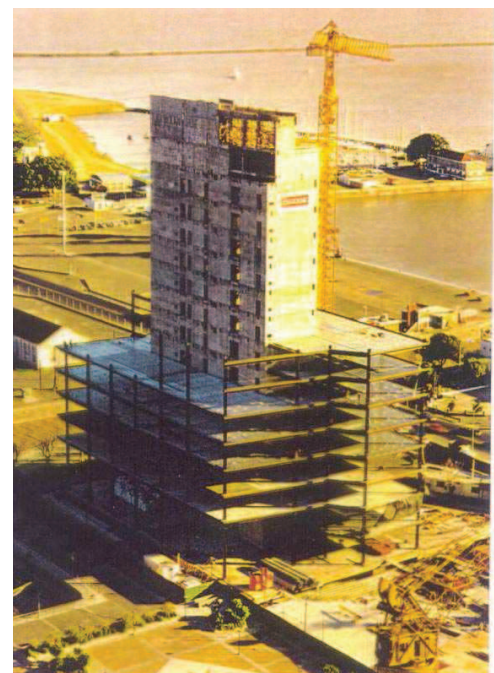
**Cada pieza pre fabricada debe calzar en el espacio justo que estaba previsto.**

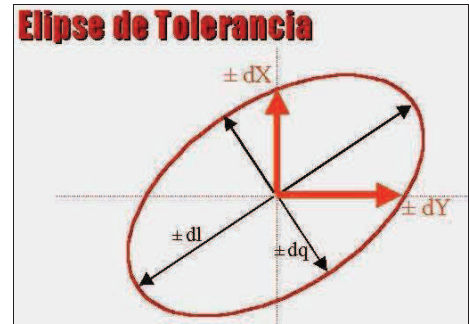
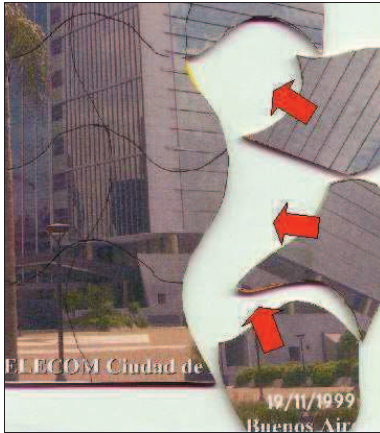
Estas enormes piezas, a veces se construyen en pistas fabricadas en la misma obra, y otras veces a miles de Km. de distancia.



También hay obras como la de la fotografía, donde se dan los dos casos:

- un ropecabezas armado a partir de piezas fabricadas in situ.
- con piezas de hormigón premoldeadas.
- y con estructuras metálicas colgadas del nucleo central de hormigón armado.





Volviendo a nuestro juego de la imaginación, figurémonos a nosotros mismos replanteando cada una de dichas piezas en el terreno, cada parte, estructura o bloque en que se compone la obra. Evidentemente cada una de ellas deberá encajar con las piezas vecinas dejando entre ellas, tan solo un pequeño espacio de contacto.

Este espacio viene dimensionado por la **elipse de tolerancia**, también llamado “máximo error admisible”.

Por lo tanto, habrá que hacer una correcta acotación de errores a fin de garantizar que se cumpla en cada empalme, esa pequeña elipse de error admitida previamente, y por supuesto garantizar también, que toda la maqueta en escala real, coincida plenamente con las piezas originales (que ya existían en la realidad) y al mismo tiempo con el marco que las encierra.

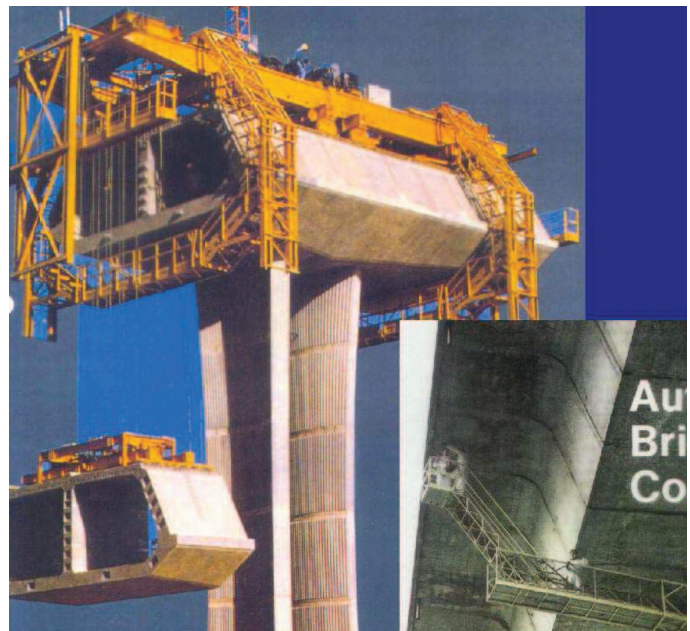
- ¿ cual es el valor del vector max. error admisible ?
- ¿ cual es la dirección de este vector ?
- ¿ cómo se lo define ?

1 En la foto principal, vemos un viaducto realizado con piezas de hormigón prefabricadas y luego pos te-sada.

Obsérvese las guías y ranuras de anclaje, que fijan una pieza con la vecina.

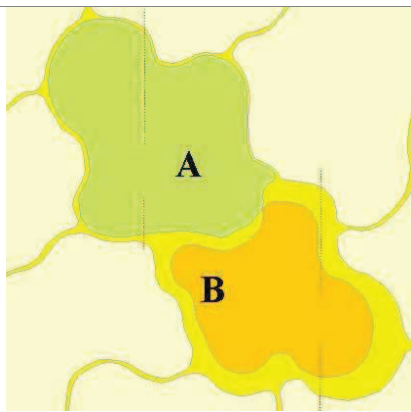
2 En la segunda foto (abajo derecha) vemos cual es nuestra tolerancia planimétrica en la dirección longitudinal, 1/3 del espesor de la junta de dilatación.

Generalmente el nexo entre dos estructuras de hormigón es una **junta de dilatación**, y ésta es precisamente la que define la tolerancia.

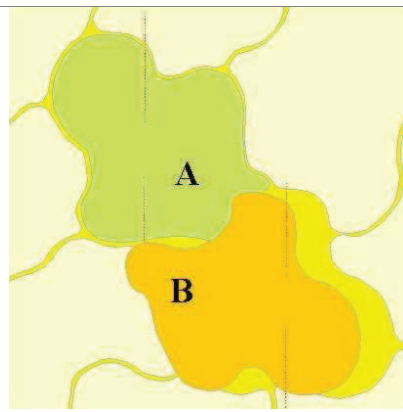


Entre una estructura metálica y un bulón de anclaje inserto en una estructura de hormigón, el que define la tolerancia es el diámetro de un pequeño ojal de escasos centímetros.

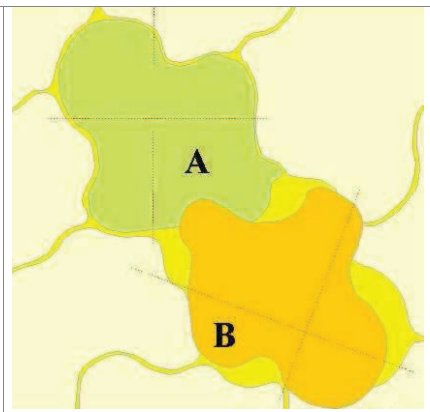




**error de escala.**  
Toda la pieza se ha escalado en la dirección de los ejes.



**error de traslación.**  
Toda la pieza se ha trasladado en la dirección de un eje.



**error de rotación.**  
El bloque está centrado en el origen, pero alguno de los ejes (o los dos) se ha rotado

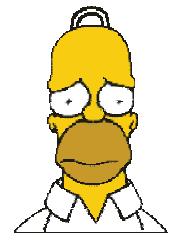
Tal como hemos dicho antes, al replantear una obra se acumulan una serie de errores que comienzan con los errores de medición del relevamiento, se le suman los errores matemáticos y geométricos ocurridos en la elaboración del proyecto, y finalmente se le adicionan los errores de medición del replanteo y los errores constructivos.

Luego puede ocurrir que algunas de las piezas no encajen en el rompecabezas, causando un grave y costoso perjuicio a la empresa constructora.

Imaginémonos que sucedería, si alguna de las piezas tuviese **distinta escala**, o que se deforme en alguna de las 3 dimensiones, **que haya rotado**, o **desplazado**.



**El resultado sería una catástrofe total !!!!**



El **error de rotación**, es tal vez el caso más frecuente, y generalmente sucede cuando los topógrafos emplean el método de las alineaciones para el replanteo de ejes.

Volviendo a nuestro esquema inicial, arribamos a la conclusión que debe haber un **sólido nexo de unión**, que vincule estrechamente las mediciones del relevamiento, con el proyecto ejecutivo y con las mediciones de replanteo para la construcción de las obras.


Por supuesto que, si la obra va a ser **monitoreada** periódicamente, a fin de registrar las deformaciones, es obvio que las mediciones de auscultación necesariamente deberán estar atadas a las anteriores.



Y todo esto debe estar también rígidamente vinculada con la realidad, pues en la casi totalidad de las obras realizadas, éstas empalman y se vinculan con obras existentes. Un canal proyectado en algún punto empalma con canales existentes.



Seguramente los desagües pluviales, o los desagües cloacales deberán funcionar con una red (o un sistema) ya existente

 Pero además, y algo que muy frecuentemente los proyectistas olvidan, todo el proyecto en su conjunto debe estar contenido dentro del límite de propiedad, **de la mensura**.

La obra **No** puede invadir derechos de terceros, servidumbres o el dominio público.

En este caso también ocurren errores, que ya antes habíamos mencionado, de escala, de traslación o de rotación, causando que la obra en su conjunto, genere polígonos de ocupación en propiedades vecinas.

Ello sólo se consigue mediante la construcción de un **sólido y rígido**

### Sistema de Apoyo

## 2.2: Sistema de Apoyo

### Que es un Sistema de Apoyo?

Una estructura geométrica, que vincule estrechamente la **realidad** con el **proyecto**, y ate con hilos invisibles las piezas del puzzle, asegurando la elipse de tolerancias.

Un sistema de apoyo es la columna vertebral que sirve de sustento, fija la escala, garantiza la homogeneidad de las exactitudes y asegura una estrecha relación entre

**el levantamiento topográfico → el proyecto ejecutivo → y el replanteo de las obras**

Es el Sistema de Apoyo, la columna vertebral que sostiene, fija la escala, garantiza la homogeneidad de las exactitudes y asegura una estrecha relación entre:

**el levantamiento topográfico → el proyecto ejecutivo → y el replanteo de las obras**

Al **Sistema Geométrico de Apoyo** lo conforma:

 el Sistema de Referencia

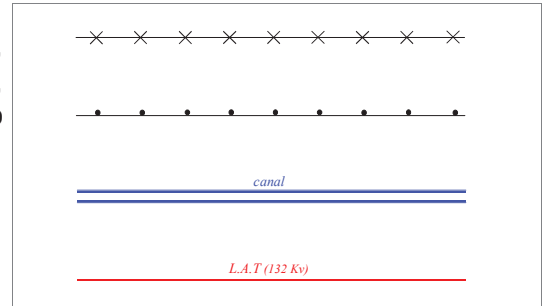
 el Marco de Referencia.

## 2.3: Sistemas de Referencia

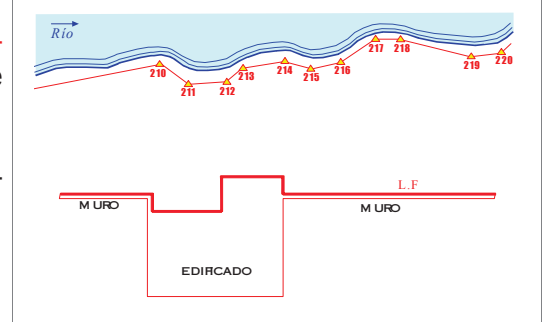
### 2.3.1: Introducción

Como ya sabemos de otras materias, todo objeto a representar, puede ser idealizado por los **elementos geométricos** que lo componen, así por ejemplo:

**1.-** Un límite de propiedad (alambrado, cerco olímpico, cerco de madera, muro bajo, línea entre mojones, etc.), un canal de riego, una línea de Alta Tensión, etc. se lo representa mediante una **línea recta**.

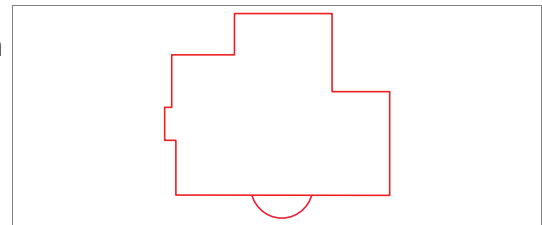


**2.-** Otra representación de un límite, podría ser un **polígono abierto de líneas rectas**, por ejemplo una línea de ribera.

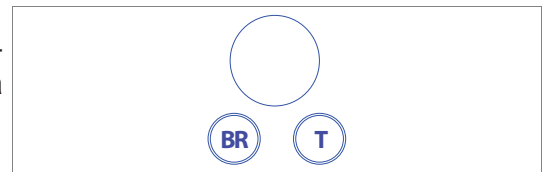


O también, un **polígono de líneas quebradas**, como podría ser la representación de una línea de frentes.-

**2.-** Una construcción, se la puede esquematizar por un **polígono cerrado de líneas rectas y curvas**.

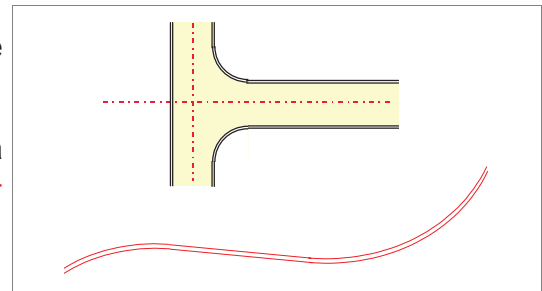


**3.-** Un tanque cisterna, una boca de registro, o una cámara de telefonía puede ser idealizada mediante una **circunferencia o un círculo**.



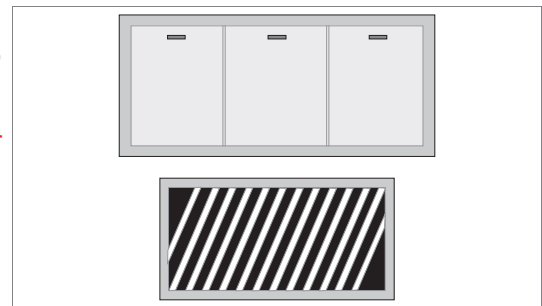
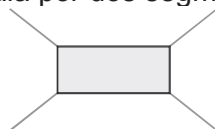
**4.-** Una intersección de caminos, por un conjunto de **líneas rectas y líneas curvas**.

Un camino, una carretera o una ruta, por una línea mixta formada por **líneas rectas y líneas curvas (circunferencias, clotoides, parábolas, etc.)**.-

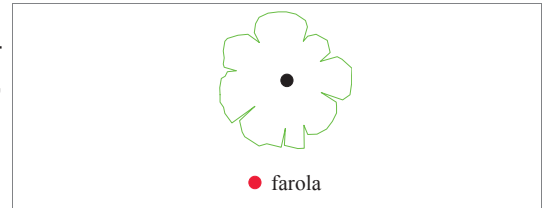


**5.-** una cámara de inspección, una boca de tormenta, una cámara de rejillas, por un **rectángulo**

Una obra de arte (alcantarilla) también por un **rectángulo**, y cada muro de ala por dos segmentos de rectas



6.- Un árbol, un poste de línea, una farola de iluminación, un poste esquinero, una válvula de gas, un mojón, etc.; quedan idealizados por un **punto**.

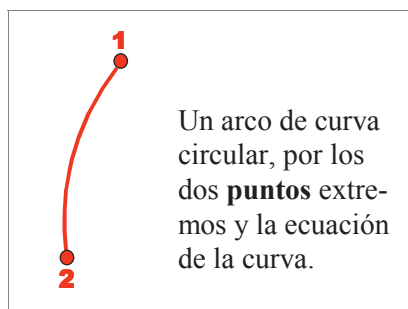
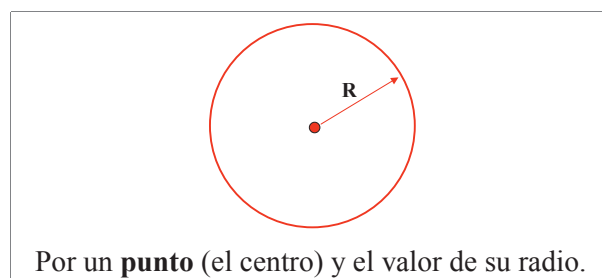
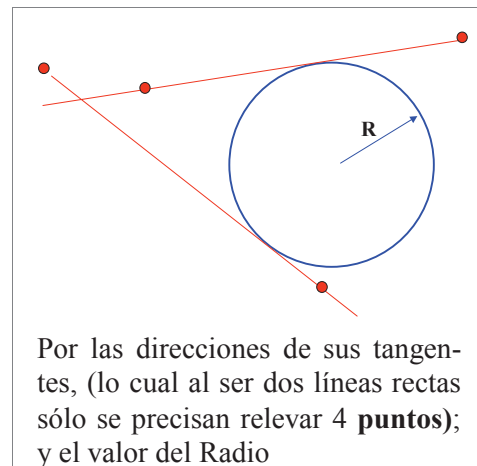
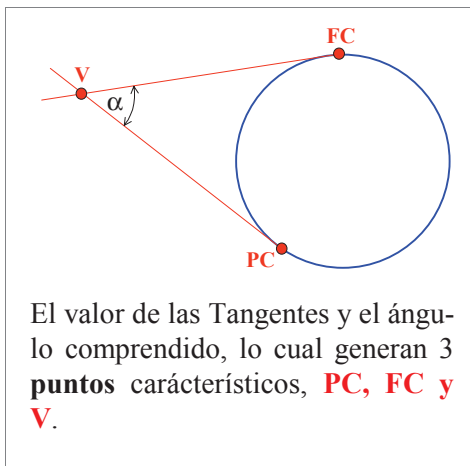


- Al relevar un objeto cualquiera sea, polígono cerrado, polígono abierto, cuadrado, rectángulo, etc. lo que hacemos es levantar el conjunto de líneas rectas que lo componen.
- A su vez, cada línea recta queda definida por los dos **puntos** extremos.
- En otras palabras, para representar un objeto, lo hacemos relevando en el terreno solamente los elementos que lo definen → **PUNTOS**

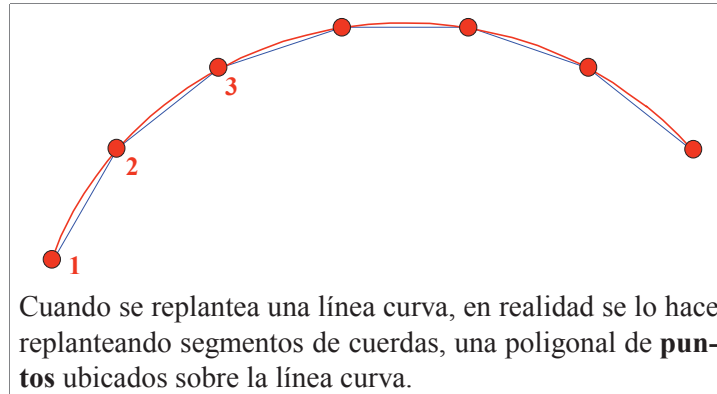
→ **PUNTOS**

**El elemento básico de nuestros trabajos serán siempre puntos.**

Esta afirmación seguramente el alumno lo verá muy clara en los objetos definidos por líneas rectas, pero quizás no lo interprete tan claramente cuando lo que se trate de relevar sea una circunferencia o una línea curva. La primera idea que surge sería la de relevar una sucesión muy grande de puntos ubicados sobre la misma, sin embargo esto no es necesario. Una circunferencia queda definida por:









En resumen, todo objeto puede ser idealizado descomponiéndolo en líneas (rectas y curvas), y estas a su vez: en **puntos**.

finalmente:

 *Toda operación conducente a un levantamiento de información, o el replanteo de un plano de proyecto, se trata del posicionamiento de **puntos** en el terreno.*

**Cada punto relevado debe tener una única designación, que defina solo una única posición posible, a los efectos que en el momento que se desee re ubicarlo, no existan dudas sobre la posición del mismo.**

Con el objeto de fijar la posición de los puntos, de tal forma que ésta sea **única e invariable** sobre la corteza terrestre, es necesario utilizar o crear un **SISTEMA de REFERENCIA**, al cual vincularlos.

 Para identificar y diferenciar claramente a una persona de otra, cada uno de nosotros posee un nombre y apellido. El primero identifica a la persona dentro del contexto familiar, el apellido identifica al origen de la familia dentro de una comunidad.

Es de uso frecuente identificar a la persona con un sobrenombre o apodo, el cual refleja la personalidad o la fisonomía de la persona, sin embargo esta forma de identificación se circunscribe a un ámbito muy reducido, al círculo de los amigos o compañeros.

Por lo tanto podemos decir que tanto el nombre (aislado), como el apodo es un modo de identificación parcial, local o **relativo**; en cambio el conjunto - nombre y apellido- es un modo más amplio o más general de referenciación.

Si además, le adicionamos el domicilio de residencia, y un número único de identidad, el modo de identificación ahora es **absoluto** para el ámbito de un país.

Lo mismo ocurre con los **puntos**, ellos también requieren ser identificados con nombres, dado que en la generalidad de los levantamientos la cantidad de puntos a identificar es muy grande, lo más práctico es numerarlos siguiendo un criterio lógico.

*Como en el caso de las personas algunos puntos tienen apodo, así por ejemplo, es costumbre, adicionar a la nomenclatura del punto una identificación local o regional, tales como “esquinero”- “el alto” - “arroyo” - “rancho” - “barranca”, “campo” (la mayoría de los puntos IGM son “campo” Ej.: Campo Inchauspe), el nombre del cerro, etc. Así por ejemplo un ex topógrafo de la Dirección Provincial de Vialidad, había bautizado un vértice con el sugestivo nombre de: “avispas”, en recordación del lugar donde un enjambre lo envió a él y su ayudante al hospital regional.*

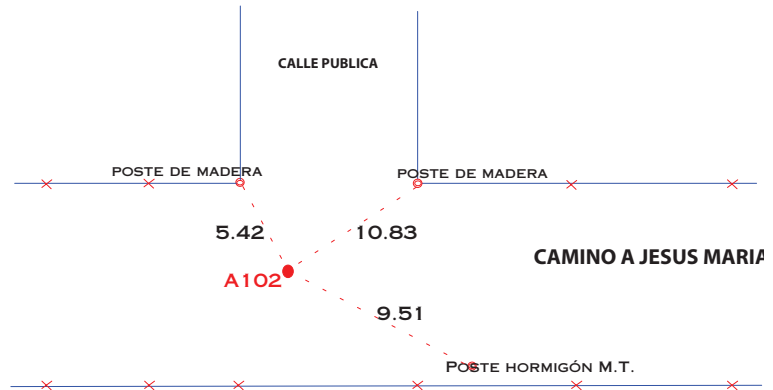
Pero, nomenclatura, número y/o sobrenombres no son suficientes para cumplir con el postulado que nos hemos propuesto: **Definir la posición de un punto tal que su ubicación sea única** (en la corteza terrestre), **e invariable** (con el transcurso del tiempo) -

Por ejemplo, si se nos pide reponer la ubicación del punto "A102" destruido, seguramente no podremos hacerlo, necesitaremos más datos, pues con la nomenclatura sola no alcanza. Tenemos que de algún modo atarlo a la corteza terrestre.-

La primera idea que nos surge, es implementar el más simple de los sistemas, el cual es vincular o atar, cada punto a otros (existentes físicamente en el terreno) que sean fácilmente reconocibles y estables en el tiempo.

Así por ejemplo, si medimos las distancias del punto A102 a tres puntos materializados en el terreno cercanos al mismo, ahora tendríamos de elementos suficientes para identificarlo y reponerlo cada vez que lo necesitemos.

Estas tres medidas garantizan, que sólo hay un único punto, (el A102), que cumple con la condición expresada en el croquis:



Para ello fue necesario adoptar un **marco de referencia**, el cual ya se encontraba con anterioridad materializado físicamente en el terreno por hechos característicos, a los cuales se vinculó el punto.

Ahora el punto tiene nombre y apellido:

- A102:** (1) 9.51m - poste de hormigón MT  
(2) 10.83m - poste de madera esq. alambrado  
(3) 5.42m - poste de madera esq. alambrado

Este sistema así creado, (abalizamiento<sup>1</sup> a tres puntos fijos) sirve para identificar la posición de puntos **aislados**, pero si el mismo formase parte de un sistema de apoyo, (como por ejemplo si fuese un vértice de una poligonal), o fuese el PC de la traza de un proyecto vial, no nos permite conocer la vinculación que existe con los demás puntos.

No nos permite conocer, por ejemplo, que distancia y en que dirección respecto al A102, se encuentra el vértice A103 y el vértice A104.

Debemos crear un **sistema de referencia**, y en consecuencia un **marco de referencia**, que incluya todo el levantamiento y todo el proyecto de la obra.

*Recordemos algunos conceptos:*

**Sistema significa:** Conjunto de elementos ordenados conforme un principio o una ley.

Un **Sistema de Referencia** es un conjunto de parámetros (ideales - abstractos) fijados a priori, que van a marcar las pautas para referir o vincular otros sub-conjuntos y/o puntos.

Al **origen** de un sistema de referencia se lo denomina "Datum"

Generalmente se trata de una **terna rectangular de ejes ordenados**, a los cuales se refieren los puntos expresados por coordenadas.

<sup>1</sup> Se recomienda leer el artículo: ¿ ABALIZAMIENTO O AVALIZAMIENTO ?

Escrito por el Ing. Agrimensor Carlos Feijóo Osorio

Esta es una definición rigurosa pero abstracta, pues tanto el origen como los ejes son inaccesibles en la práctica.

A veces el origen de los sistemas de referencias se encuentra muy lejos de la zona de trabajo, a veces tan lejos e inaccesible, como en el mismo centro del planeta.

Por ejemplo: En el Sistema Geodésico de referencia (GRS 80,) adoptado luego como el “World Geodetic System (WGS84)” para **GPS**, los principales parámetros son:


Equatorial radius of the Earth	$a = 6378137 \text{ m}$
Geocentric gravitational constant (including the atmosphere)	$GM = 3986005 \cdot 10^8 \text{ m}^3\text{s}^{-2}$
Dynamical form factor (excluding permanent tides)	$J_2 = 108263 \cdot 10^{-8}$
Angular velocity of the Earth	$\omega = 7292115 \cdot 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$
<u>Derived geometric constants</u>	
Semiminor axis (polar radius)	$b = 6356752.3141 \text{ m}$
First excentricity (e)	$e^2 = 0.00669438002290$
Flattening (f)	$f = 1 : 298.257222101$
Mean radius ( $R_1$ )	$R_1 = 6371008.7714 \text{ m}$
Radius of sphere of same surface	$R_2 = 6371007.1810 \text{ m}$
Radius of sphere of same volume	$R_3 = 6371000.7900 \text{ m}$
<u>Derived physical constants</u>	
Normal potential at ellipsoid	$U\sigma = 62636860.850 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$
Normal gravity at equator	$\gamma_e = 9.7803267715 \text{ m s}^{-2}$
Normal gravity at pole	$\gamma_p = 9.8321863685 \text{ m s}^{-2}$

El Sistema Geodésico de referencia (PZ90,) para el **GLONASS** tiene los siguientes parámetros principales:

Rotación de la Tierra	$72.92115 \cdot 10^{-6} \text{ rad / seg}$
Constante gravitacional	$3986000 \cdot 10^9 \text{ m}^3/ \text{s}^2$
Constante gravitacional de la atmósfera	$0.35 \cdot 10^9 \text{ m}^3/ \text{s}^2$
Velocidad de la luz	$299792458 \text{ m / s}$
Semieje mayor del elipsoide	$6378136 \text{ m}$
Aplanamiento del elipsoide	$1/ 298.257839303$
Aceleración de la gravedad en el Ecuador	$978032.8 \text{ mgal}$

Obsérvese en los dos ejemplos anteriores:

 que la adopción de un Sistema de Referencia implica aceptar como **fijos** una serie de parámetros (físicos y geométricos).

 Obsérvese también, que se adoptan **dos superficies de referencias** (Geoide y Elipsoide)



## 2.4: Marco de Referencia

Llamamos **Marco de referencia** al conjunto de elementos (mojones) que materializan y que sustentan el sistema. <sup>(2)</sup>

A los fines prácticos, un sistema de referencia se materializa mediante la monumentación de un conjunto de mojones, a los que se le han asignado coordenadas en el sistema de referencia establecido.

El marco se completa con el listado de sus coordenadas y sus monografías<sup>(3)</sup>.

Es claro que tales coordenadas han surgido de un cierto proceso de medición estando, por lo tanto, afectadas de errores.

Se establece, entonces la diferenciación entre:

- ❖ el sistema (una definición rigurosa pero abstracta), y
- ❖ el marco (materialización práctica aunque inevitablemente imperfecta) <sup>(4)</sup>.

Ejemplo de marcos:

**POSGAR:** Es el marco de referencia Argentino, del Sistema global WGS84

**SIRGAS:** Es el marco de referencia Sudamericano, del mismo Sistema WGS84

**ITRF:** Es el marco de referencia Internacional, del mismo Sistema WGS84


## 2.5: Distintos Sistemas de Referencia<sup>5</sup>

1. Un Sistema de referencia, es **local** cuando involucra un sector muy reducido y los parámetros son designados arbitrariamente por el profesional en cada trabajo.

X ORIGEN= 1000.00  
Y ORIGEN = 1000.00  
Azimut origen = 0°00'00" (para un Norte arbitrario)

 **Es importante destacar que los Sistemas locales no se vinculan entre sí.**

2. Es **general** cuando la extensión del trabajo abarca una región muy extensa, y los parámetros que definen el sistema son los adoptados para el país (Ej.: Sistema Campo Inchauspe).

 Tanto el primero como el segundo, son Sistemas de Referencia **relativos**, pues sólo tienen validez dentro del entorno para el cual fue creado. (Ej.: Sistema Chumbicha, Sistema Castelli, Sistema Chos Malal, etc.)

3. Es **absoluto**, cuando el Sistema de Referencia es mundial. (Ej.: WGS72, WGS84 o ITRF 94).

<sup>2</sup> Nota del corrector: “estos dos términos (Sistema y Marco), se usaron y se siguen usando como sinónimos, la independencia es más bien reciente.”

<sup>3</sup> Nota del corrector: “monografía” es un término generalizado pero no es el más correcto, en realidad debería llamarse croquis de localización.

<sup>4</sup> Claudio Brunini- Rubén Rodríguez

<sup>5</sup> Sobre este tema volveremos con mayor detalle en el punto 2. 12

## 2.6: Sistemas de Coordenadas

Definido un sistema de referencia: - La posición de los puntos pueden expresarse mediante distintos **sistemas de coordenadas**.

Así por ejemplo:

1. En un **sistema local** a fin de determinar la posición de los puntos, se emplean indistintamente coordenadas polares o rectangulares.

Coordenadas polares → A102:  $\varphi = 135^{\circ}16'25''$  ;  $z = 75^{\circ}23'10''$  ; L = 125.136m

Coordenadas rectangulares → A102: X = 1325.462 ; Y = 318.665 ; Z = 123.654

2. En un **sistema general**: Los puntos se expresan por coordenadas geográficas (latitud y longitud), o bien mediante coordenadas planas como resultantes de una proyección Gauss Krüger.

Coordenadas geográficas → A102:  $\varphi = -64^{\circ}24'01''$  ;  $\lambda = -31^{\circ}10'10''$  ; H = 405.136

Coordenadas planas → A102: X = 6474704.098; Y = 4366629.953; Cota Ortométrica= 574.17

3. En el **sistema absoluto**, los puntos pueden ser expresados en coordenadas cartesianas, en coordenadas elipsoidales o en coordenadas planas

Coordenadas geográficas → -  $31^{\circ}51'45''$  (latitud),  $-64^{\circ}24'35''$  (longitud), 550.22 (altura elipsoidal)

Coordenadas cartesianas → X= 2342170.125, Y= -4890676.508, Z= -3347782.208

Coordenadas planas → X=6474704.098 , Y= 4366629.953, Cota Ortométrica= 574.17

### 2.6.1 Transformación y conversión de Coordenadas

Reiteramos que, es práctica usual y frecuente, que nuestros trabajos los realizaremos empleando simultáneamente varios sistema de referencia y varios sistemas de coordenadas distintos.

Por ejemplo:

*Realizamos un levantamiento topográfico, midiendo con una estación total, utilizando coordenadas polares y en un Sistema de referencia plano local y arbitrario; mientras que el sistema de apoyo, al medirlo empleando GPS, lo expresamos con coordenadas elipsóidicas en un Sistema de referencia Global o absoluto (WGS84), y vinculado a la red geodésica del país (POSGAR'94).*

Vamos a adoptar la siguiente convención <sup>(6)</sup>:

Al cálculo para pasar las coordenadas de un sistema de Referencia a otro:

se denomina → **Transformación de Coordenadas**

(Ej.: transformar de WGS84 a Campo Inchauspe '69 y de Campo Inchauspe '69 a un sistema local y arbitrario)

Al cálculo para pasar de un sistema de coordenadas a otro:

se denomina: → **Conversión de Coordenadas**

(Ej.: Convertir coordenadas polares en rectangulares y luego a Geográficas)

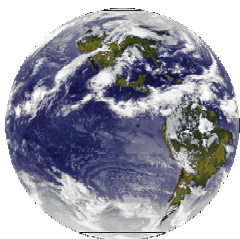


<sup>6</sup> Rubén Rodríguez: "Las Coordenadas"

Hemos dicho que un Sistema de Referencia está generado por una **terna ordenada de ejes ortogonales**, pero en la generalidad de los casos, empleamos además superficies auxiliares de referencia, como son el elipsoide, el geoide, la esfera o el plano.

## 2.7 Superficies de Referencias – **Elipsoide**

### 2.7.1 Forma de la Tierra



Desde los comienzos de la historia de la humanidad, el Hombre tuvo conocimientos sobre la esfericidad de la tierra, y desde siempre (aunque de una manera muy rudimentaria), los sistemas de referencias fueron orientados astronómicamente, y al menos eran capaces de medir la diferencia de Latitud. No fueron hábiles en un principio para determinar la longitud, pues no habían podido resolver una manera eficiente el modo de trasladar la hora.<sup>(1)</sup>

### - 550 aC

Fué **Pitágoras** (550 a.C.), el primer geómetra en describir científicamente la forma esférica de la tierra, pero recién tres siglos después, otro filósofo y geómetra llamado **Erathóstenes**, nacido en Cyrene, famoso director de la biblioteca de Alejandría, fue quien se propuso medir y calcular las dimensiones reales del planeta. Lo hizo en el año **250** antes de Cristo y a la edad de **26 años**.



Erathóstenes - 276 - 194

**Herodoto** nos relata al menos tres intentos anteriores de medición, por iniciativa de los Caldeos, Egipcios y Persas, pero nada se nos informa (o al menos yo lo desconozco), sobre los resultados obtenidos.

Para resolver el problema planteado, Erathóstenes midió un arco de meridiano entre las ciudades egipcias de Alejandría y Syene (hoy Assuan). Era conocido por todos, de la existencia en esta última ciudad de un pozo muy profundo, que por estar ubicados exactamente sobre el Trópico de Cáncer, había sólo un día al año que la luz solar iluminaba el fondo, esto ocurría exactamente al mediodía, del día 21 de Junio (Solsticio).



Mientras que en Syene el sol se encontraba exactamente en el Cenit, en Alejandría el mismo sol y a la misma hora, incidía de forma oblicua, y un obelisco allí ubicado proyectaba sombra, la que fue medida por Erathóstenes con el objeto de determinar la distancia cenital del sol.

De una manera similar procedió, medio siglo después **Posidonio**, quien midió la distancia correspondiente a un arco esférico, generado por las ciudades de Rodas y Alejandría, pero en lugar de medir la proyección de una sombra, lo hizo observando la diferencia de altura de una misma estrella, a la misma hora en ambos extremos.

<sup>1</sup> Nota del corrector: "Longitude" de Dava Sobel es un libro muy interesante sobre este tema.

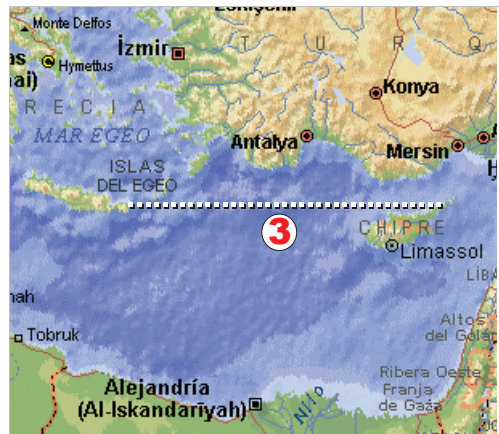


Ambos geómetras no obtuvieron una buena exactitud en los resultados, pero no fue tanto por culpa de lo rudimentario de sus instrumentos, o de los procedimientos de medición ideados, sino que fundamentalmente fue un error de modelo. Debido a la imposibilidad de la época para medir la longitud, ambos creyeron que los puntos extremos del arco medido, se encontraban sobre un mismo arco meridiano y las observaciones, por lo tanto no fueron en la realidad realizadas simultáneamente (a la misma hora) como ellos suponían.



Podemos mencionar otros intentos realizados.

**Hipparchos, Herón y Ptolemeo**, que en distintas oportunidades determinaron el radio de la tierra a partir de la medición de la diferencia de longitud geográfica, es decir de un arco de paralelo, pero tropezaron con la dificultad que en aquellos años aun no se había inventado el teléfono celular, es por ello que resolvieron el problema observando la hora durante eclipses lunares (en el mismo instante), entre dos puntos (Creta a Chipre), cuya distancia había sido establecida previamente por medición directa.



Estos elevados conocimientos sobre la forma esférica de la tierra, se perdieron con el incendio de la biblioteca de Alejandria y en las tinieblas de la Edad Media, adoptándose la teoría de una tierra plana que perduró por más de 2000 años.



proyección plana del mundo conocido -200aC

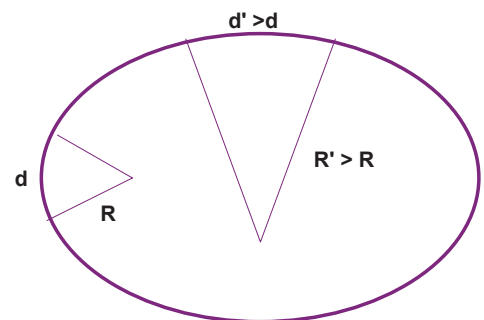
Sin embargo, la nefasta influencia de los conceptos transmitidos durante este prolongado período de oscurantismo, ha perdurado hasta nuestros días en la mente de muchos colegas, reflejándose entre otras cosas: en el inusual empleo de sistemas de referencias planos.

1700



Sir Isaac Newton 1643 : 1727

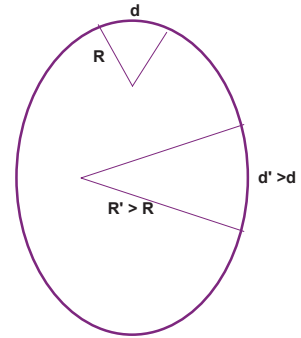
Recién en el año 1687, **Newton**, apoyándose en los postulados básicos de la “**ley de gravitación universal**”, concebida por él mismo. Dictaminó que la forma de la tierra no debía ser la de una esfera, sino un elipsoide de revolución achatado en los polos.





Giovanni Cassini 1625 : 1712

El Geómetra francés **Cassini**, continuando los trabajos de **Jean Picard**, quien mediante el empleo de triangulaciones mide un arco de meridiano terrestre (al sur de París) llega a la conclusión que la verdadera forma de la tierra efectivamente resulta ser un elipsoide de revolución, - pero alargado - ¡**Como un limón!**...



La triangulación fue inventada por el holandés **W. Snellius** en el año 1617.

Snellius utilizó la dioptra para medir los ángulos, mientras que Jean Picard lo hizo empleando un anteojo óptico recientemente inventado por **Kepler**.

Pasaron otra vez muchos años, hasta que se comprobó que las mediciones de Cassini eran erróneas, y se realizaron nuevas y más precisas mediciones, determinando que Newton había tenido razón, pero como a veces suele ocurrir, éste ya se había muerto y no se enteró.



W. Snellius 1580:1626

A fin de dilucidar la disputa planteada sobre la verdadera forma de la tierra, entre los años 1735 y 1751 se realizaron mediciones que fueron encargadas por la Academia de Ciencias de París, en dos lugares de diferente latitud del globo. Una comisión en Finlandia (**P.L. Maupertius**); y otra comisión en el arco de meridiano del Chimborazo en Ecuador (**P.Bouger**). Estas mediciones resultaron de elevada precisión para la época, ya que por primera vez se efectuaron correcciones a las observaciones directas (precesión, nutación del eje terrestre, aberración de la luz, refracción atmosférica, medición de la constante gravitacional con péndulos y correcciones del desvío de la vertical).



volcán Chimborazo (Ecuador)

## 1800



Billete de 10 Marcos alemanes

Carl Friedrich Gauss 1777 : 1855

Un extraordinario aporte a la Geodesia y a las mediciones para determinar la verdadera forma de la tierra, lo realizó **C.F.Gauss** con la creación del Método de Mínimos Cuadrados (1809) y el Cálculo de Probabilidades




reverso

Posteriormente **Laplace** (1818), le brinda un nuevo impulso con el cálculo de corrección de la desviación de la vertical (Puntos de Laplace).

Más adelante, y ya casi en nuestro siglo (1881), **Helmert** enunció que:

“... la verdadera forma de la tierra no es de un elipsoide geométrico, sino que responde a una superficie ondulada **definida solo físicamente**”, avalando a **J.B. Listings**, quien en 1873 usó por primera vez el nombre de **Geoide** para definir la figura física de la tierra.

Arribamos entonces a algunas conclusiones muy importantes a tener en cuenta:

 La hipótesis formulada por Newton, que la verdadera forma de la tierra era un elipsoide de revolución, sólo se cumpliría, si las masas internas de la tierra fuesen homogéneas, es por ello que al **Geoide** en un principio se lo definió como a una **superficie en equilibrio, materializada por las mares en calma, extendida aún por debajo de los continentes.**

 La verdadera forma de la tierra es un **Geoide**, la cual no se define geoméricamente sino que físicamente.

 La figura geométrica que más se asemeja a la verdadera forma de la tierra es el **elipsoide de revolución.**-

En la seguridad que la verdadera forma de la tierra es física y no geométrica, el final del siglo XIX, se vio marcado por los grandes trabajos de mediciones de arcos de meridianos, realizadas por los geodestas junto con los astrónomos, para determinar los parámetros de un elipsoide que más y mejor se aproxime a la forma física de la tierra.

Los modelos de elipsoides más importantes fueron los de **Bessel** ( 1841), **Clarke** (1866) y nuevamente **Clarke** (1880).

## 1900

El comienzo de la Geodesia moderna lo marcan los trabajos de **Helmert**, quien utilizó por vez primera el método de superficies, en lugar del método de medición de arcos y extendió el teorema de **Clairaut** para elipsoides de rotación. **Hayford** aplicó este método y definió el modelo que recibió el nombre de “Internacional” (1909 - 1924) y que al igual que muchos países, fue el que adoptó el Instituto Geográfico Militar de la Argentina para nuestros sistemas.

Finalmente y finalizando este breve repaso sobre la forma de la tierra, que también podríamos haber llamado breve vuelo por la historia de la Geodesia, merece una mención especial el elipsoide de **Krasovsky** (1942), adoptado por la ex-Unión Soviética.

**Reference Ellipsoids used in Geodesy**

Ellipsoid Name (application example)	semimajor axis a [m]	flattening $f = (a-b)/a$
Bessel (1841) (German DHDN)	6 377 397	1 : 299.15
Clarke (1866) (N. American Datum 1927)	6378 206	1 : 294.98
International (Hayford 1924) (European Datum 1950)	6378 388	1 : 297.0
Krassovski (1942) (Pulkovo Datum 1942)	6378 245	1 : 298.3
Geodetic Reference System 1967 (Australian Datum 1966, S. American Datum 1969)	6378 160	1 : 298.25
World Geodetic System 1972	6378 135	1 : 298.26
Geodetic Reference System 1980 (World Geodetic System 1984) <sup>2</sup>	6378 137	1 : 298.25722

Felizmente hoy en día, gracias a la violenta inserción de las técnicas de posicionamiento satelital, y gracias al auxilio que nos brindan los *software* de procesamiento, nos vemos obligados a retornar a las fuentes, trabajando sobre la superficie curva del elipsoide, también sobre la superficie

<sup>2</sup> Nota del corrector: “El libro de Hooijberg - Practical Geodesy – Springer hace una diferenciación respecto a los parámetros de estos dos elipsoides dice:

**GRS 80** (or New International) a = 6378137 y b= 298.2572221008827, mientras que

**WGS 84** → a = 6378137 y b= 298.257223563”



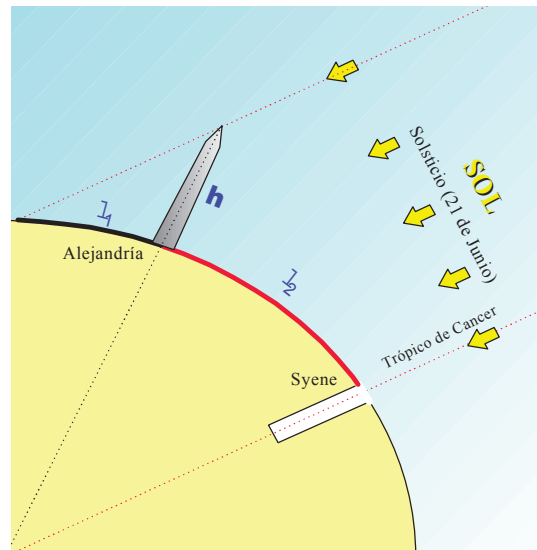
ondulada del geode, y a proyectar nuestros levantamientos sobre un plano, a los efectos de su representación.

**Ejercicio N° 1:**

Ayude a **Erathóstenes** a determinar los parámetros del planeta:

- 1) Midió la distancia Syene - Alejandría ( $L_2$ ) y resultó ser de 5500 estadios.<sup>(3)</sup>
- 2) Midió la altura ( $h$ ) del obelisco en Alejandría y resultó ser igual a 120 m.
- 3) Midió la longitud de la sombra proyectada ( $L_1$ ) y fue igual a 16.685 m.

- ¿Cuál fue el valor del Radio terrestre calculado ?
- ¿Cuál fue el valor de la circunferencia terrestre ?
- ¿Cual fue el error en % ?

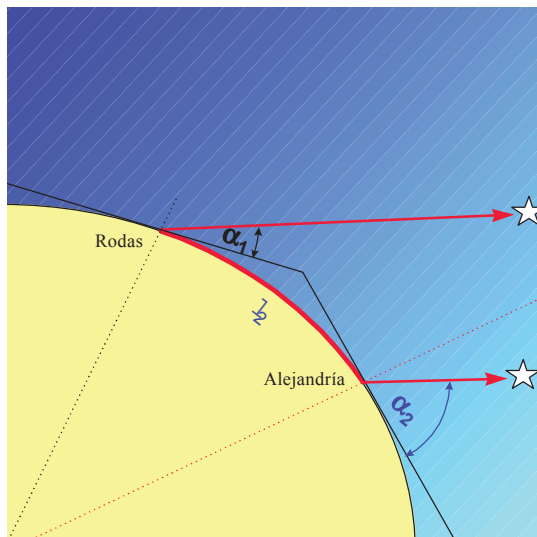


**Ejercicio N° 2:**

Ahora ayude a **Posidonio**

- 1) Midió la distancia Rodas - Alejandría ( $L_2$ ) y resultó ser de 4800 estadios.
- 2) Midió la altura ( $\alpha_1$ ) de una estrella en Rodas y resultó ser igual a  $33^\circ 24'$
- 3) Midió la altura ( $\alpha_2$ ) de la misma estrella en Alejandría y resultó ser igual a  $40^\circ 36'$

- ¿Cuál fue el valor del Radio terrestre calculado ?
- ¿Cuál fue el valor de la circunferencia terrestre ?
- ¿Cual fue el error en % ?

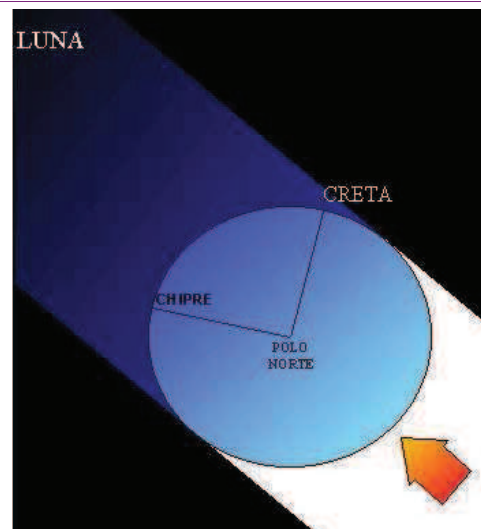


**Ejercicio N° 3:**

Por favor, también colabore con **Hipparchos** y **Herón**

- 1) Midieron la distancia Creta - Chipre ( $L_3$ ) y resultó ser de 4992.3 estadios<sup>(\*)</sup>.
- 2) [ El arco se encuentra sobre el paralelo de  $35^\circ$  ]
- 3) Midió la hora en Creta el momento del eclipse total, y resultó las 23 Hs. 55<sup>m</sup>
- 4) Midió la hora en Chipre el momento del eclipse total, y resultó las 0 Hs. 33<sup>m</sup>

- ¿Cuál fue el valor calculado para la diferencia de longitud?
- ¿Cuál fue el valor del Radio terrestre calculado ?
- ¿Cuál fue el valor de la circunferencia terrestre ?
- ¿Cual fue el error en % ?

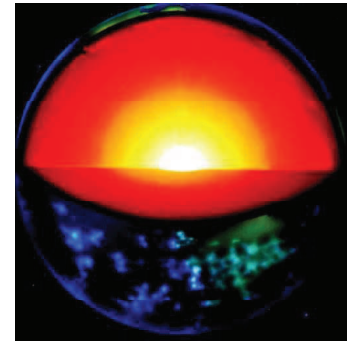


<sup>3</sup> Un estadio = 185.2 m

## 2.8 Superficies de Referencias – Geoide

### 2.8.1: La estructura interior del planeta

1. La tierra en su conjunto tiene una forma elipsoidal, coincidente con la figura de un cuerpo en equilibrio, constituida por una sustancia que por sus propiedades es cercana al líquido viscoso.
2. La densidad de la sustancia en el cuerpo de la tierra, aumenta desde la superficie hacia el centro.
3. La estructura interior de la tierra es la siguiente:



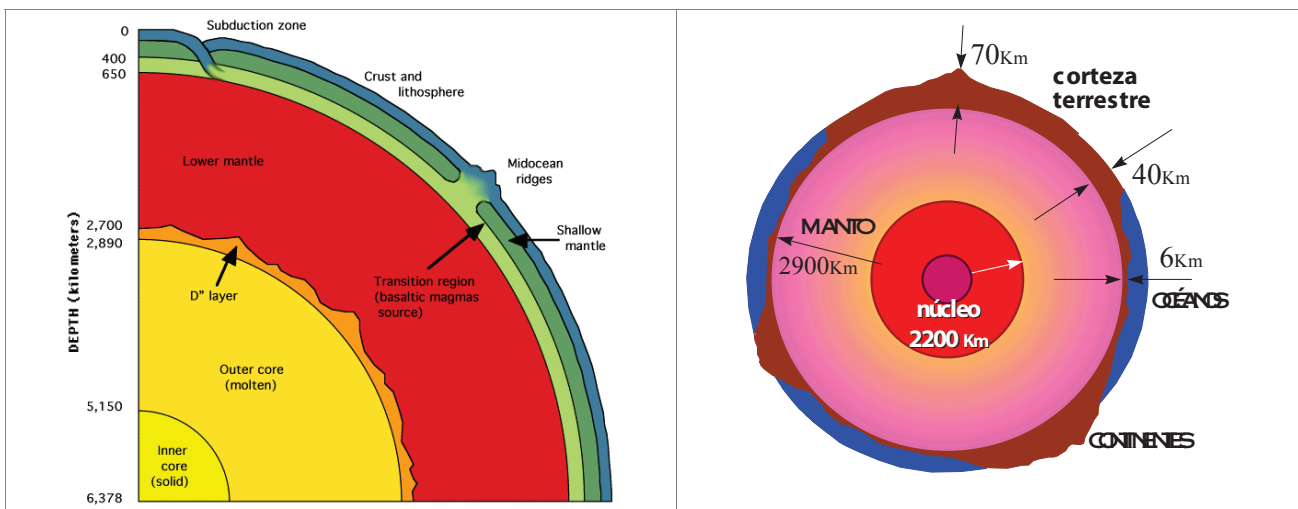
a) La parte superior, llamada **corteza terrestre**, tiene en los continentes un espesor variable entre 20Km y 70Km, encontrándose su valor medio entre los 30Km. y 40Km.

*Mientras que por debajo de los océanos el espesor de la corteza terrestre llega a valores de 6Km.*

b) La capa siguiente, recibe el nombre de **manto o envoltura** de la tierra y se calcula su espesor en 2.900Km.

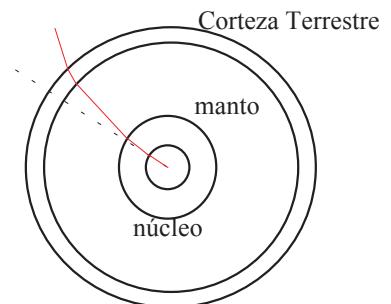
c) La capa ubicada por debajo del manto, recibe el nombre **núcleo** de la tierra y se extiende desde los 2900Km. a los 5100Km.

d) La región mas interna de la tierra, recibe el nombre de sub-núcleo.



4. Las capas que se encuentran debajo de la superficie terrestre, a iguales profundidades tienen iguales densidades, sin embargo las variaciones de las densidades en el tránsito de una capa a otra es muy irregular y a veces brusca.

De modo tal que si enviáramos una onda electromagnética que viajara hacia el centro de la tierra, la dirección no sería el de una línea recta, porque al igual que lo que ocurre en la atmósfera, al atravesar la onda distintas capas de distintas densidades, ésta se quebraría acercándose a la normal, tal como lo hace un rayo visual en nuestras observaciones. Resultando **una línea curvada**.



5. En la corteza terrestre, la densidad de las rocas que la componen se diferencian muchísimo entre sí, a lo cual se suma la amplia variación de su espesor y a la falta o exceso de concentración de masas en algunos lugares, lo cual lleva a la conclusión que **la distribución de las masas en la corteza terrestre no es para nada homogénea**.



6. La corteza terrestre, por su estructura se divide en:

a) **Continental:** con un espesor medio de 40Km., a su vez está formada por tres capas

superior: *sedimentaria*

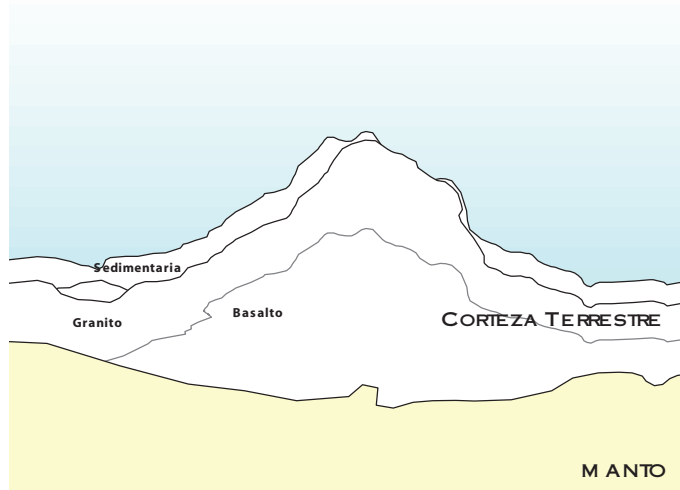
media: *granítica*

inferior: *basáltica*

cada uno de ellos con densidades muy distintas, por otra parte estas tres capas no tienen límites definidos y constantes, por ejemplo en nuestras sierras de Córdoba el granito aflora en la capa superior.

b) **Oceánica:** de espesor mucho menor es generalmente de constitución basáltica.

Por regla general, cuánto mayor sea el relieve exterior (región montañosa) más profunda será la frontera inferior de la corteza terrestre.



## 2.8.2 Consideraciones sobre la Fuerza de la Gravedad

Sobre un punto cualquiera de la superficie terrestre, actúan siempre dos fuerzas:

**La fuerza de atracción terrestre  $F$  y la fuerza centrífuga  $Q$ .**

La dirección de la fuerza de atracción se encuentra dirigida hacia el centro de masas terrestre, (vertical del lugar), según una línea de fuerza que ya vimos era curvada. Y la fuerza centrífuga, dirigida en dirección perpendicular al eje de rotación de la tierra. La resultante de ambas se llama fuerza de la gravedad, la cual es la resultante de una suma vectorial:

$$g = F + Q$$

donde  $F = f \cdot m \cdot M / R^2$

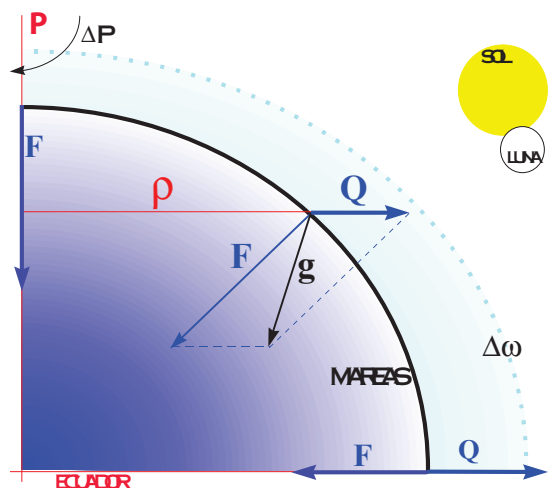
siendo  $f$  la constante de gravitación universal (Newton  $f = 6.7 \cdot 10^{-8}$ ) y  $m$  la masa del punto. Por otra parte, la fuerza centrífuga:

$$Q = V^2 / \rho$$

donde  $V$  es la velocidad tangencial del punto y  $\rho$  la distancia del punto al eje de rotación.

Si la velocidad se expresa como velocidad angular  $\Omega$  o velocidad de rotación de la tierra:

$$V = \Omega \cdot \rho \text{ entonces } Q = \Omega^2 \cdot \rho$$



La fuerza de la gravedad se mide a través de la aceleración que adquiere un cuerpo que cae libremente, como unidad de aceleración de la gravedad se toma el **gal**.

$$1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/seg}^2$$

En general, dadas las precisiones exigidas en las mediciones gravimétricas, se lo expresa en miligal.

$$1 \text{ mgal} = 0.001 \text{ gal}$$

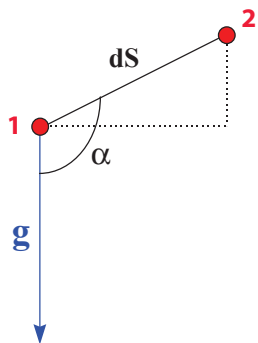
### 2.8.3: Perturbaciones de la Fuerza de la Gravedad

Es necesario aclarar que además de las dos fuerzas concurrentes mencionadas, existen otras perturbaciones, como son la atracción del sol, la luna y la enorme masa atmosférica.

Por otra parte, tanto **F** como **Q** no son para nada constantes y están variando de forma permanente debido a la acción de los flujos y reflujos de los continentes y océanos, al movimiento del polo, a la variación de la velocidad de rotación y al continuo movimiento de las masas de aire.

### 2.8.4: Potencial de la Fuerza de la gravedad

*En un punto dado, el potencial de la fuerza de atracción es igual al trabajo necesario realizar por la fuerza, para trasladar la unidad de masa desde el infinito hasta el punto dado.*



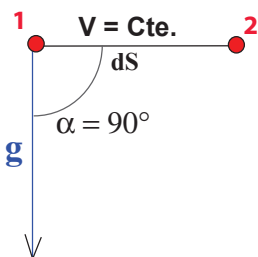
La diferencia de potencial entre el punto 1 y el punto 2, será igual al trabajo realizado para llevar el punto 1 hasta el punto 2.

Es decir:

$$dV = dS \cdot g \cdot \cos \alpha$$

**Integrando:**

$$V = \int dS \cdot g \cdot \cos \alpha$$



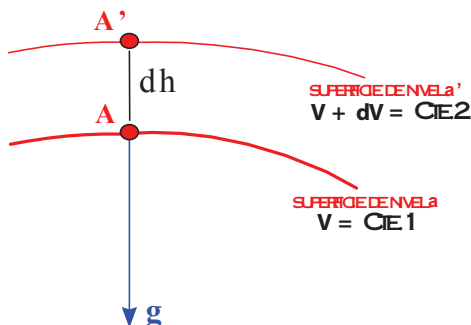
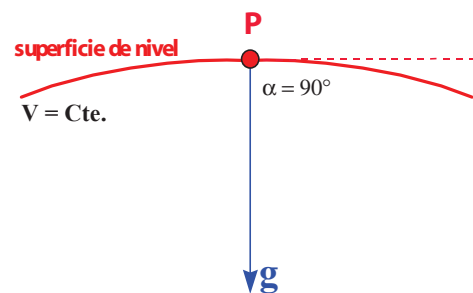
Es evidente, que si el punto se desplaza en una dirección normal a la dirección de la fuerza de la gravedad, el coseno de 90° es nulo y por lo tanto el trabajo realizado también será nulo.

Al realizar la integración el potencial será el mismo e igual a un valor constante. **V = Cte**

**Por un punto cualquiera de la corteza terrestre, pasa una sola línea de fuerza, que representa la fuerza de la gravedad.**

Por ese punto se pueden generar infinitas rectas perpendiculares a la línea de fuerza, las cuales generan una superficie que tiene la propiedad de tener un potencial constante en todas sus partes, esta superficie **equipotencial** recibe el nombre de

**Superficie de Nivel.**



Supongamos que la masa unitaria, ubicada en el punto **A** ubicado sobre la superficie de nivel **a**, se traslade hacia otra superficie de nivel muy cercana, siguiendo la misma dirección de la fuerza de gravedad.

El nuevo punto **A'**, tendrá el siguiente potencial:

$$V_{A'} = V_A + dV$$

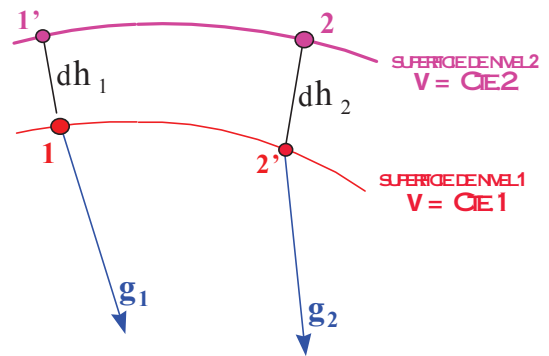
donde:

$$dV = g \cdot dh \cdot \cos 0^\circ = g \cdot dh$$

Recordemos que las direcciones de las fuerzas de gravedad eran líneas curvas, por tal motivo, las superficies de nivel por ellas generadas serán superficies curvas no paralelas entre sí.

Por lo tanto se deduce que dos puntos muy cercanos, y ubicados sobre dos curvas nivel de distintos potenciales, tendrán **distintas alturas**

$$\begin{aligned} dV &= dh_1 \cdot g_1 \rightarrow dh_1 = dV / g_1 \\ dV &= dh_2 \cdot g_2 \rightarrow dh_2 = dV / g_2 \\ dh_1 &\neq dh_2 \end{aligned}$$



 **Los valores de las alturas serán inversamente proporcional a las fuerzas de la gravedad que actúe en dichos puntos.**

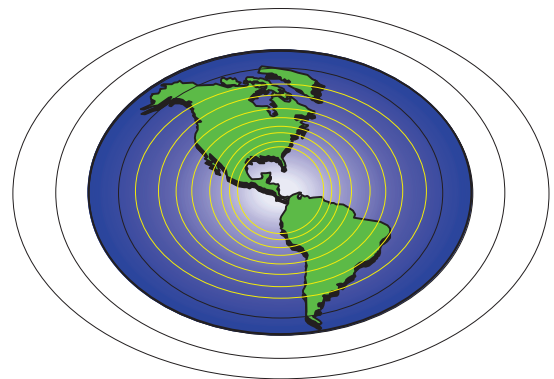
Por esta razón, podríamos decir que el planeta bien puede ser representado por infinitas superficies de nivel, similar a las **capas de la cebolla**, con la particularidad de no ser paralelas.

Al ser la separación entre dos capas inversamente proporcional a las fuerzas que actúan, hace que en los polos las superficies de nivel se aproximen entre sí (por ser mayor la fuerza de atracción ya que es menor la distancia al centro de masas y al ser nula la fuerza centrífuga)

Por el contrario, en el Ecuador las capas se alejan. ( por ser menor la fuerza de atracción ya que es mayor la distancia al centro de masas y al ser máxima la fuerza centrífuga)

Estas observaciones condujeron a **Newton**, enunciar, que la verdadera forma de la tierra era la de un elipsoide de revolución aplastado en los polos.

Y así sería el Geoide, una superficie que podría definirse geoméricamente de no existir las **anomalías de la gravedad**, que hacen que se produzcan ondulaciones en la superficie.





### 2.8.5: Definición de Geoide local

*De las infinitas superficies de nivel, el IGM ha adoptado una de ellas, la que representa el nivel medio del mar medido en el mareógrafo de Mar del Plata, para ser usada como **superficie equipotencial de referencia** para la altimetría, también llamada Datum Vertical, o superficie del Geoide*

### 2.8.6: Anomalías de la Gravedad

Las anomalías de la gravedad se deben a dos causas fundamentales:

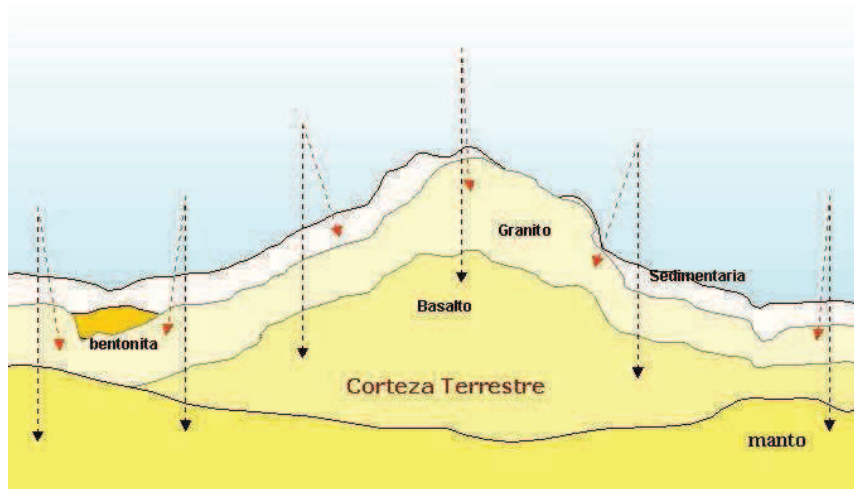
-  La variación de la fuerza de gravedad.
-  Los cambios en la dirección de la vertical del lugar.

#### I. Variación de la fuerza de gravedad.

Ya vimos que al variar el valor de la latitud cambia el valor de la fuerza de la gravedad, y por lo tanto se apartan o se acercan las superficies de nivel. Lo mismo ocurre al pasar de un punto ubicado en el llano, a un punto más alto en la montaña, al aumentar la altura disminuye la fuerza de la gravedad y por ende las superficies de nivel se separan.

Además ya mencionamos que existen **perturbaciones de la gravedad** (2.6.3)

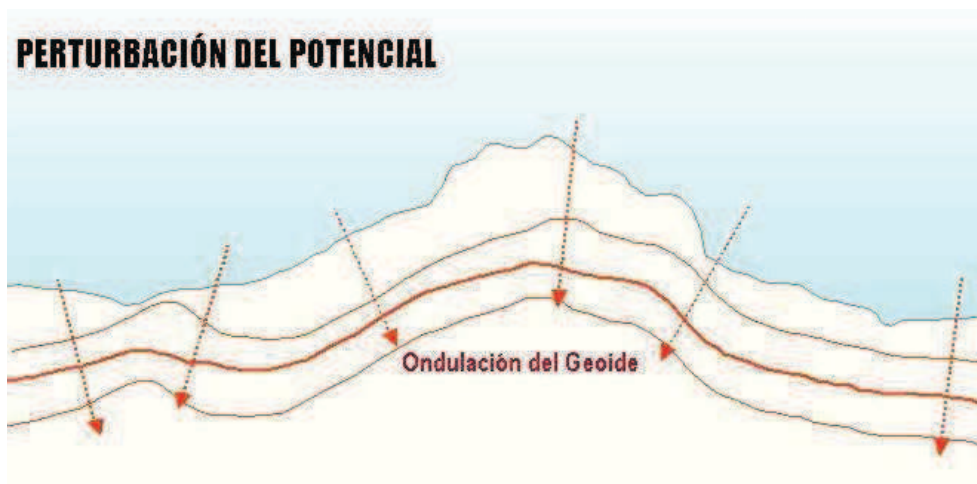
## II. Variación de la vertical del lugar.



Habíamos visto que en la corteza terrestre, la densidad de las rocas que la componen se diferencian muchísimo entre sí, a lo cual se suma la amplia variación de su espesor y a la falta o exceso de concentración de masas en algunos lugares, lo cual nos había conducido a la conclusión que la distribución de las masas en la corteza terrestre no es para nada homogénea, luego la dirección de la plomada o vertical del lugar, es atraída hacia los lugares de mayor densidad.

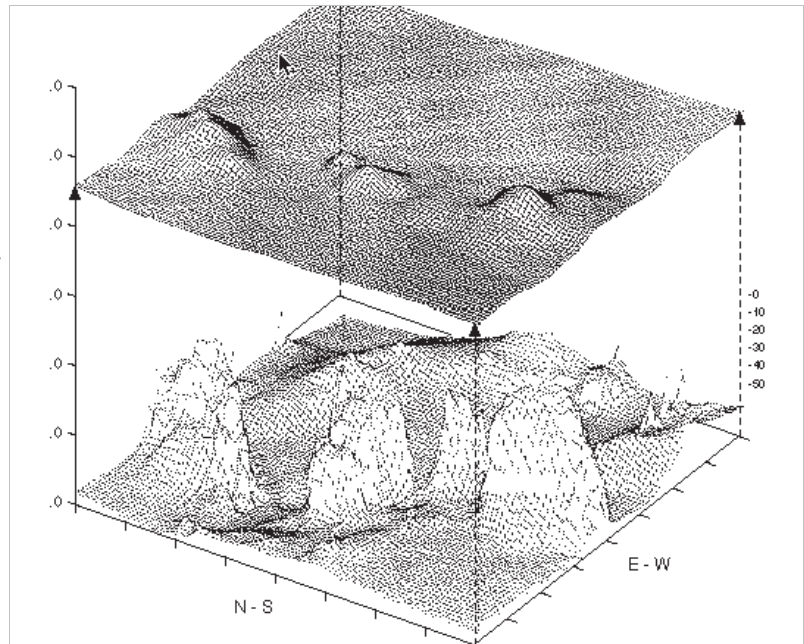
### 2.8.7: Perturbaciones del Potencial

Al no ser el valor de la fuerza de la gravedad una constante, y al variar la dirección de la vertical, se genera **perturbaciones al potencial**, produciendo **ondulaciones en las superficies de nivel**, que son apenas perceptibles en las zonas llanas y de baja concentración de masas, y muy movidas en las zonas montañosas o de alta concentración de masas.



A los efectos de graficar lo anteriormente expresado, observemos un diagrama en 3D que modela, por una parte la topografía del fondo marino y por otra, la ondulación del geode correspondiente.

Vemos que la superficie del geode, lejos de ser uniforme presenta fuertes ondulaciones.



*“... donde la densidad varía bruscamente (a saltos), la curvatura de las superficies de nivel también presenta variaciones bruscas. Esta condición tiene importante significado para el estudio de la figura del geode. Su superficie atraviesa masas de diferentes densidades; en estos lugares la curvatura de la superficie del geode también cambia bruscamente.*

*Las variaciones bruscas de las densidades ocurren también en los continentes dependiendo de la estructura y constitución de la corteza terrestre y de la forma de la superficie terrestre. En este caso, dichas variaciones conllevan cambios bruscos de la curvatura del geode.*

*La curvatura del geode cambia a saltos ante todo en la orillas de los mares y océanos, y también allí donde el geode atraviesa rocas de diferentes densidades.*

*Al mismo tiempo, todas las superficies de nivel, y el geode como una de estas superficies, no experimentan ruptura en ningún lugar, esto se deduce de la continuidad del potencial de la fuerza de gravedad”<sup>(4)</sup>*

En los trabajos geodésicos se hace necesario reducir las mediciones directas al elipsoide de referencia, para ello es necesario conocer en todos los puntos la desviación relativa de la vertical, lo cual obliga a determinar un modelo del geode.

En nuestros trabajos topométricos, frecuentemente recurrimos al auxilio del posicionamiento GPS para nuestras redes de control y para tal efecto necesitaremos conocer alturas, las cuales no son posibles sin el auxilio de un modelo de geode.

Para disponer de un modelado del geode, se precisa conocer el potencial de suficientes puntos, que luego nos permitan generar un modelo de curvas **isoanómalas**.

*“ ... Por lo tanto, como tarea subsiguiente se plantea el examen de la determinación del potencial de la fuerza de gravedad en base a mediciones directas, cuyos resultados dependen de la figura de la tierra y de su campo gravitatorio exterior. No obstante, el cálculo directo del valor del potencial calculado a través de una fórmula, en la práctica choca hoy en día con obstáculos insuperables. Para la explicación de esto tomamos la expresión del potencial.*

$$W = f \cdot \int [(\delta \cdot d\tau) / R] + [1/2 \omega^2 \cdot (x^2 + y^2)]$$

*El segundo término de esta expresión representa el potencial de la fuerza centrífuga, es pequeño y puede ser determinado sin dificultad.... pero el cálculo de la primera integral, que representa el*

<sup>4</sup> Geodesia superior - P.S. Zakatov



potencial de la atracción terrestre, no contamos con los datos necesarios. En realidad para su determinación necesitaríamos conocer la densidad  $\delta$  en cada punto de la tierra, al no contar con estos datos es imposible emplear el algoritmo de cálculo... En la práctica es conveniente aplicar el siguiente camino para la determinación del potencial  $W$ . ..Determinar en algún lugar el potencial normal de la zona, designado con la letra  $U$ ... luego la tarea de determinar el potencial real se reduce a determinar las perturbaciones  $T$ ...  $W = U + T \dots$ "

Las **perturbaciones al potencial**, son causadas por las **anomalías de la gravedad** y son las generadoras de las ondulaciones del geode.

"... arribamos a la conclusión de que para determinar el potencial de perturbación se deben emplear las anomalías de la fuerza de gravedad, para cuya obtención es imprescindible el levantamiento gravimétrico...

... las anomalías de la fuerza de la gravedad dependen de las masas topográficas exteriores, ubicadas por encima del nivel de los océanos, y de la acción de las masas anómalas que se encuentran dentro de la tierra" ( <sup>5</sup> )

Mas adelante veremos una manera más práctica de determinar un modelo de geode.

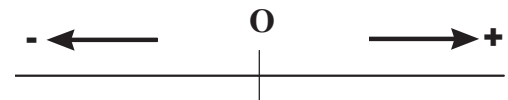
## 2.9 Superficies de Referencias – Planos

### Plano Horizontal – Plano Vertical

#### Coordenadas rectangulares

Toda recta en la cual se ha fijado un punto "O" y sobre la misma se haya adoptado un sentido como positivo y en consecuencia otro negativo, recibe el nombre de "**Recta Orientada**".

Y el punto "O" recibe el nombre de **Origen**



Sobre una recta orientada, puede fijarse la posición de un punto "P". Cuyo valor será la magnitud del segmento OP, y que recibe el nombre de "**abscisa**".

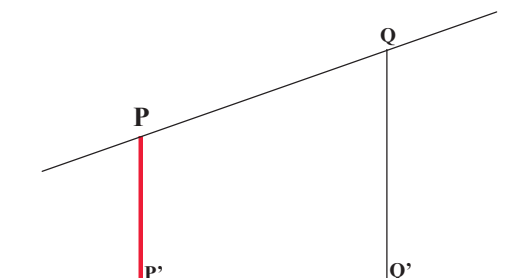
La abscisa del punto "O" es cero.



La distancia entre dos puntos ubicados sobre una recta orientada es directamente la diferencia de abscisas.

La "Proyección ortogonal" de un punto "P" sobre una recta, es el pié P' de la perpendicular trazada desde P a la recta.

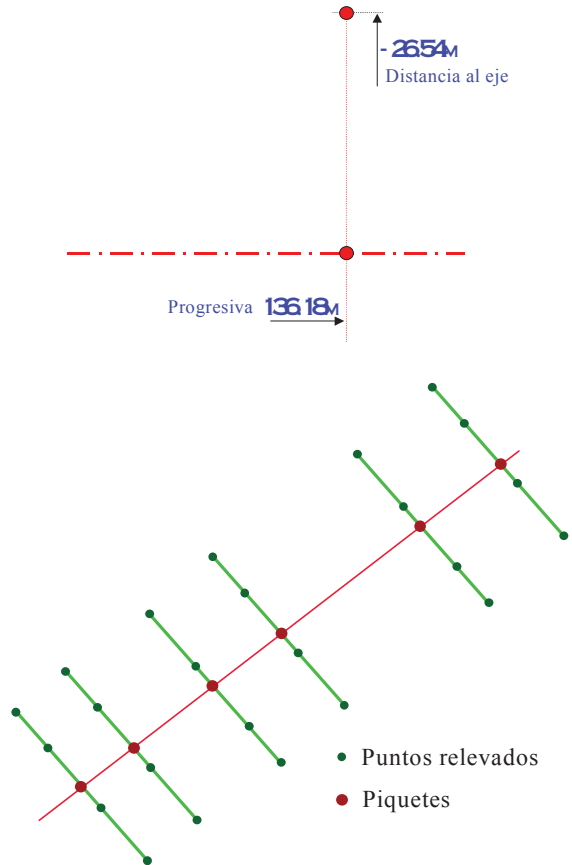
- La proyección ortogonal de un segmento de recta es la distancia absoluta de las proyecciones de los puntos extremos.
- La distancia del punto a la recta orientada, recibe el nombre de "**ordenada**"



<sup>5</sup> Geodesia superior - P.S. Zakatov

En las obras de Ingeniería, en especial en las obras de desarrollo lineal, se utiliza con frecuencia este sistema de referencia, con una variante:

- A las **abscisas**, es decir la distancia de la proyección al origen, se lo denomina “ **Progresiva** ”
- A las **ordenadas**, es decir la distancia del punto a la recta, se la llama “ **Distancia al eje** ”<sup>6</sup>



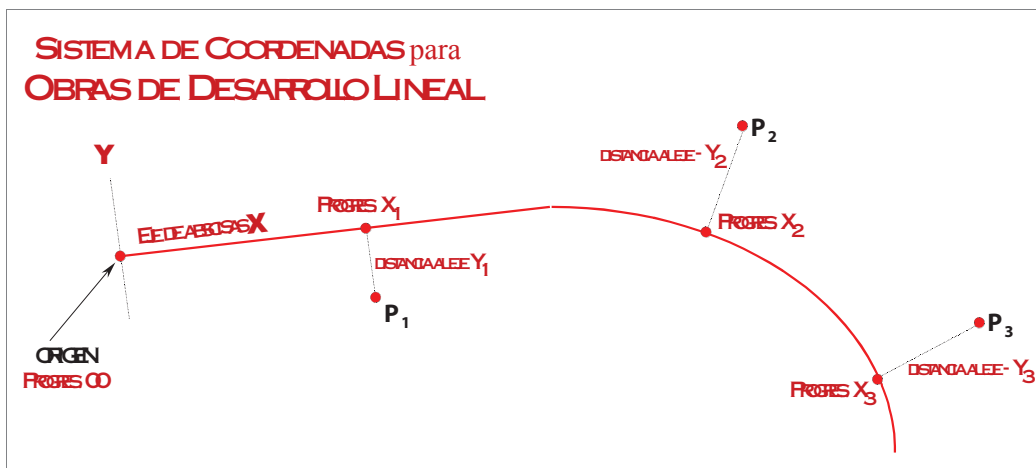
En las Mediciones Especiales, se emplea este sistema para definir la posición planimétrica de puntos del terreno, al realizar un levantamiento de **perfiles transversales**.

A las proyecciones de los puntos levantados sobre el eje; es decir el pie de las perpendiculares, recibe el nombre de “**piquetes**”.

Tal como ya se dijo, cada punto queda referenciado con dos coordenadas rectangulares, las progresivas y la distancia al eje, la cual por convención se adopta el sentido positivo a la derecha del piquete y el negativo a la izquierda del mismo, considerando al observador mirando en la dirección de las progresivas crecientes.-

## 2.9.1 Obras de Desarrollo Lineal

En los proyectos de ingeniería, más precisamente en los proyectos de **obras de desarrollo lineal**, (como son los caminos, vías férreas, líneas de alta tensión, acueductos, canales, gasoductos, etc.) el eje geométrico de la traza resulta ser una **línea mixta**, donde se alternan tramos de líneas rectas con líneas curvas espirales y líneas curvas circulares.



En estos casos se adopta dicha línea mixta, como eje de las abscisas ( **X** ), mientras que las ordenadas ( **Y** ) se miden siempre en la dirección perpendicular al eje cuando éste sea una línea recta, y perpendicular a la tangente en el caso de las líneas curvas.

<sup>6</sup> Comentario del corrector: “Los artilleros usan un modo muy original para no confundir x con y, las llaman arriba y derecha”



El **Origen** del Sistema coincide con el origen del proyecto.



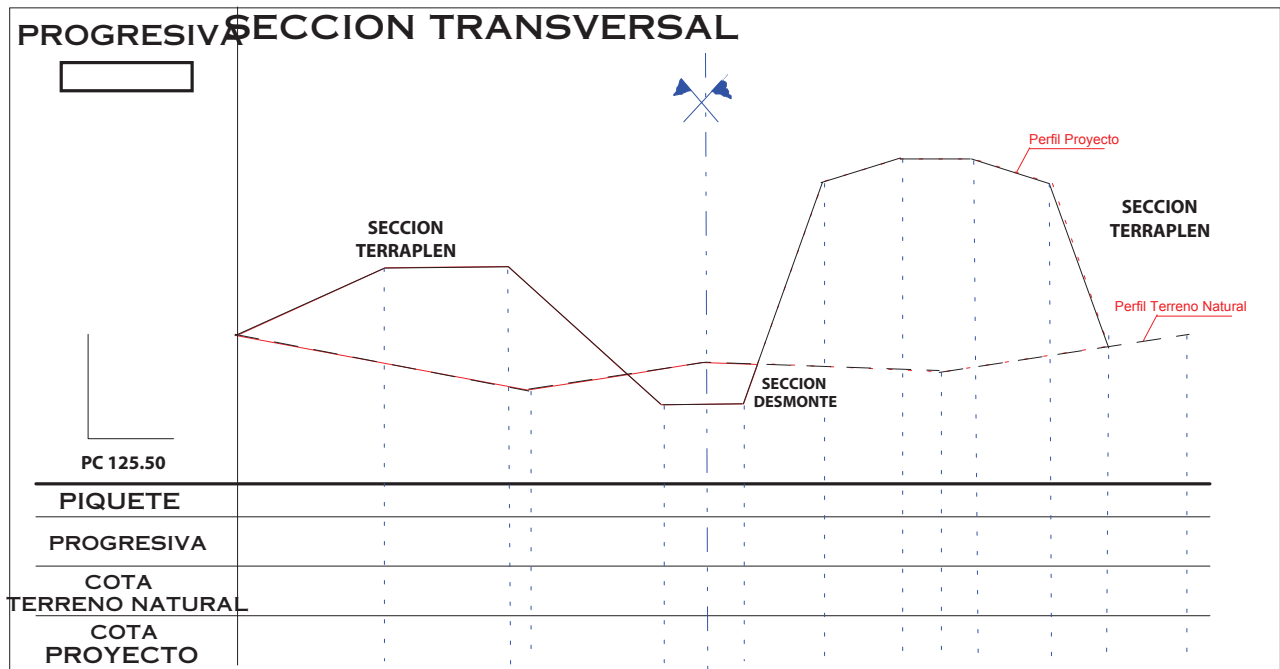
El eje de las abscisas divide al Proyecto en dos partes, lado izquierdo y derecho, mirando en el sentido de avance de las progresivas.

Las distancias medidas desde cualquier punto hasta el eje, se preceden de un signo negativo si se encuentran del lado izquierdo y un signo (+) del lado derecho.

En este sistema de referencia, la tercera dimensión, es decir la altura de los puntos, no queda representado, solo se trata de un sistema de referenciación planimétrico.

Pero hay obras, tales como los caminos y fundamentalmente las obras de conducción hidráulica y especialmente aquellas que son de conducción por gravedad, donde la tercera dimensión cobra trascendental importancia, por tal motivo es necesario conocerla, relevarla, describirla, y ejecutar los proyectos en el espacio, es por ello que en estos casos **la altimetría se representa proyectada sobre planos verticales**.

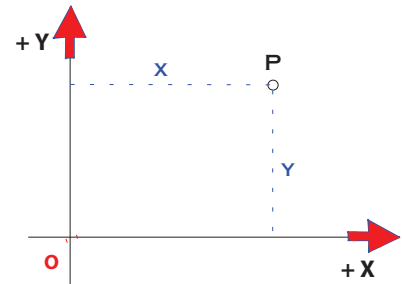
1. Cuando la altimetría se realiza proyectándola sobre un plano vertical que coincide con el eje de la traza, (**eje X**) al relevamiento lo llamamos **Perfil Longitudinal** del terreno natural.
2. Cuando la altimetría representa la rasante de un proyecto, lo llamamos **Altimetría General**.
3. Cuando el plano vertical de referencia coincide con el eje de las ordenadas **Y**, al levantamiento lo llamamos **Perfil Transversal**.
4. Cuando representamos la superficie o área encerrada entre dos perfiles, uno perteneciente al proyecto y otro al terreno, se denomina **Sección Transversal**.



Luego, para definir la posición de cualquier punto en un **plano vertical**, es condición necesaria y suficiente la determinación de dos distancias, del punto a cada uno de los ejes del Sistema de referencia, tomadas estas siempre ortogonalmente, es decir en la dirección normal a los mismos.

## 2.9.2 Obras de Desarrollo Superficial (Obras de Arquitectura)

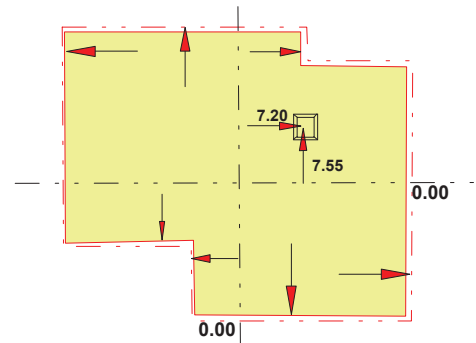
Para definir la posición de un punto en un **plano horizontal**, es condición necesaria y suficiente la determinación de dos distancias, del punto a cada uno de los ejes Origen del Sistema de referencia, tomadas estas siempre ortogonalmente, es decir en la dirección normal a los mismos.



El par ordenado de ejes que determina nuestro sistema de referencia, define un plano auxiliar de referencia, el cual puede tratarse de un plano horizontal (como en este caso) o un plano vertical (como en el sistema antes visto)

Por ejemplo:

Si deseamos determinar la posición de un sumidero, u otros elementos como paneles, tabiques o barandas en una terraza (**plano horizontal**), podemos tomar como sistema de referencia los ejes de simetría del edificio. Como así también podríamos haber definido un par de ejes tangentes a los laterales Izquierdo e inferior respectivamente.



En definitiva, para determinar la posición de un punto en el plano, se precisan dos Coordenadas (**X** e **Y**). En un sentido general, la posición geométrica de todos los puntos de un levantamiento, o proyecto, quedan estrechamente referenciados a través de una Cuadrícula o Cánveas (<sup>7</sup>).

Al no poderse representar la tercera dimensión sobre una proyección plana horizontal, recurrimos a incorporar una leyenda con la cota (<sup>8</sup>) correspondiente al punto, al costado del mismo

- ( + 19.50 ) (representación altimétrica por puntos acotados)

Para el caso de los proyectos que quedan contenidos en una sola Planta.

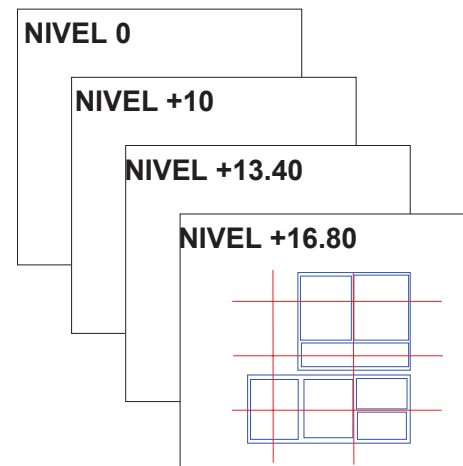
<sup>7</sup> **Cuadrícula:** Líneas trazadas paralelas a los ejes de abscisas y ordenadas. Se forman cuadrados de lados constantes, llamada malla. Las dimensiones de cada celda, dependerá de la escala de dibujo del plano o de la carta

<sup>8</sup> **Cota:** Altura sobre un plano de comparación. En obras de Arquitectura generalmente se toma como cero u origen de las alturas un punto arbitrario, el cordón de vereda, el nivel de la vereda, una tapa de cámara o boca de registro, etc.



Pero para el caso de las construcciones en altura, por ejemplo una torre o un edificio, es necesario dibujar un plano de planta por cada nivel de losa.

Por supuesto que la posición de los ejes adoptados como Sistema de Referencia en la planta baja, deberá coincidir exactamente con la posición de los ejes de replanteo en cada uno de los niveles.

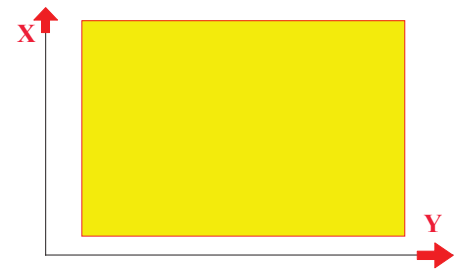


## 2.10 Levantamientos planimétricos

En los levantamientos planimétricos acotados mediante coordenadas rectangulares, el sistema de referencia es un par de ejes ortogonales.

La dirección del eje de las abscisas (**X**) corresponde por convención adoptar la dirección del Norte. La dirección del eje de las ordenadas (**Y**) es derecho y perpendicular al primero.

A fin de representar la ubicación de los puntos sobre un plano, se adopta siempre la dirección de las **X** (Norte) hacia arriba, quedando el eje de las **Y** en la dirección perpendicular y hacia la derecha.



### Coordenadas polares

La posición de un punto sobre un plano horizontal, también puede quedar definido por coordenadas polares. El punto queda definido por los parámetros del vector.

El ángulo  $\alpha$  y la distancia **L**.

**L** : es la distancia medida desde el punto al origen del Sistema, que denominamos **Polo**.

$\alpha$  : es el ángulo generado entre la recta que contiene al punto y el eje de las abscisas.

El ángulo se mide en sentido antihorario

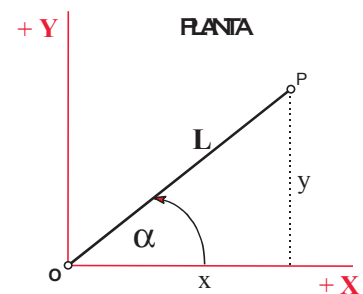
Convertir las coordenadas de este sistema al de coordenadas rectangulares antes visto, es muy sencillo:

$$x = L \cdot \cos \alpha \quad ; \quad y = L \cdot \sin \alpha$$

y la ecuación de la recta quedará definida por :

$$y = a \cdot x + b \quad \text{donde} \quad a = \text{tg}.\alpha$$

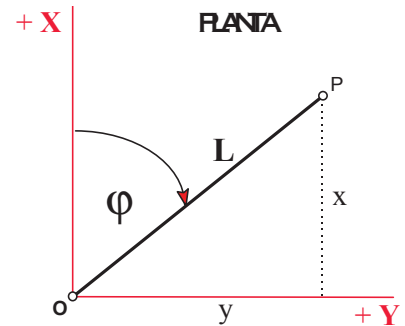
( $a = \text{tg}.\alpha$  pendiente de la recta) ; **b**: Ordenada al origen





En Mediciones Especiales, como en topografía, geodesia o cartografía, se adopta el eje **X** en la dirección Norte y en la representación el mismo se expresa hacia arriba, por tal motivo y con el objeto de conservar vigentes las expresiones matemáticas arriba enunciadas, el instrumental mide los ángulos en sentido horario.

El ángulo comprendido entre el eje de las **X** (Norte) y la recta que pasa por el punto se lo denomina rumbo  $\phi$



Cuando el eje X está orientado respecto la dirección del meridiano del lugar (Norte Verdadero o Norte Geográfico), este ángulo recibe el nombre de **ACIMUT**.

Las ecuaciones de conversión antes vistas, se mantienen:

$$x = L \cdot \cos \phi \quad , \quad y = L \cdot \sin \phi$$

y la ecuación de la recta quedará definida por :

$$y = a \cdot x + b \quad \text{donde} \quad a = \text{tg. } \phi$$

(a = tg.  $\phi$  pendiente de la recta en el plano Horiz.) ; b: Ordenada al origen

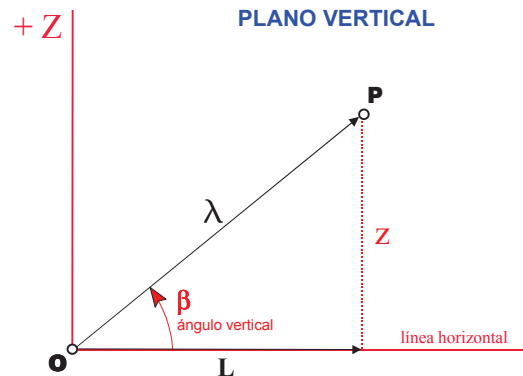
La posición de un punto sobre un **plano vertical**, también puede quedar definido por coordenadas polares. El punto queda definido por los parámetros del vector inclinado.

El ángulo  $\beta$  y la distancia  $\lambda$ .

El Polo se encuentra ubicado en la intersección del eje de referencia vertical Z con el plano auxiliar horizontal, perpendicular al anterior.

El eje horizontal surge de la intersección del plano vertical de referencia con el plano auxiliar horizontal

Cualquier punto del plano vertical queda determinado por sus dos coordenadas polares, el ángulo vertical y la distancia inclinada



Y las ecuaciones de conversión son:

$$L = \lambda \cdot \cos \beta$$

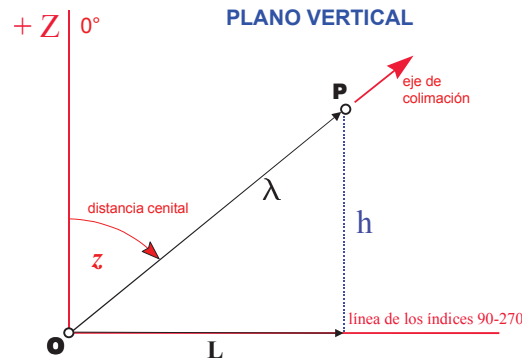
L ( distancia Horizontal )

$$z = \lambda \cdot \sin \beta$$

En la geometría practica:

- ❖ El plano horizontal es tangente a la superficie de nivel que pasa por la línea de los índices (90° - 270° ).
- ❖ En lugar del ángulo vertical, la mayoría de los instrumentos miden la distancia cenital (  $z$  ), es decir el ángulo comprendido entre el eje vertical de referencia y el eje de colimación.

Para determinar la tercera posición la altura del punto sobre el plano Horiz ( $h$ ), se aplican las mismas ecuaciones antes vistas.



El plano vertical queda materializado por dos rectas:

- ❖ El eje vertical de referencia, que pasa por el centro del teodolito y coincide con la plomada es decir con dirección de la vertical del lugar
- ❖ La recta visual (eje de colimación) que bisecta al punto **P**.

La recta auxiliar horizontal resulta como intersección del plano verical con el plano horizontal tangente a la superficie de nivel y coincide con la línea de los índices (90°-270°)

Y las ecuaciones son:

$$L = \lambda \cdot \text{sen } z \quad [ 1 ]$$

L ( distancia Horizontal )

$$h = \lambda \cdot \text{cos } z \quad [ 2 ]$$

h ( altura )

El algoritmo más comúnmente utilizado por los agrimensores de nuestro medio es:

$$h = L \cdot \text{tg. } \beta$$

Tal vez esto se deba a la influencia de tantos años de empleo de la taquimetría, midiendo la distancia del vector de forma estadimétrica. El ángulo vertical surge como diferencia de 90° y la distancia es la reducida al horizonte. Pero en lo posible es más conveniente emplear el algoritmo [ 2], a fin de evitar la acumulación de errores al hacer dos cálculos extras.

Habíamos visto que a la tangente del ángulo la denominábamos pendiente de la recta. Cuando la recta se encuentra en el espacio, en Mediciones Especiales a la pendiente la llamamos con la letra **i**

$$i = \text{tg. } \beta \quad \text{Por lo tanto } i = h / L$$

Con la excepción de los taludes, donde las pendientes se expresan de la forma  $\rightarrow h : L$  por ejemplo: pendiente del talud = 1: 2 (a un metro en horizontal le corresponde un metro de desnivel). Y en los peraltes de las curvas horizontales y en las transiciones de los caminos, donde la pendiente se la designa con la letra **p**. y se la expresa en porcentajes por ejemplo: peralte de la curva 5% ( a un un metro de distancia le corresponde un desnivel de 0.05m)

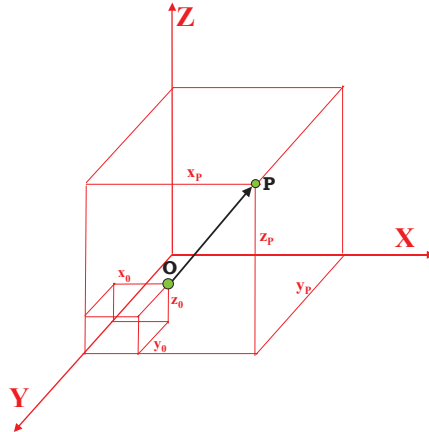


## 2.11 Levantamientos plani altimétricos

### Coordenadas espaciales

En todo levantamiento planialtimétrico que nosotros realizamos, siempre medimos vectores.

Estos vectores espaciales tienen por origen el punto de estación “O” (polo), por lo tanto los puntos relevados quedan expresados en coordenadas polares, pero a los efectos de su representación los convertimos a un sistema de coordenadas rectangulares espaciales.



Cuando referimos un punto en el espacio, este se expresa mediante tres Coordenadas, dos que definen la posición planimétrica, y la tercera coordenada que define la altura o elevación respecto del **plano horizontal de referencia**.

Así entonces, cada punto queda fijado por tres coordenadas **P ( X<sub>P</sub>, Y<sub>P</sub>, Z<sub>P</sub> )**.

En este caso, el sistema de referencia es una **terna ordenada de ejes ortogonales**.

La representación gráfica de los puntos referenciados, se encuentran proyectados sobre el plano de referencia, como el eje de las Z es perpendicular a dicho plano y en la dirección del observador, la altura no tiene representación, una serie de puntos que tengan iguales coordenadas X e Y pero distintas Cotas, se proyectan y se dibujan como un solo punto.

## *Ideal*

*Nada cabe esperar de los hombres que entran a la vida sin afiebrarse por algún ideal; a los que nunca fueron jóvenes parécieseles descarrado todo ensueño.*

*Y no se nace joven:*

*- ¡Hay que adquirir la juventud ¡ - Y sin un ideal, jamás se adquiere.*

*[...] todas las fuerzas conservadoras que componen el sub suelo social pretenden amalgamar a los individuos, decapitándolos, detestan las diferencias, aborrecen las excepciones, anatematizan al que se aparta en busca de su propia personalidad.*

*El original, el imaginativo, el creador no teme a sus odios: Los desafía, aún sabiéndolos terribles porque son irresponsables...*

*[...] todo idealista es una viviente afirmación del individualismo, aunque persiga una quimera social; puede vivir para los demás, nunca de los demás.*

*Su independencia es una reacción hostil a todos los dogmatismos.*

*Concibiéndose incesantemente perfectibles, los temperamentos idealistas quieren decir en todos los momentos de su vida como Don Quijote "yo sé quién soy". Viven animados de ese afán afirmativo.*

*En sus ideales cifran su ventura suprema y su perpetua desdicha.*

*En ellos caldean la pasión que anima su fe; ésta, al estrellarse contra la realidad social, puede parecer desprecio, aislamiento, misantropía: la clásica "torre de marfil" reprochada a cuantos se erizan al contacto con de los obtusos.*

*Diríase que de ellos dejó escrita una eterna imagen Teresa de Avila - "gusanos de seda somos, gusanitos que hilamos la seda de nuestras vidas y en el capullito de la seda nos encerramos para que el gusano muera, y del capullo salga volando una mariposa"*

*Todo idealismo es exagerado, necesita serlo. Y debe ser cálido su idioma, como si desbordara la personalidad sobre lo impersonal; el pensamiento sin calor es frío, está muerto, carece de estilo, no tiene firma.*

*Jamás fueron tibios los genios, los santos y los héroes.*

*Para crear una partícula de Verdad, de Virtud o de Belleza, se requiere un esfuerzo original y violento... la pasión, es un atributo necesario, aún cuando parezca desviar de la verdad; lleva al hipérbole, al error mismo; a la mentira nunca*

*Ningún ideal es falso para quien lo profesa; lo cree verdadero y coopera a su advenimiento con fé, con desinterés. El sabio busca la verdad... y goza arrancándole secretos a la naturaleza, [...] el artista busca también la suya, porque la belleza es una verdad animada por la imaginación, más que por la experiencia; y el moralista la persigue en el Bien, que es una recta lealtad de la conducta para consigo mismo y para con los demás.*

*Tener un ideal, es servir a su propia verdad – Siempre -*

*[...] Algunos ideales se revelan como pasión combativa, otros como pertinaz obsesión.*

*Los idealistas románticos son exagerados porque son insaciables.*

*Sueñan lo más para realizar lo menos; comprenden que en todo ideal está contenida una partícula de utopía y pierden algo al realizarse.*

*[...] en pocas cosas el Hombre puede llegar al ideal que su imaginación señala:*

- *su gloria está en marchar siempre hacia él, siempre inalcanzado e inalcanzable.*

En la mayoría de los trabajos que realizamos en la actualidad, con el propósito de mejorar la calidad, los tiempos y las exactitudes, mixturamos permanentemente distintas metodologías de trabajos y los instrumentos de medición.

Así por ejemplo, en la mayoría de los casos conviene emplear técnicas GPS (WGS84), para obtener las coordenadas planimétricas del **sistema de apoyo**, mientras que para la Cota:

- Cuando las precisiones son ajustadas no podemos obviar el empleo de la nivelación diferencial.  
*Obligatorio para las obras hidráulicas de conducción por gravedad.*
- En otros casos donde las precisiones son más generosas, podemos recurrir al empleo de la nivelación trigonométrica (simultánea y recíproca).  
*En relevamientos lineales para el ante-proyecto de un camino de montaña.*
- Y si las tolerancias lo permiten, podemos nivelar con GPS.  
Por Ej.: En las obras hidráulicas con conducción por presión como los gasoductos.  
En este caso podemos llegar a generar un modelo regional del geode y de ese modo transformar las alturas elipsoidales en Cotas Ortométricas.

Los **levantamientos topográficos** pueden ser resueltos a partir de restitutiones aerofotogramétricas, o con levantamientos terrestres clásicos, tales como la taquimetría o los perfiles transversales. En el primero de los casos, es muy conveniente medir los PAF mediante GPS (WGS84), mientras que la taquimetría se resuelve con estación total, trabajando en sistemas locales y en el geode local

En tanto que los **replanteos de obra**, pueden ser realizados tanto con **GPS RTK**, como con método polar y estación total.-



Es decir, en la mayoría de los trabajos que encaramos hoy en día, al combinar distintas metodologías de trabajo e instrumental, y medir directamente sobre un plano horizontal o sobre el elipsoide de revolución, **empleamos simultáneamente distintos sistemas de referencias, distintas proyecciones y distintos sistemas de coordenadas.**

Pasamos constantemente de un sistema local a otro global y viceversa.

El desconocimiento en los manejos de los **sistemas de referencias, de coordenadas y de proyecciones**, causa muchísimos problemas en los proyectos de las obras de ingeniería, y son de costosa solución.

Observemos el croquis que está a continuación, supongamos que el estudio sea hecho con el propósito de servir de base para el proyecto de un gasoducto.

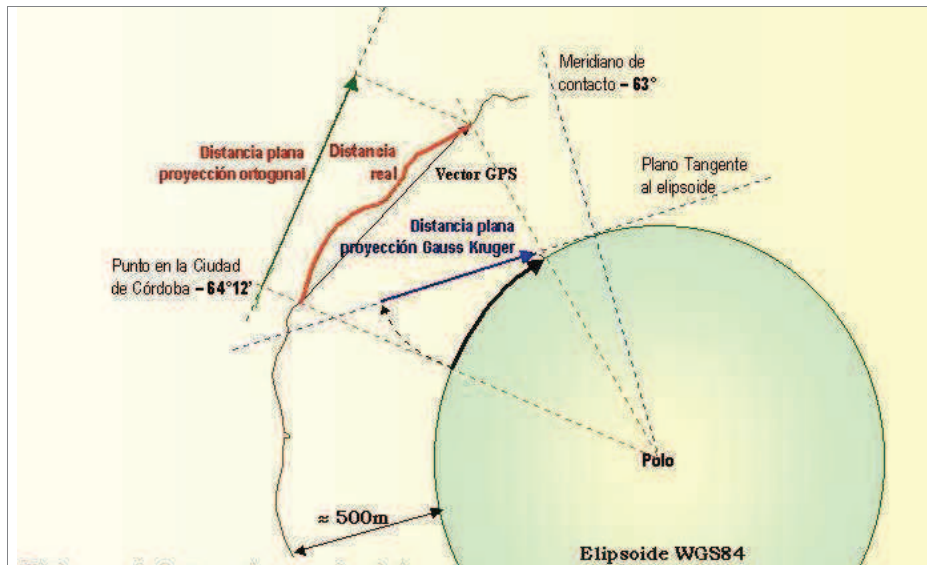
Supongamos que la traza se haya medido con una poligonal empleando estación total y supongamos que en ambos extremos se hubiese observado con GPS

Vemos que la distancia puede ser expresada con muy distintas medidas:

1. Según se trate de la medición directa, sobre el plano de proyección ortogonal
2. O se trate de un arco proyectado sobre el elipsoide de referencia
3. O sea el vector GPS que une los dos puntos extremos.
4. O se exprese como la proyección Gauss Kruger sobre el plano de proyección, tangente al elipsoide.



5. O finalmente: La verdadera magnitud expresada como un perfil del terreno.




¿Cómo hacemos para **compatibilizar** nuestros levantamientos que se encuentran realizados sobre un sistema local o arbitrario, con las mediciones realizadas sobre otro sistema global.?

1. **Los levantamientos topográficos** realizados en sistemas locales, se encuentran proyectados sobre un plano horizontal, mediante una **proyección Ortogonal**. Esta proyección es conforme, no altera las magnitudes angulares.
2. **Las mediciones con GPS** están expresadas en el sistema de referencia WGS84, en coordenadas elipsóidicas, para poderlas compatibilizar debemos también, llevarlas a un plano Horizontal
  - **Transformamos** estas coordenadas al Sistema de referencia que necesitemos, (por ejemplo Campo Inchauspe 69)
  - **Convertimos** las coordenadas elipsóidicas de Campo Inchauspe a Coordenadas planas en alguna Proyección Cartográfica.

La condición es que la proyección sea **“Conforme”**. (es decir que se deformen las magnitudes lineales, pero que conserve las magnitudes angulares)

## 2.12 Distintos Sistemas de Referencia

En el punto 2.5, habíamos hecho una clasificación de los distintos sistemas de referencia que habitualmente empleamos en las Mediciones Especiales:

	Sistemas <b>Locales</b> o arbitrarios (son relativos). Sistemas <b>Generales</b> → Sistemas Geodésicos (son relativos). Sistemas <b>Absolutos</b> → Sistemas Globales Geocéntricos
---	--

## 2.13 Sistema de Referencia Local

### Topocéntrico físico

Sistemas de coordenadas: Polar / Rectangular espacial

ejes de referencia: Terna ordenada de ejes cartesianos

2 superficies auxiliares de referencia: plano Horizontal / plano vertical


Proyección ortogonal

En nuestros levantamientos topográficos clásicos, empleamos generalmente un **Sistema de Coordenadas Topocéntrico**, el cual no es otra cosa más que un sistema local, consistente en una terna ordenada de ejes cartesianos:

El eje **X** orientado hacia un Norte arbitrario, el eje **Y** normal y dextrógiro respecto del anterior.  
El eje **Z** coincidente en cada estación con la vertical del lugar, - es decir, normal a la superficie de nivel que pasa por instrumento.


En nuestros trabajos topográficos generalmente empleamos dos Datum:

- Un **datum Horizontal** (origen de X e Y). Ubicado sobre el plano horizontal de referencia
- Un **datum Vertical** (origen de las Z). Estrechamente vinculado al Geoide

 El **origen** planimétrico del sistema es arbitrario, en un punto cualquiera e indefinido de la superficie terrestre. Por ejemplo lo definimos como:  $X= 1.000$  :  $Y= 1.000$

Al estacionar el instrumento y horizontalizar, es decir al “calar sus niveles”, la dirección de la plomada materializa la **vertical del lugar**, que como ya hemos recordado, ésta es coincidente con la dirección de la fuerza de atracción de la gravedad en dicho punto.

De esta manera también ha quedado materializado un plano horizontal de referencia, el cual es perpendicular al eje vertical del aparato y tangente a la **superficie de nivel** que pasa por el instrumento.-

 El **origen** de las alturas puede ser un Geoide arbitrario ( $Z = 100$ ), o puede que esté referido al nivel medio del mar (Geoide IGM)

Al estar nuestro sistema local, estrechamente vinculado al campo gravífico terrestre, se lo denomina **sistema topocéntrico físico**.<sup>1</sup>



No hay forma de poder relacionar dos Levantamientos topográficos que fueron hecho apoyándose en distintos sistemas de referencias locales, salvo que entre ellos existan dos o más puntos comunes.

<sup>1</sup> Denominación cuya autoría corresponde a nuestro corrector

Tal como ya hemos visto anteriormente, en los Levantamientos topográficos clásicos, el método de relevamiento empleado es el **levantamiento Polar**.

Cada punto del terreno queda referenciado al Punto estación mediante las Coordenadas Polares del vector:

- Rumbo ( $\varphi$ )
- Distancia Cenital ( $z$ )
- Distancia inclinada ( $\lambda$ )

Otra manera de expresar las coordenadas polares es valiéndonos del auxilio de los planos verticales y horizontales, luego la posición de cada punto queda determinada por el rumbo y las proyecciones ortogonales del vector sobre dichos planos:

Rumbo ( $\varphi$ ), altura ( $h$ ), y Distancia reducida al horizonte ( $L$ ).

Hoy en día, con el empleo de las estaciones totales, las coordenadas polares son **convertidas** automáticamente al **sistema triaxial**, de tal manera que obtenemos una representación espacial de nuestro levantamiento de forma instantánea y sin siquiera percatarnos de ello.

De modo tal que en todo levantamiento topográfico siempre el método es un levantamiento polar aunque el resultado sean coordenadas rectangulares, sin embargo en los REPLANTEOS de puntos, el único modo eficaz de resolver el problema, es a través de las **coordenadas polares**, ya que sería extremadamente impráctico pretender replantear de otro modo.

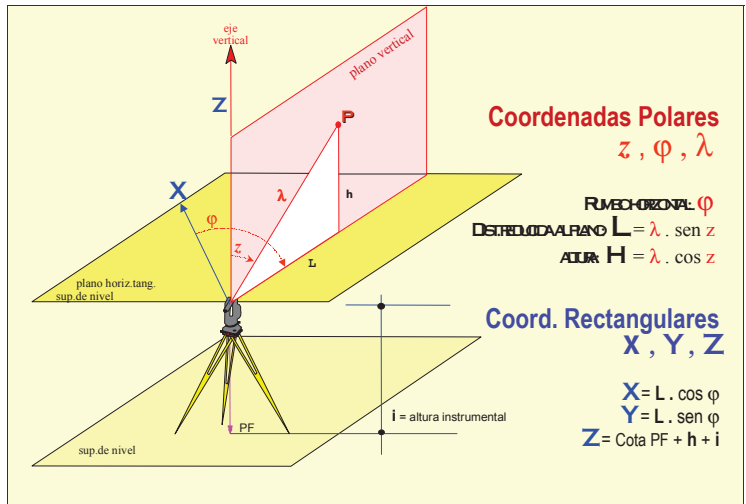
**Ejercicio N° 5:**

Se realizó el relevamiento del punto **P**, la altura instrumental  $i = 1.513m$  y la altura de la señal  $s = 1.765m$ . Resultando las siguientes coordenadas polares:

$$\lambda = 155.473m : \varphi = 167^{\circ}36'45'' : z = 38^{\circ}27'15''$$

Se desea convertirlas a coordenadas rectangulares espaciales, sabiendo que las coordenadas de la estación son:

$$X = 326.176m : Y = 548.995m : Cota = 123.165m.$$

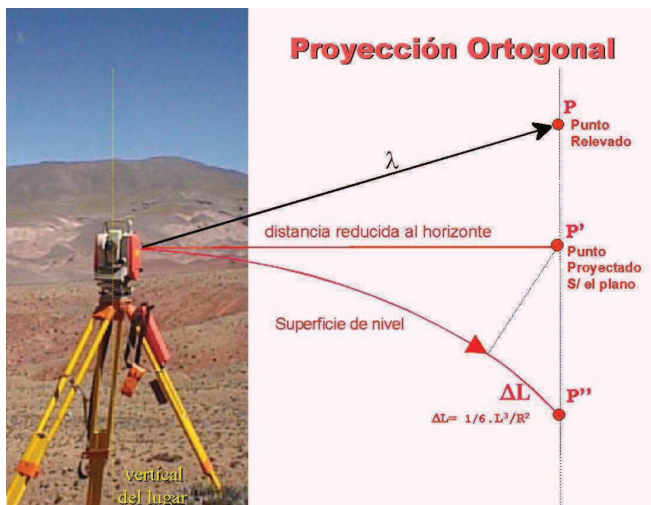


En nuestros levantamientos proyectamos los puntos relevados sobre un plano. Este plano es como ya dijimos un plano horizontal, tangente a la superficie de nivel que pasa por el instrumento, de tal manera que la representación de los mismos resulta ser una **proyección ortogonal**.

Como en toda proyección, siempre existe una deformación, pero siempre se busca que ésta sea la menor posible

El valor de las deformaciones de la distancia puede determinarse aproximadamente aplicando el siguiente algoritmo:

$$\Delta L = 1/6 \cdot L^3 / R^2$$



### Ejercicio N° 5:

*Se realizó un relevamiento a lo largo de un tramo de la Autopista Pilar Villa María, ” desde el trebol de empalme de la localidad de Laguna Larga hasta la Avenida de Circunvalación de la Ciudad de Córdoba, es decir una longitud de apróx. 65Km.*

*Sabiendo que el sistema de apoyo estaba formado por una poligonal, cuyo lado promedio medía aproximadamente 1000m, los cuales fueron medidos con estación total. Deseamos saber cual puede haber sido el valor máximo de las deformaciones por proyección ortogonal acumuladas a lo largo de todo el levantamiento.*

## 2.14 Sistema de Referencia Geodésico

### Coordenadas Cartesianas – Coordenadas Elipsóidicas

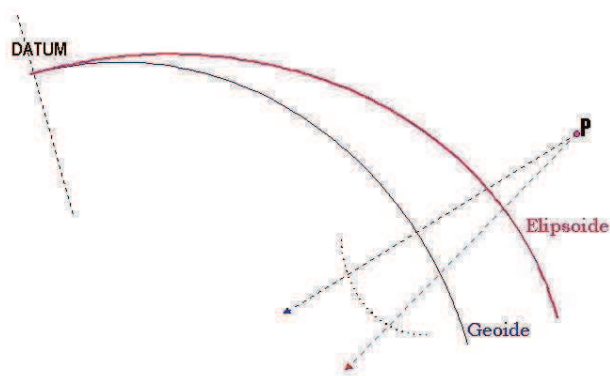
**E**n muchos levantamientos realizados para el estudio y proyecto de una obra de ingeniería, especialmente en las obras de gran extensión y las de desarrollo lineal, se hace necesario tomar en cuenta la forma de la tierra, por tal motivo no puede considerarse como superficie auxiliar de referencia el plano horizontal, sino que debemos adoptar **el elipsoide de revolución**.

En nuestro país el modelo adoptado por el IGM, hasta el año '97, fue el Elipsoide internacional de Hayford. Correspondiente al Sistema de Referencia Nacional, denominado **“Campo Inchauspe '69”**

Si bien este sistema ha sido actualmente reemplazado por el Sistema POSGAR'94, es necesario que lo veamos a causa que toda la Cartografía se encuentra todavía expresada en dicho sistema y que por otra parte, la mayoría de las reparticiones oficiales continúan exigiendo se trabaje en el antiguo sistema de referencia nacional.

Ya hemos visto que la forma del geoide y la figura del elipsoide no coinciden, por tal motivo una manera de proceder es: Elegir los parámetros de un elipsoide que más se asemeje al geoide y hacer coincidir ambos (tangentes) en un punto elegido convenientemente.

Habíamos definido al Geoide como una superficie de nivel, es decir una superficie que en todas sus partes es perpendicular a la dirección de la gravedad (o dirección de la plomada), luego, en los sistemas geodésicos, se elige un punto llamado **punto fundamental ó “Datum”**, en la que la normal al geoide coincide con la normal al elipsoide. Es evidente, que en otro punto cualquiera de la superficie terrestre, la normal al geoide y la normal al elipsoide forman un ángulo que se denomina **“desviación relativa de la vertical”**.



El valor de éste ángulo, dependerá del modelo de elipsoide elegido, del punto astronómico fundamental, de la forma como se realizó el traslado de las coordenadas, etc. Para conocer en un punto el valor de la desviación relativa de la vertical, es suficiente con determinar las coordenadas astronómicas y compararlas con las coordenadas geodésicas.

La determinación de esta desviación en muchos puntos terrestres, nos proporciona la posibilidad de juzgar si el geoide coincide o no con el elipsoide adoptado. La desviación de la vertical, nos da al mismo tiempo la inclinación entre ambas superficies de referencias, la cual a su vez nos permite calcular la magnitud de la separación que entre ellas se produce (descenso o elevación).

*[...] En el año 1922, en una asamblea realizada en Roma, la “unión” internacional de geodestas decide adoptar un único modelo de elipsoide válido universalmente, dado que cada Nación había adoptado su pro-*



pio elipsoide de referencia. Luego de intensas disputas, en el congreso realizado en el año 1924 en Madrid, se resuelve adoptar como elipsoide internacional al elipsoide de **Hayford**, con la siguiente recomendación:

*“Se recomienda el uso del elipsoide de Hayford a todos los hombres de ciencia, cada vez que su obra involucre la figura y dimensiones de la tierra (incluye esto) a todos los trabajos de triangulación y de levantamientos topográficos, adoptando un nuevo elipsoide más moderno y exacto”*

[...] En consecuencia de la recomendación de la “unión”, el Instituto Geográfico Militar Argentino, ese mismo año adoptó como superficie de referencia el elipsoide de Hayford... también adoptó la proyección conforme de Gauss y el sistema de coordenadas denominada Gauss-Krüger... y el punto fundamental de la Argentina (punto de tangencia entre geoide y elipsoide) en el cual coinciden las coordenadas astronómicas con las coordenadas geodésicas, ese punto es el pilar de triangulación del Observatorio Nacional de Córdoba [...] R.Müller

**A** pesar que en el año 1924 se decidiera la utilización de un único sistema de referencia geodésico para todo el país, cuyo punto fundamental estaba ubicado en la ciudad de Córdoba, dadas las urgencias de los tiempos que requerían de inmediata producción cartográfica, y no podían esperar la lenta y tediosa construcción de redes geodésicas que fuesen materializando el marco de referencia por tan extenso territorio, trajo como consecuencia que se fuesen creando muchos sistemas de referencias que **aun en la actualidad se encuentran vigentes**.

Para definir cada uno de ellos fue necesario precisar previamente un datum.

De igual modo y dadas las urgencias de disponer de cartografía, causada por la demanda de la exploración de hidrocarburos, YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales) se vio obligado a generar su propia cartografía, creando sus propios sistemas geodésicos.

### Sistemas Antiguos del IGM

- ❑ **Yaví**, con Datum en Jujuy
- ❑ **ChosMalal**, en Neuquen, Río Negro y parte de La Pampa
- ❑ **Pampa del Castillo** en la zona de Comodoro Rivadavia
- ❑ **Ubajay**: sistema superpuesto al Sistema Castelli en Entre Ríos en la zona del Río Uruguay
- ❑ **Chumbicha**, en Catamarca
- ❑ **Tapi Aike**, en Santa Cruz
- ❑ **Malezales Correntinos**, datum en Corrientes
- ❑ **25 de Mayo** con datum en San Juan
- ❑ Sistema **Castelli** en Bs.As., Santa Fé y Entre Ríos
- ❑ Sistema **Castelli** con datum en Mendoza.
- ❑ el Sistema Nacional de **Campo Inchauspe** ‘56.
- ❑ el Sistema Nacional de **Campo Inchauspe** ‘69.

### Sistemas de YPF

- ❑ **Tapi Aike**, con Datum en Santa Cruz
- ❑ **Pampa del Castillo**, Chubut, Santa Cruz
- ❑ **Quiñi Huao**, Mendoza, Neuquen, Río Negro
- ❑ **Aguaray**, Salta, Formosa






**Cantidad de puntos y ubicación de cada sistema<sup>2</sup>**

Sistemas	puntos	ubicación	LAT aprox		LON aprox	
			desde	hasta	desde	hasta
<b>IGM Calc. en Inchauspe</b>						
25 de Mayo I orden	62	San Juan	31	32	68 30	69 30
25 de Mayo II orden	74	San Juan	ídem anterior			
Castelli	53	B. Aires, E. Ríos, Santa Fe	30	38	costa	61
Chos Malal	700	Neuquén, Río Negro	37	41	68	71
Chumbicha	27	Catamarca	28 30	29	66	66 30
Malezales Correntinos	145	Corrientes				
Pampa del Castillo	95	Chubut/Santa Cruz	44 30	46	66 30	69
Tapi Aike	258	Santa Cruz	50	52	70	69
Ubajay	127	Entre Ríos	Río Uruguay			
Yavi I orden	24	Jujuy	22	24	67	69
Yavi II orden	18	Jujuy	ídem anterior			
<b>YPF</b>						
Tapi Aike		Santa Cruz	50	52	69	72
Pampa del Castillo		Santa Cruz	46	50	costa	Chile
Pampa del Castillo		Chubut	43	46	costa	Chile
Quiñi Huao=Chos Malal		Mendoza	toda la provincia			
Quiñi Huao=Chos Malal		Neuquén	toda la provincia			
Quiñi Huao=Chos Malal		Río Negro	39	42	68	Neuquén
Aguaray		Salta, Formosa	22	25	62	65

Un punto cualquiera de nuestro territorio, tendrá distintas coordenadas de posición, conforme sea el sistema al que se lo refiera.

 Todos estos sistemas permiten obtener coordenadas que solo definen la posición **planimétrica**.

La tercera coordenada, es decir la altura, en nuestros sistemas nacionales, es la **Cota Ortométrica**<sup>3</sup>, altura sobre el geode local (nivel medio del mar)

De tal manera que, en nuestro caso como en la gran mayoría de las naciones, hasta hoy (o hasta hace muy poco tiempo atrás), los sistemas geodésicos de referencia poseen, dos *datum*:

- **El datum horizontal:** origen de coordenadas planimétricas referidas al elipsoide.

Argentina: "Campo Inchauspe '69"  
 Paraguay: "Chua Astro"  
 Brasil: "Corrego Alegre"  
 Chile: "Prov.SA '56"

- **El datum vertical:** origen de alturas, definición del geode local.



<sup>2</sup> Fuente: Agrim. Rubén Rodríguez

<sup>3</sup> Nota del Corrector: No todos las corridas de nivelación del IGM poseen corrección gravimétrica, la mayoría de los puntos altimétricos del IGM solo tienen cota nivelada.

**Desplazamientos planimétricos entre el Sistema Campo Inchauspe'69 y otros:**

“...En cuanto a los sistemas nacionales, particularmente los regionales, no suelen tener una coherencia interna adecuada debido a que su cálculo no ha sido totalmente riguroso y no fueron sometidos a un proceso de ajuste...” (Agrim. Ruben Rodriguez)

El cuadro corresponde a una publicación del IGM, donde se hace mención de las diferencias medias encontradas en puntos comunes entre los distintos sistemas y Campo Inchauspe.

La existencia de tantos sistemas de Referencias complicaba en extremo el relacionamiento de las redes y el empleo correcto de sus coordenadas.

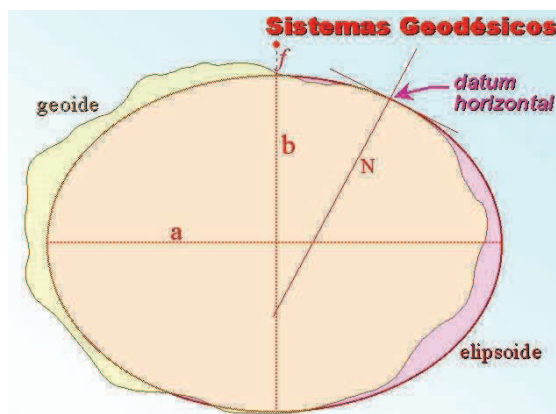
Yavi (Jujuy)	102	89
Chumbicha (Catamarca)	-152	-235
Castelli (Buenos Aires)	-21	10
Castelli (Corrientes-E.Ríos)	-19	3
Castelli (Mendoza)	-25	-4
25 de Mayo (San Juan)	-364	-178
Ubajay (Río Uruguay)	84	-53
Chos Malal (Neuquén)	-50	-163
Pampa del Castillo (Chubut)	-126	128

**2.14.1 El Datum Horizontal**

**Parámetros del Elipsoide internacional de Hayford.**

$a = 6\,378\,388\text{ m}$
$1/\alpha = 297$
$b = 6\,356\,911.9461\text{ m}$
$e^2 = 0.00672267002233$
$e'^2 = 0.00676817019722$

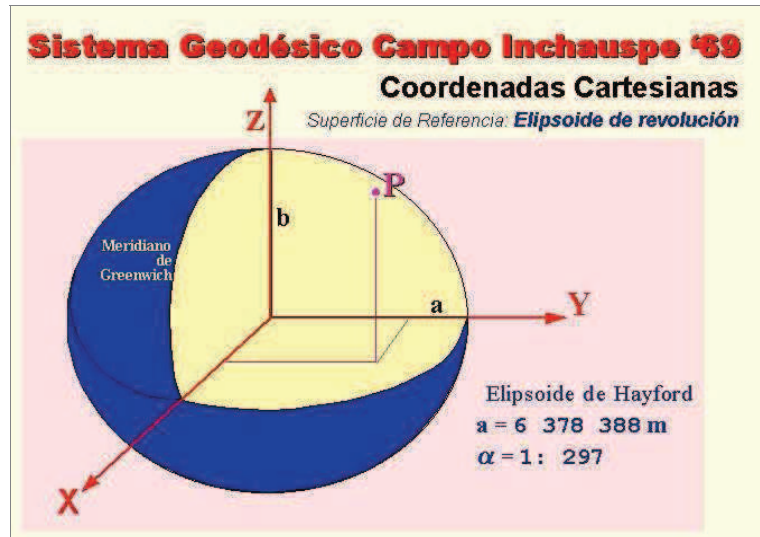
Tal como ya hemos mencionado, a este elipsoide se lo hace tangente al Geoide en un punto el “Datum Horizontal”. En el antiguo Sistema Nacional, en el punto trigonométrico denominado “Campo Inchauspe”



Conociendo los parámetros del elipsoide determinado, y las coordenadas de posición del punto datum, queda inmediatamente definido la posición del **origen del sistema**.

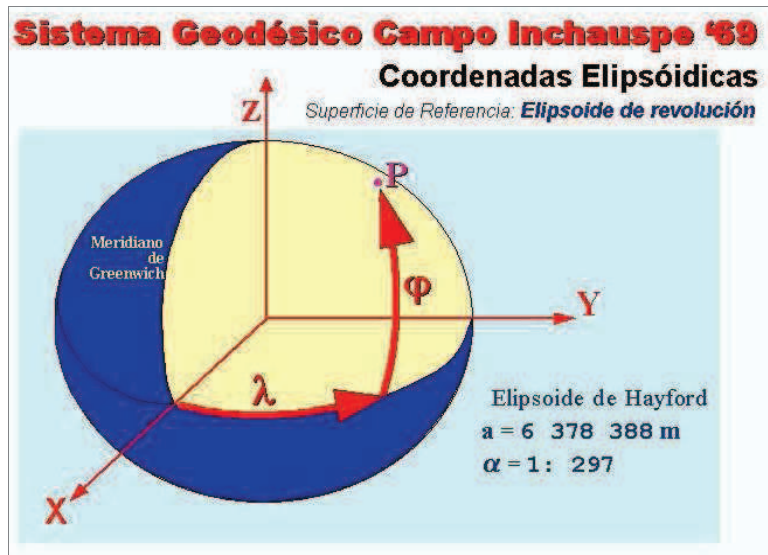
Nuestro **Sistema de Referencia**, es también una terna ordenadas de ejes ortogonales, con origen en el centro geométrico del elipsoide antes definido:

- Con el eje de las **Z** en dirección al polo Norte medio.
- El eje **X** coincidente con la intersección del meridiano de Greenwich con el plano del Ecuador.
- El eje **Y** derecho normal a X.



Definir la posición de puntos mediante las coordenadas cartesianas ofrece muchas ventajas para el cálculo, sin embargo se hace imposible poder visualizar o imaginar su ubicación sobre la corteza terrestre, por tal motivo se recurre a la superficie de referencia sobre el cual se calculan las coordenadas geodésicas. Cualquier punto sobre la corteza terrestre, queda definido por tres coordenadas geodésicas:

- **Latitud**
- **Longitud**
- **Altura elipsoidal.**



En algunos textos, muchos autores prefieren designar la latitud con la letra **B**<sup>4</sup> y la longitud con la letra **L**, conservando la designación de  $\phi$  y  $\lambda$  para la latitud geográfica y la longitud geográfica respectivamente, las cuales surgen de determinaciones astronómicas y por ende responden a la vertical del lugar de observación.

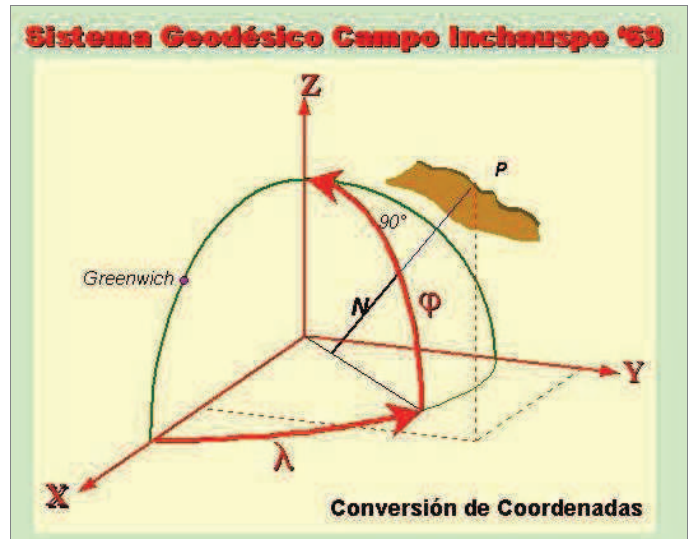
<sup>4</sup> Proviene del alemán "Breite "

La conversión de Coordenadas de:

Coordenadas Cartesianas  
a  
Coordenadas Geodésicas

y a la inversa

se trata de un simple proceso matemático.



### I. Pasaje de Coordenadas Elipsoidicas a Cartesianas

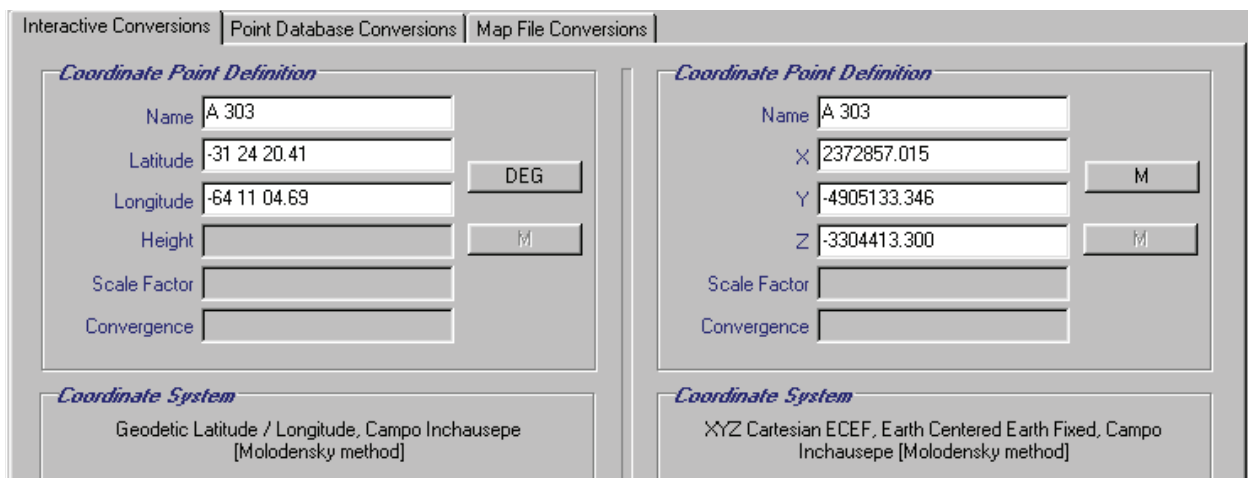
$X = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda$	$N = \frac{a}{\sqrt{1 - (e^2 \cdot \text{Sen}^2 \varphi)}}$
$Y = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \text{sen} \lambda$	$a = 6\,378\,388 \text{ m}$
$Z = (N (1 - e^2) + h) \cdot \text{sen} \varphi$	$e^2 = 0.00672267002233$

#### Ejercicio N° 6:

Convertir las coordenadas elipsoidicas del vértice A303, a coordenadas cartesianas (Sistema Campo Inchauspe)

- Latitud  $\varphi = -31^\circ 24' 20.41''$
- Longitud  $\lambda = -64^\circ 11' 04.69''$

Realizar el ejercicio aplicando los algoritmos aquí expresados, y controlar luego los resultados utilizando el programa GeoCalc<sup>5</sup>.



<sup>5</sup> GeoCalc es un programa de transformación y conversión de coordenadas hecho en USA por Blue Marble Geographic; en nuestro país Rodríguez-Brunini desarrollaron dos programas similares Trascoord y OALP. Actualmente se encuentran desarrollando un tercer programa más avanzado.

## II. Pasaje de Coordenadas Cartesianas a coordenadas Elipsoidicas

$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Z + e'^2 \cdot b \cdot \operatorname{sen}^3 \nu}{\sqrt{X^2 + Y^2} - e^2 \cdot a \cdot \operatorname{cos}^3 \nu}$ $\operatorname{Tg} \lambda = \frac{Y}{X}$	$e'^2 = 0,00676817019722$ $b = 6356911,9461\text{m}$ $e^2 = 0,00672267002233$ $a = 6\,378\,388\text{ m} \quad \alpha = 1/297$ $\nu \rightarrow \operatorname{tg} \nu = \frac{Z}{(1 - \alpha) \cdot \sqrt{X^2 + Y^2}}$ $N = \frac{a}{\sqrt{(1 - (e^2 \cdot \operatorname{Sen}^2 \varphi))}}$
---	---

### Ejercicio N° 7:

Convertir las coordenadas cartesianas del vértice A 304 a elipsoidicas (**Sistema Campo Inchauspe**)

$$X = 2372860.36$$

$$Y = -4905344.88$$

$$Z = -3304666.97$$

Controlemos los resultados

<p><b>Coordinate Point Definition</b></p> <p>Name: A 304</p> <p>X: 2372860.36 <input type="button" value="M"/></p> <p>Y: -4905344.88 <input type="button" value="M"/></p> <p>Z: -3304666.97 <input type="button" value="M"/></p> <p>Scale Factor: <input type="text"/></p> <p>Convergence: <input type="text"/></p> <p><b>Coordinate System</b></p> <p>XYZ Cartesian ECEF, Earth Centered Earth Fixed, Campo Inchauspe [Molodensky method]</p>	<p><b>Coordinate Point Definition</b></p> <p>Name: A 304</p> <p>Latitude: S 31 24 24.1931 <input type="button" value="DEG"/></p> <p>Longitude: W 64 11 08.0628 <input type="button" value="M"/></p> <p>Height: 0.000 <input type="button" value="M"/></p> <p>Scale Factor: <input type="text"/></p> <p>Convergence: <input type="text"/></p> <p><b>Coordinate System</b></p> <p>Geodetic Latitude / Longitude, Campo Inchauspe [Molodensky method]</p>
--	--

## El Datum Vertical

El punto fundamental llamado PARN (Punto Altimétrico de Referencia Normal) se encuentra ubicado en las Sierras de Tandil<sup>6</sup>, y está vinculado al **Nivel Medio del Mar** determinado por el mareógrafo geodésico de Mar del Plata<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Se eligió este lugar como más favorable para el emplazamiento del punto por tratarse de un solo bloque homogéneo y rígido de basamento cristalino.

<sup>7</sup> Hoy no está funcionando.



## 2.15 Sistemas de Referencia Geocéntricos

El **WGS 84**, es el sistema de referencia que emplea el **Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**, puesto en funcionamiento y mantenido por el Departamento de Defensa de USA.

El **PZ 90**, es el sistema de referencia que emplea el **Sistema Global de Navegación Satelital (GLONASS)**, que es similar al GPS pero puesto en funcionamiento por la ex Unión Soviética y mantenido actualmente por el Ministerio de Guerra de Rusia. (El mantenimiento de la constelación es lamentable, a tal punto que de la serie inicial de 26 satélites sólo quedan 13 y de ellos, en la actualidad sólo hay 9 en funcionamiento)<sup>8</sup>.



Se encuentra en pleno desarrollo y ya ha comenzado el programa de lanzamientos de satélites del proyecto Galileo, que es el Sistema de Navegación Satelital Europeo **GNSS**.

Todos los mencionados son  
Sistemas Globales



Cualquiera de los **Sistemas Geodésicos** que antes hemos mencionado en el punto 2.4 **Sistemas Geodésicos**, **solo tienen un alcance dentro de un espacio geográfico o región.**

Son muy homogéneos en las proximidades del punto fundamental, donde Geoide y Elipsoide son tangentes, pero a medida que nos alejamos de dicho punto, aumenta considerablemente la separación entre ambas superficies de referencias al mismo tiempo que lo hacen las perturbaciones producidas por las anomalías de la gravedad.-

Esto ocurre con el sistema **Campo Inchauspe '69**, que solo es válido para el territorio Nacional, o el Sistema Geodésico **Chua Astro**, que sólo es válido en Paraguay.

👉 Cuando empleamos un sistema de navegación satelital, (tal como es el **GPS**), el cual por definición tiene que poder utilizarse en todo el mundo, es necesario disponer de un sistema de referencia universal, válido para cualquier punto del planeta.

¿Cómo hacemos para expresar la ubicación de cada satélite y como expresamos nuestra posición, en un único Sistema de Referencia?

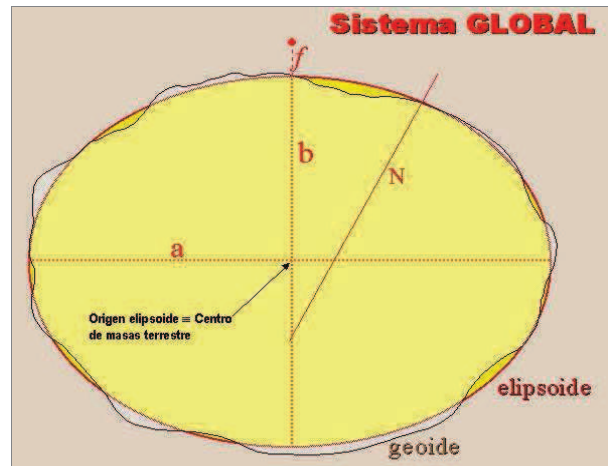
👉 Necesitamos definir un sistema de referencias **universal o global**, tal que pueda ser utilizado por el sistema de navegación de los satélites y al mismo tiempo por cualquier usuario, en cualquier parte del planeta que se encuentre.-

<sup>8</sup> Según Ing.Miguel Diaz Saravia

En los sistemas globales, el elipsoide geométrico de referencia, está centrado en coincidencia con el Centro de Masas de la Tierra.

Estos reciben el nombre de **Sistemas Geocéntricos**, en ellos: **el ajuste entre elipsoide y geode se plantea a nivel global.**

Se intenta que el elipsoide de revolución compense en volúmenes las ondulaciones del geode.



En los sistemas geocéntricos, el datum horizontal coincide totalmente con el Datum vertical, es decir existe un solo y único datum.

En resumen:

**Sistemas Geodésicos:** Latitud - Longitud (Punto fundamental - Datum horizontal)  
Cota Ortométrica (Geoide local - Datum Vertical)

**Sistema Global:** Coordenadas Cartesianas X, Y, Z ó  
Latitud - Longitud - Altura s/elipsoide (Datum geocéntrico)

Hay que advertir que no es sencillo definir el centro de masa de la Tierra y pueden existir diferencias entre los sistemas globales; de hecho hay un corrimiento entre WGS84 y PZ90 en el origen y una pequeña rotación en la adopción del eje **Z** medio.

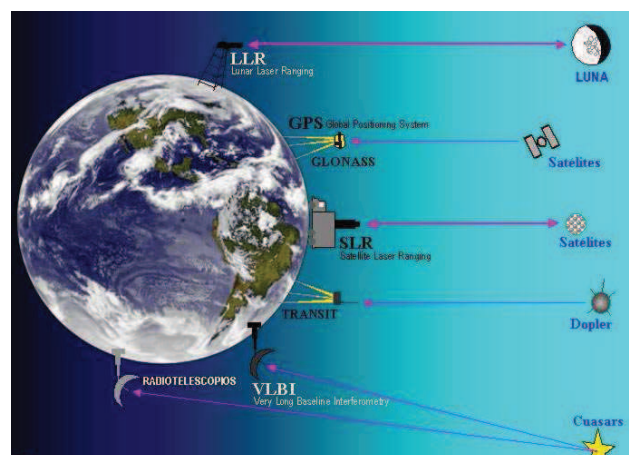
Además por supuesto debemos considerar que los parámetros que definen los elipsoides también suelen ser diferentes ya que cada organización pretende asimilarse lo más posible a la verdadera forma de la Tierra.

Los parámetros que definen el sistema son fijos, solo van cambiando aquellos que definen la posición del origen, como consecuencia que día a día se va definiendo más y mejor la verdadera forma del geode.

Estas mejoras que se van introduciendo al modelo global del geode geocéntrico, depende:

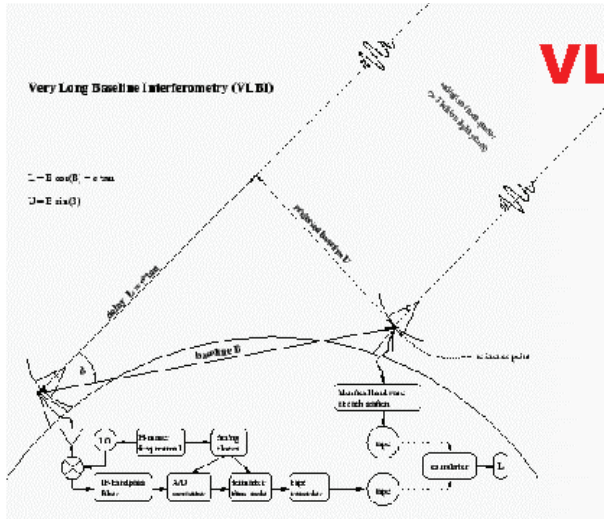
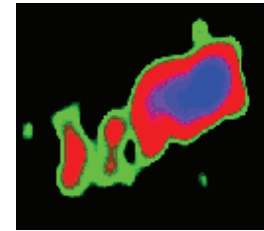
1. de las observaciones que surgen de las estaciones permanentes distribuidas sobre toda la tierra, perteneciente a distintos programas internacionales:

**IERS, DORIS, SLR, LLR, VLBI, IGS, GPS, GLONASS y PRARE**

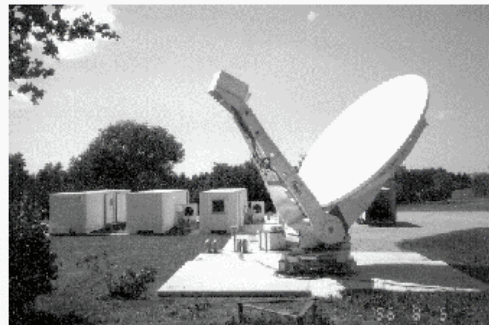


2. de las mediciones realizadas para la determinación del geode tales como: vinculación e integración de geoides locales. Mediciones para determinar el campo gravífico terrestre, del océano y de la atmósfera, mediciones de las anomalías de la gravedad realizado en campañas terrestres, con aviones y satélites Y mediciones de la forma de la tierra mediante el empleo del radar colocado en aviones, satélites y recientemente el transbordador espacial.

**VLBI** (Very Long Baseline Interferometry). Consiste en la operación simultánea de grandes antenas de radioastronomía, en estaciones que están separadas entre sí por varios miles de Kilómetros, que rastrean el mismo objeto celeste ( generalmente radiofuentes extragalácticas – pulsar o quasar ). La correlación de las medidas hechas en cada estación permite definir las componentes de las líneas de base con precisión centimétrica.

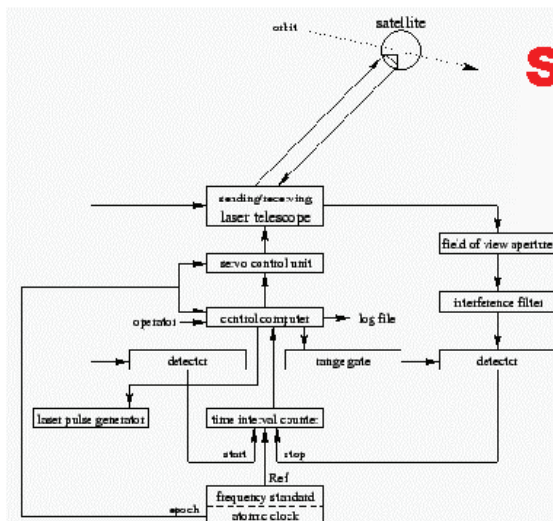


**VLBI** ( very Long Baseline Interferometry )

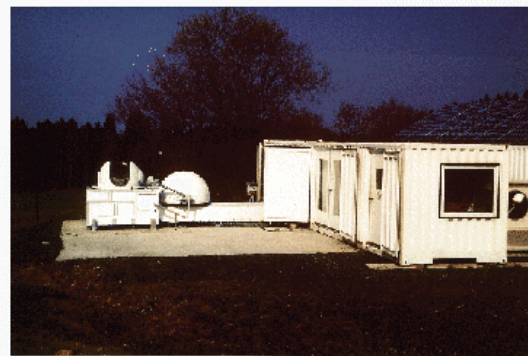


**TIGO** ( Transportable Integrated Geodetic )

**SLR** (Satellite Laser Ranging), es una técnica que se viene aplicando desde mediados de la década del '70. Consiste en medir las distancias a satélites apropiados para tal fin, mediante disparo láser desde estaciones terrenas.-



**SLR** ( Satellite Laser Ranging )



**TIGO** ( Transportable Integrated Geodetic )

**LLR** (Lunar Laser Ranging). Consiste en medir las distancias a un prisma especialmente colocado en la superficie lunar, mediante disparo láser desde estaciones terrenas. Actualmente esta técnica ha quedado en desuso, a causa que las señales han quedado cubiertas con polvo lunar.-

**DORIS** Medición de variación de distancias desde satélites específicos a balizas orbitográficas.

**PRARE** The Precise Range And Range-Rate Equipment PRARE is a compact, space-borne, two-way, two-frequency microwave satellite tracking system that is in routine operations onboard the second European Remote Sensing satellite ERS-2



Tal como se puede apreciar en los gráficos, una **TIGO** es un estación geodésica integral transportable que realiza una serie completa de observaciones, mediciones de VLBI, mediciones SLR, mediciones GPS y GLONAS de altísima precisión, PRARE, DORIS, determinaciones de las anomalías de la gravedad, lleva registros sísmicos, mediciones y registros meteorológicos, mediciones de la marea terrestre, etc.

En Diciembre de 1998, el Instituto **BKG** (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) de Alemania, quienes realizan mediciones en todo el mundo para la perfección de los parámetros de **ICRF** (International Celestial Reference Frame), los parámetros de **ITRF** (International Terrestrial Reference Frame) y de **IERS** (International Earth Rotation Service); llamó a concurso para instituciones que les interesase trabajar en un proyecto conjunto en el manejo de una estación TIGO; dos profesores de esta Escuela, el Ing. Geogr. Victor Haar y el Ing. Agrim Miguel Diaz Saravia, solicitaron a dicha institución, la colocación de la misma en los terrenos de la estación terrena de la CONAE (Comisión Nacional de Asuntos Espaciales) en falda del Carmen, con la idea de ser operada en forma conjunta entre la Escuela de Agrimensura de la UNC y la CONAE

En este lugar, se cumplían con todas las condiciones requeridas para la instalación de la estación, el lugar era de maravillas, el clima inmejorable, la ubicación geográfica de primera, la cercanía a un aeropuerto internacional, las facilidades con que contaría el personal extranjero, etc., el mas grave problema era el aspecto económico ya que había que hacer un importante aporte de dinero para el montaje, mantenimiento y sueldos de personal de planta permanente de no menos 11 personas para atender la estación que debe trabajar las 24 horas los 365 días del año.

Córdoba fue seleccionada en Noviembre de 1999, pero la negación a realizar un aporte económico por parte de las autoridades académicas universitarias, fue la principal causa por la cual se resolvió instalar la estación TIGO en Concepción, en la vecina República de Chile.

Continuando con los sistemas geocéntricos:

Cuando el Origen del Sistema está en el centro de masa de la Tierra y la posición de los ejes coincide con las definiciones del **IERS** (Servicio Internacional de la Rotación de la Tierra), este sistema adquiere el nombre de **ITRS** (Sistema Internacional de Referencia Terrestre). A su vez, a éste le corresponde el **ITRF** (International Terrestrial Reference Frame) ó **Marco Internacional de Referencia Terrestre**, a cuya sigla se le agrega el año para el cual fue determinado. - Ejemplo.: ITRF 92 - ITRF 93 - ITRF 94 - ITRF 98.

**ITRF 94** fue definido en dicho año y es el que está en uso en la actualidad, ya que todavía no se han concluido con los ajuste de coordenadas de la red de ITRF98. (ver página Web)

Es importante conocer el dato del año. Por una parte porque los parámetros del origen del **sistema de referencia** han sido establecido para dicha fecha, y en el caso **del marco de referencia** como el de nuestro ejemplo, porque el planeta se mueve y la corteza terrestre también lo hace, en su movimiento arrastra los mojones que conforman el marco alterando las coordenadas del punto, es decir que cada vértice de la red posee en definitiva cuatro coordenadas, las coordenadas **X, Y, Z** del punto referida al año 94 y la cuarta coordenada es el vector velocidad. Por lo tanto al comparar dos mediciones realizadas en tiempos diferentes, se encontrarán diferencias y por ello es necesario reducir ambas a la época de medición.

El desplazamiento entre los dos sistemas (WGS 84 - ITRF 94) es menor que un metro. Este valor también resulta ser, la precisión de las coordenadas absolutas de los puntos expresados en WGS 84.

La **Asociación Internacional de Geodesia**, recomienda el empleo del Sistema ITRF, para las aplicaciones geodésicas de muy alta precisión y las determinaciones Geodinámicas, es por ello que ITRF provee coordenadas y velocidades de los puntos de la red. Y recomienda el uso de WGS84 para determinaciones geodésicas, microgeodésicas, topométricas, la cartografía y la navegación.

De los dos sistemas de posicionamiento satelitario actualmente vigentes, el más conocido y difundido mundialmente es GPS, por tal motivo a continuación, recordaremos algunos conceptos muy básicos a fin de utilizarlos posteriormente en las aplicaciones de esta técnica.

### 2.15.1 El Sistema GPS (Global Positioning System)

Como de costumbre, no está en mi intención desarrollar el tema GPS, ya que el alumno puede encontrar este tema mejor desarrollado y con mayor profundidad en decenas de libros de texto escritos al respecto. La idea es abordar (o recuperar de la memoria), algunos puntos que luego nos serán de mucha utilidad en las aplicaciones específicas.

**Un poco de historia:** El Sistema **GPS**, surge como una necesidad militar, se requería de un sistema de navegación confiable, extremadamente preciso y de alcance mundial. El propósito era poder conocer a tiempo real la ubicación exacta de toda la flota de guerra, y poderlos conducir del modo más rápido y más seguro hasta el frente enemigo; y por otra parte, poder colocar un misil en el blanco con error de apenas unos decímetros.-

Por este motivo, el Sistema fue creado por el Departamento de Defensa de los EEUU y es el único ente que tiene a su cargo la operatividad del sistema.-

El sistema con fines exclusivamente militares comenzó a funcionar a partir de 1978 y recién fue liberado a su uso civil en el año 86, mientras tanto la navegación aérea y marítima continuaba siendo dirigida por las cadenas LORAN, pero a causa de un accidente aéreo ocurrido a un avión de transporte de pasajeros, que fuese derribado por invadir el espacio aéreo de Corea del Norte, la gran presión ejercida por los medios logró que GPS se liberara al uso civil. Hoy en día el uso civil del sistema ha sobrepasado largamente el uso militar.-

El sistema GPS está constituido por 3 segmentos fundamentales:

- El segmento espacial
- El segmento de control
- El segmento usuarios

#### **El Segmento Espacial**

Está constituido por la **constelación NAVSTAR**

- El proyecto fue diseñado con 21 satélites operativos y tres de reserva. En Enero de 1998 había 27 satélites en órbita. Hoy el sistema cuenta con 29 satélites (24 en uso y 5 disponibles como reserva).-
- altura de las órbitas: 20.200Km.
- período de rotación: 12hs. Sidéreas (12Hs, 4min de tiempo rotacional terrestre)
- 6 órbitas planas a 55° respecto al plano del Ecuador (4 sat. en cada órbita)
- En cualquier punto de la tierra, y en cualquier momento entre 6 y 12 satélites observables – 5 con geometría favorable.

Los satélites llevan 2 paneles solares que les permiten recargar los acumuladores a fin de mantener el funcionamiento de los instrumentos en el momento en que estos se encuentran eclipsados.

Tienen una serie de antenas emisoras que funcionan en la banda “L” del espectro y son las encargadas de enviar las señales a tierra.





Otra antena operando en banda “S” para recibir las correcciones desde los centros de rastreo y control terrestre.

Las antenas son direccionales, de modo tal que deben apuntar permanentemente hacia la tierra, y al girar ésta, obliga a generar un movimiento rotacional también al satélite.-

Cada satélite lleva 2 relojes atómicos, ellos pueden ser de rubidio con una precisión de  $10^{-12}$ ; o de Cesio  $10^{-13}$  o de Hidrógeno  $10^{-14}$  de precisión en la estabilidad.

Todos los satélites trabajan en las mismas frecuencias. Cada uno de ellos emite dos portadoras con distintas frecuencias, se les llama “ondas portadoras” L1 y L2.

Montados sobre las portadoras, viajan dos señales de códigos (C/A – P ), y un mensaje de navegación, todo ello conforma una onda que se denomina “ruido pseudo aleatorio” y que es la firma espectral de cada satélite.-

### ***El Segmento de Control***

Hay 10 estaciones oficiales de control terrestre distribuidas por todo el mundo. La estación central se encuentra en Colorado Spring.(USA)-

Las 10 estaciones se encuentran distribuidas uniformemente en longitud, poseen coordenadas extremadamente precisas expresadas en el sistema de referencia WGS 84, generalmente son también estaciones de VLBI.

Reciben señales permanentemente sobre la posición de todos los satélites y de ese modo pueden procesar y calcular con gran precisión las efemérides, llevar el ajuste de los relojes atómicos y toda otra información que luego se re transmite y almacena en la memoria de cada satélite para su radiodifusión.-

### ***El Segmento Usuario***

Son los instrumentos necesarios para determinar la posición estática de un punto, o para la navegación.-

El equipo receptor, consta de una antena (exterior o incorporada), el equipo de radio que recibe la emisión de señales, un sector de radio frecuencia y un CPU que procesa, descodifica la señal de radio y almacena los datos. También poseen un oscilador, (reloj de cuarzo) de  $10^{-10}$  de precisión en la estabilidad.

El mercado de receptores GPS se desarrolla vertiginosamente y la generación de nuevos y más sofisticados modelos crecen día a día.

Se puede decir que la obtención de la posición de un punto cualquiera sobre la superficie terrestre, en base al empleo del GPS, implica determinar la posición de ese punto respecto a la configuración geométrica de los satélites. En otras palabras, esto significa que **es necesario conocer la posición de los satélites en el instante de observación.**

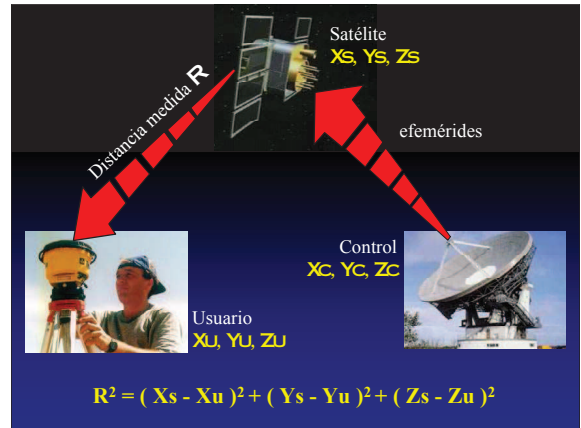


Las medidas que se realicen desde el receptor en tierra a los satélites, permiten determinar la posición relativa entre los satélites y la estación de “observación”. Conocida la posición de los satélites, resulta posible calcular la posición de la estación mediante una intersección hacia atrás múltiple.

Es preciso entonces contar con datos de las órbitas (o efemérides) de los satélites, para poder determinar su posición instantánea en un sistema de referencia terrestre común al usuario.

En el esquema se aprecia la idea básica del posicionamiento satelitario.-

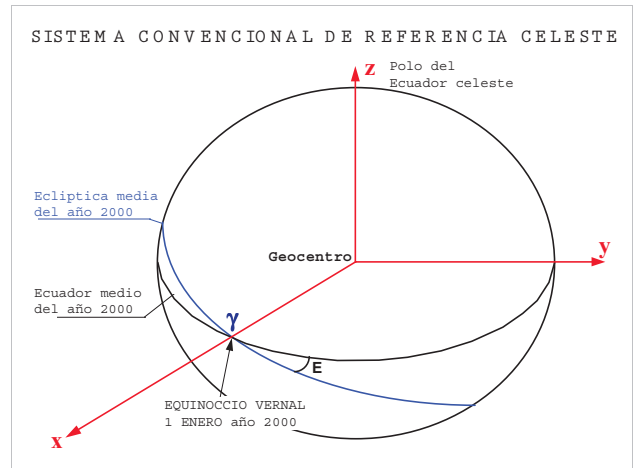
Conocidas las coordenadas del satélite y medida la distancia R, es posible calcular las coordenadas de la estación.-



### 2.15.1.a El Sistema de Referencia Espacial

Las efemérides radiodifundidas en los mensajes de navegación de los satélites, dan elementos que permiten determinar la posición del satélite en su plano orbital, expresados en un **Sistema Convencional de Referencia Celeste**

El **SCRC** utilizado por GPS ha quedado definido de tal forma que su plano ecuatorial y su equinoccio son los correspondientes a la época 12Hs del día 1 de Enero del año 2000.

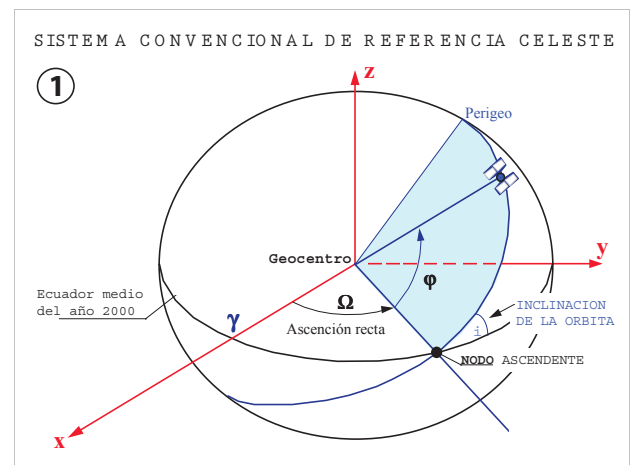


Mediante dos ( 2 ) parámetros se fija el plano orbital al Sistema.

La órbita es una elipse contenida en un plano, que forzosamente contiene al centro de masa terrestre ubicada en uno de los focos de la elipse.

1.- El primer parámetro es el ángulo geocéntrico ( $\Omega$ ) definido por la dirección al punto Aries y la dirección de los nodos. Este ángulo se denomina **ascensión recta**.

2.- El segundo parámetro es el ángulo diedro formado por el plano ecuatorial celeste y el plano orbital. Se llama **inclinación ( i )**.



**Tres parámetros más definen la geometría de la órbita:**

3.- El argumento del perigeo ( $\omega$ ).

4.- El semieje mayor de la elipse ( a ).

5.- La excentricidad de la elipse ( e ).

6.- Un último parámetro es ( $t_0$ ), el momento del paso del satélite por el nodo ascendente o por el perigeo.

A estos parámetros ideales es necesario agregarles mayor información a fin de poder predecir la posición real instantánea del satélite, ellas son :

- Anomalías gravitacionales: Producidas por el sol, la luna y otros cuerpos celestes. Irregularidades y variaciones del campo gravífico terrestre, falta de homogeneidad y mareas.
- Fricción atmosférica.
- Presión de la radiación solar directa, solar reflejada por la tierra y su atmósfera y la presión térmica.

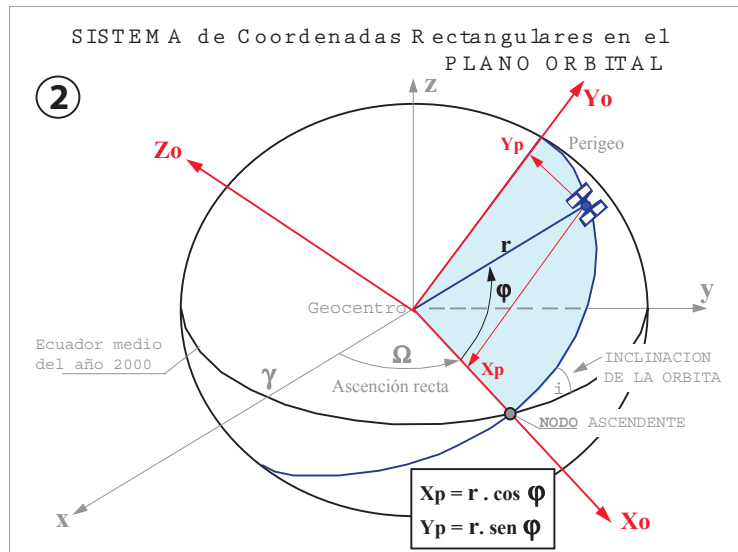
**La primera transformación** consiste en expresar la posición del satélite, en un **Sistema de coordenadas rectangulares en el plano orbital**.

Para ello consideramos el plano que contiene a la elipse y sobre él definimos una terna de ejes ortogonales.

El origen del sistema coincide con el geocentro, el eje  $X_0$  pasa por el nodo ascendente y el eje  $Y_0$  perpendicular al mismo.

El eje  $Z$  es perpendicular al plano orbital.

Mediante el conjunto de datos aportados por el mensaje de navegación puede calcularse la anomalía verdadera ( $\nu$ ), el radio vector ( $r$ ) y el argumento de latitud ( $\phi$ ).



Y con ellos calcular las coordenadas rectangulares  $X_p$  e  $Y_p$ .

**La segunda transformación** es el pasaje del Sistema plano orbital a un Sistema **Rectangular Instantáneo**, el cual queda definido por:

**Origen:** el geocentro

**Plano fundamental:** Plano ecuatorial instantáneo.

**El eje X:** es la intersección del plano fundamental con el meridiano de Greenwich

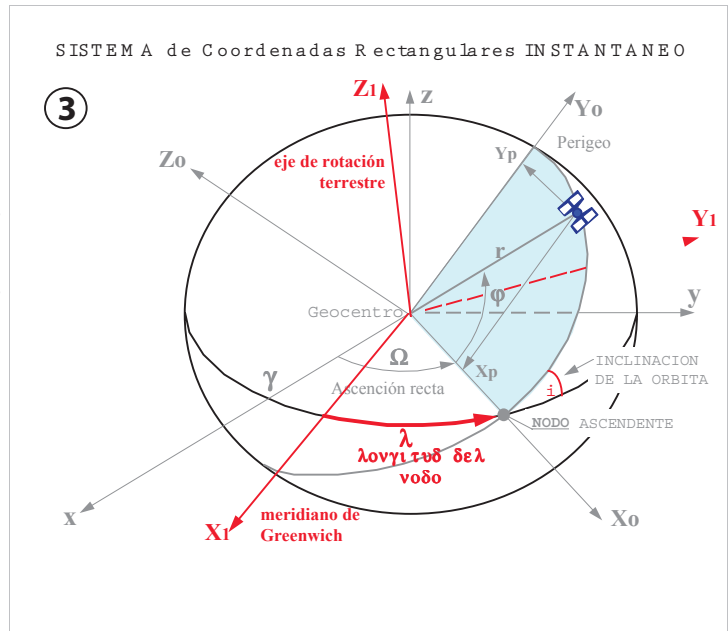
**El eje Y** perpendicular al eje X.

Y el **eje Z** coincidente con el eje de rotación instantáneo (o verdadero) terrestre.

Mediante el conjunto de información que se dispone, se calcula:

La inclinación ( $i$ ).

La longitud ( $\lambda$ ) del nodo ascendente.



Pero este sistema, por su característica de ser instantáneo no es fijo e implica, (supongamos el caso de estar observando 6 satélites) que tendremos toda la información expresada en seis sistemas de referencias distintos. Por tal motivo es necesario realizar una última transformación, reducirlo a un Sistema terrestre fijo y convencional.

### 2.15.1.b El Sistema de Referencia Terrestre WGS 84

El Sistema terrestre adoptado es el WGS 84 (World Geodetic System 1984), el cual queda definido por:

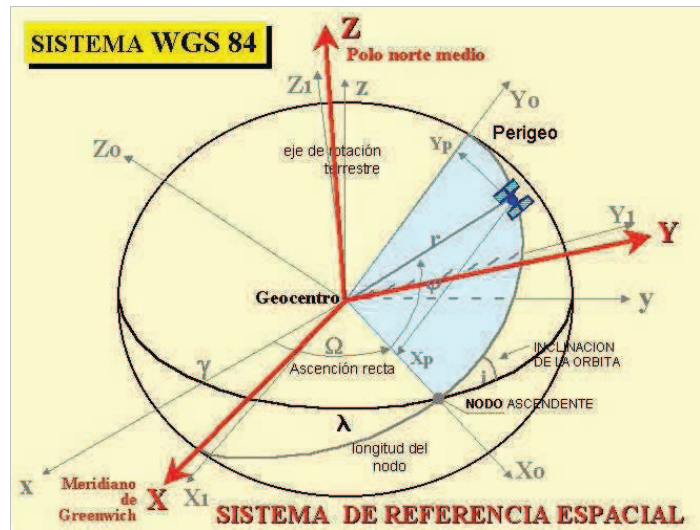
**Origen:** Centro de masas de la tierra.

**Plano fundamental:** Plano del Ecuador medio

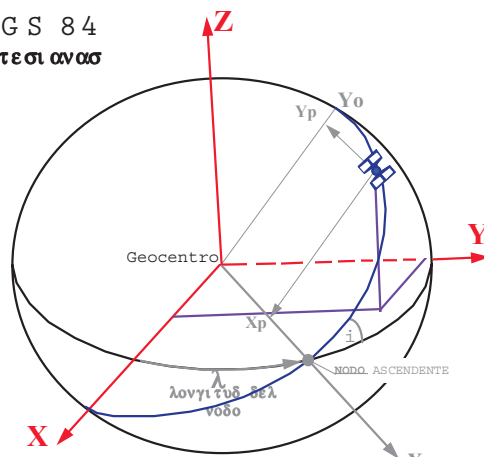
**El eje X:** es la intersección del plano fundamental con el meridiano de Greenwich

**El eje Y:** dextrógiro, y perpendicular al eje X.

**El eje Z:** es paralelo a la dirección del polo medio.



SISTEMA WGS 84  
Χοορδεναδασ Χαρτσει ανασ

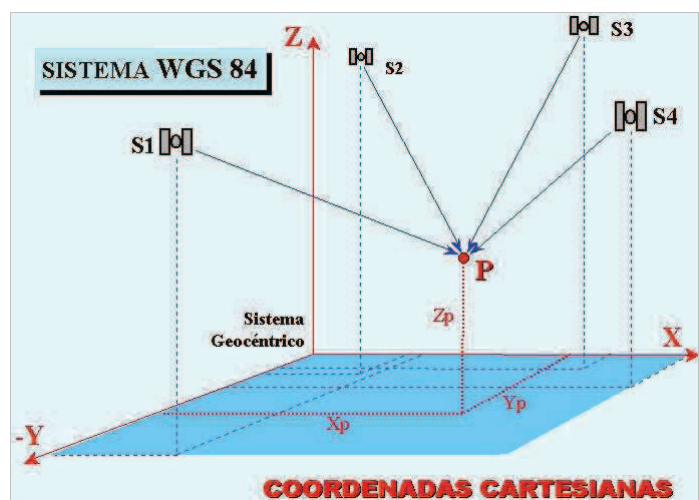


$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} = (X_p \ Y_p \ 0) \begin{Bmatrix} \cos \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\cos i \cdot \text{sen } \lambda & \cos i \cdot \cos \lambda & \text{sen } i \\ \text{sen } i \cdot \text{sen } \lambda & -\text{sen } i \cdot \cos \lambda & \cos i \end{Bmatrix}$$

El algoritmo para el pasaje de coordenadas es muy sencillo. Finalmente tenemos la posición de cada satélite en un sistema único de referencia terrestre, expresado mediante sus coordenadas cartesianas.

Ya conocidas las coordenadas, mediante una intersección hacia atrás múltiple, de un mínimo de cuatro satélites, poder determinar las coordenadas de la estación, las cuales estarán expresadas en el mismo sistema de Referencia:

Sistema de Referencia: **WGS 84**  
Sistema de Coordenadas: **Cartesianas**





Pero tal como expresáramos antes resulta muy difícil y hasta imposible, poder ubicarse el globo terrestre con esta forma de referencia, por tal motivo, expresamos sus coordenadas sobre una elipse de referencia, obteniendo la posición del punto por sus tres coordenadas elipsóidicas Latitud, Longitud y altura elipsoidal.

parámetros

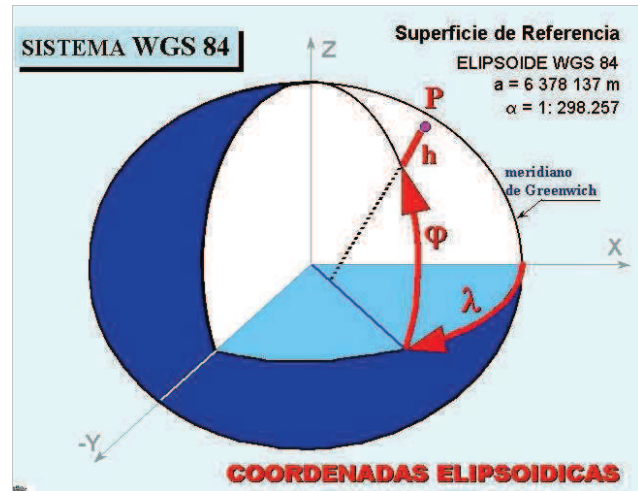
$$a = 6\,378\,137 \text{ m}$$

$$1/\alpha = 298.257223563$$

$$b = 6\,356\,752.3142 \text{ m}$$

$$e^2 = 0.00669437999013$$

$$e'^2 = 0.00673949674226$$



**E**n resumen, cuando nosotros realizamos un posicionamiento GPS, ya sea para realizar una red de apoyo geodésica o un levantamiento topográfico, lo que obtenemos son coordenadas cartesianas, o coordenadas elipsóidicas de cada uno de los puntos expresadas en un único **Sistema: WGS84**.

Estas coordenadas expresadas en WGS84 necesitamos vincularlas a un Marco, caso contrario estarían flotando en un entorno cuya precisión sería igual a la determinación en absoluto, de modo tal que si nos vinculamos al marco materializado por la red del IGM, habría que transformar las coordenadas medidas al Sistema Campo Inchauspe, o las coordenadas del marco a WGS84; pero también podríamos vincularnos directamente a un Marco cuyas coordenadas ya se encuentren expresadas en WGS84, lo cual es el caso de la **red POSGAR** (Posiciones Geodésicas Argentinas).



## 2.15.2 La red POSGAR

*El texto que sigue a continuación, ha sido extractado de la publicación: **Sistemas Geodésicos**<sup>1</sup>*

### Introducción

La modernización tecnológica unida a las transformaciones económicas y políticas producidas en la última década en nuestro país y en el mundo (ver capítulo 5), fueron agudizando paulatinamente la necesidad de materializar en el territorio argentino un sistema de referencia compatible con las nuevas condiciones.

A comienzos de la década del 90, especialistas de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y del Instituto Geográfico Militar (IGM) analizaban las posibilidades de materializar un nuevo marco de referencia utilizando observaciones GPS. Diversos trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales fueron producto de esas investigaciones y dieron lugar a recomendaciones de avanzar en la dirección de materializar un marco de referencia suficientemente preciso para las aplicaciones que se estaban desarrollando en el país y tan cercano como fuera posible al sistema global WGS84, utilizado por el GPS (ver, por ejemplo, “Una red GPS para el país: el proyecto POSGAR”, R. Rodríguez, Revista del IGM, Año 4, N° 6, enero - diciembre de 1989/90). En ese contexto nace el proyecto POSGAR (POSiciones Geodésicas ARGentinas), cuyo principal objetivo fue materializar dicho marco de referencia.

Una circunstancia afortunada crea una oportunidad inmejorable para realizar las tareas de campo: un proyecto científico denominado Central Andes Project (CAP), liderado por dos universidades estadounidenses cuyo objetivo era el estudio de la geodinámica de los Andes centrales, se proponía medir con GPS una red de control de muy alta precisión, con numerosos puntos distribuidos mayoritariamente en el oeste del país, llegando hasta la latitud de aproximadamente -40°. A cambio del apoyo logístico para realizar las mediciones, ofrecían sus receptores para la medición de la red POSGAR. Esta oportunidad no fue desaprovechada por el IGM y gracias a ello pudieron realizarse tres campañas de medición que dieron lugar a la red POSGAR:

- POSGAR 93: desde el 10 de febrero hasta el 12 de abril de 1993;
- CAP 93: desde el 11 de febrero hasta el 11 de marzo de 1993;
- POSGAR 94: desde el 8 de marzo hasta el 5 de mayo de 1994.

Por la misma época la comunidad de usuarios del sistema GPS se expandía en forma sostenida y ya había comenzado el desarrollo de importantes programas de modernización de los catastros provinciales, los que involucraban grandes inversiones solventadas mayoritariamente con créditos de organismos financieros internacionales. Estas circunstancias impusieron una condición adicional al desarrollo del proyecto: el nuevo marco de referencia debía estar disponible en el plazo más corto posible para proveer un sistema de referencia único para todo el país, al cual pudieran vincularse los nuevos levantamientos GPS, en especial las redes geodésicas provinciales que ya estaban en ejecución.

Era necesario entonces, realizar el cálculo de las observaciones que permitiera disponer de las nuevas coordenadas. Esta responsabilidad fue asumida por la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la UNLP, contando para ello con el apoyo económico del Programa de Desarrollo Económico y Saneamiento Financiero de las Provincias Argentinas, interesado en que los proyectos catastrales dispusieran del nuevo marco de referencia en el tiempo más breve posible.

Una decisión importante al momento de iniciar el cálculo fue decidir qué programa de procesamiento se utilizaría. Por un lado, los programas denominados “científicos” ofrecían la posibilidad de extraer de las observaciones la máxima precisión posible, pero su uso demandaba de una experiencia no suficientemente bien desarrollada en el país. Por otro lado, el uso de un programa “comercial” aseguraba la posibilidad de realizar un cálculo compatible con las precisiones requeridas y el tiempo disponible. Finalmente, se optó por esta última alternativa, lo que permitió disponer de las coordenadas que dieron lugar al actual marco de referencia POSGAR 94, a comienzos de 1995.

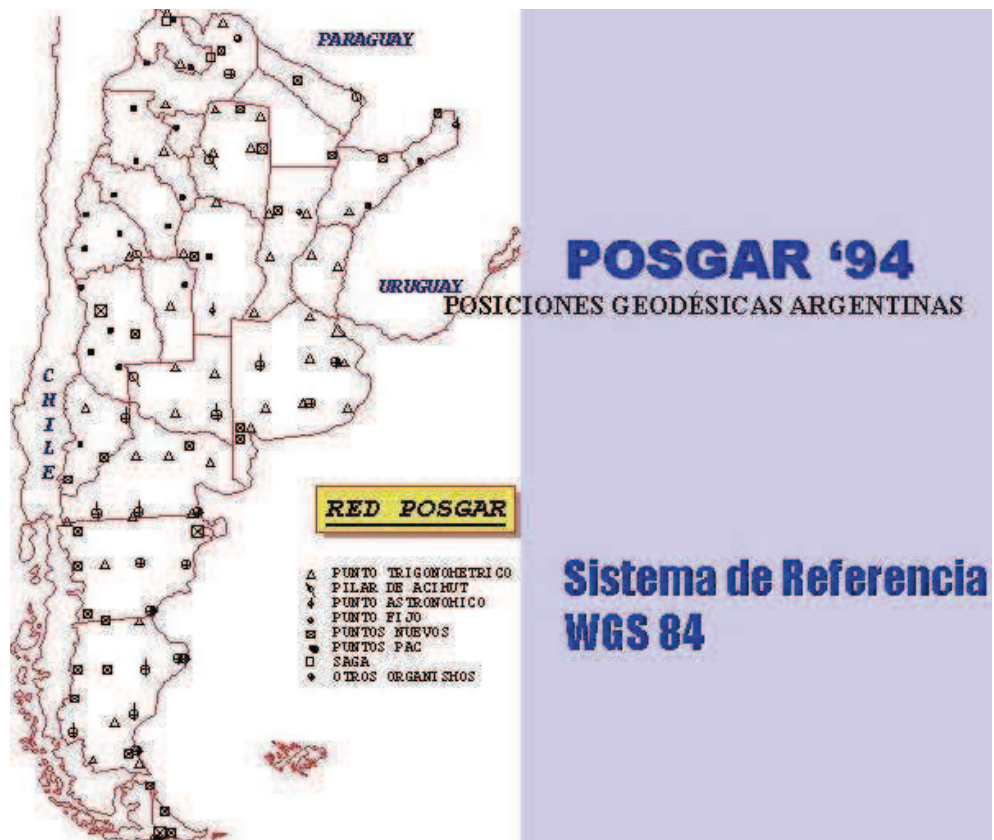
Los estimadores “internos” de precisión, esto es, los que se obtenían luego de compensar los vectores medidos, resultaron muy satisfactorios, mostrando una red homogénea con una precisión del orden de 1 parte por millón. Sin embargo, tuvo que transcurrir algún tiempo hasta poder disponer de controles “externos” que permitieran estimar de una forma más confiable la exactitud del marco de referencia POSGAR 94. Estos controles fueron aportados principalmente por el proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del SUR) y, en menor medida, por el proyecto geodinámico SAGA (South American Geodynamics

<sup>1</sup> Redactado por el Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, coordinado por nuestro corrector Ruben Rodriguez.

Activities). Tales comparaciones confirmaron el acuerdo interno de la red obtenido mediante la compensación, pero además mostraron que POSGAR 94 materializa un sistema geocéntrico con una precisión mejor que un metro.

En mayo de 1997, mediante la Resolución 13/97, el IGM adoptó el marco de referencia POSGAR 94 como la materialización del sistema de referencia nacional. En resumen, el proyecto POSGAR permitió contar con una red de control geodésico compatible con las modernas tecnologías GIS y GPS, capaz de satisfacer las necesidades de la gran mayoría de los usuarios de geoposicionamiento. Es oportuno señalar otro producto importante del proyecto POSGAR que muchas veces no es valorizado en su justa medida: permitió desarrollar en el país la experiencia para manejar el problema complejo de establecer, controlar, mantener y perfeccionar un sistema de referencia moderno. Es importante comprender que estamos obligados a un perfeccionamiento constante que acompañe los cambios tecnológicos que el mundo moderno produce. En tal sentido, el proyecto POSGAR ha cumplido una meta importante, pero no ha finalizado.

**El sistema POSGAR 94**

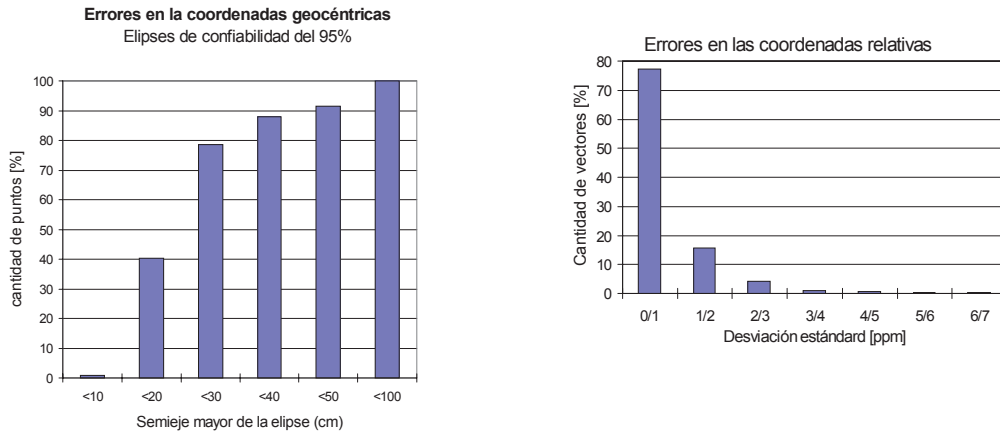


La red POSGAR 94 materializa el Sistema Geodésico Mundial de 1984, WGS 84 (World Geodetic System of 1984) en el país. Esta obra pudo concretarse gracias a la cooperación de varias instituciones: el Instituto Geográfico Militar realizó la mayor parte de las tareas de campo; el Servicio de Hidrografía Naval colaboró con parte de ellas; un consorcio de universidades que por la época realizaba la medición de la red geodinámica CAP (Proyecto Andes Centrales) facilitó varios receptores GPS, proveyó las coordenadas de 19 puntos que sirvieron como control en la compensación final de POSGAR 94 y cedió las observaciones realizadas en todos los puntos argentinos de la red; la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata realizó el cálculo de las observaciones y el Programa Provincias apoyó económicamente parte de las tareas de cálculo.

La red está compuesta de 127 puntos, separados en promedio por una distancia de 200 km, lo que asegura la posibilidad de que todas las redes geodésicas provinciales puedan vincularse a ella mediante por lo menos cuatro puntos ubicados dentro del territorio provincial o en sus cercanías.

El sistema de referencia fue materializado mediante las coordenadas de 19 puntos pertenecientes a la red CAP y un punto DORIS del Instituto Geográfico Nacional de Francia. Las coordenadas geocéntricas de estos puntos fueron transformadas del sistema ITRF 92 al WGS 84 y utilizadas como control en la compensación final de POSGAR 94. Los valores usados fueron obtenidos mediante comunicaciones personales, pues no hay valores publicados oficialmente.

Los cálculos se realizaron con programas y procedimientos estándares. Las figuras siguientes resumen la estimación de errores resultante de la compensación final de POSGAR 94. Puede verse que aproximadamente el 80 % de los puntos tienen un error en sus coordenadas geocéntricas inferior a 30 cm (3D-2s), mientras que aproximadamente el 80 % de los vectores compensados tienen un error relativo inferior a 1 parte por millón de su longitud (3D-1s).



### El sistema POSGAR 98

Con vistas a la integración POSGAR-SIRGAS, se ha realizado un nuevo cálculo de la red POSGAR, ajustado a las especificaciones oportunamente impartidas por el proyecto SIRGAS.

Seis de los diez puntos argentinos de SIRGAS son comunes con POSGAR'94, lo que permitió una comparación directa de las coordenadas, obteniendo los resultados que se muestran en las dos tablas siguientes.

PUNTO	LAT [cm]	LON [cm]	ALT [cm]
LOTE 10	48	53	-14
LOTE 24	49	14	-17
MAITEN	40	26	34
MORRO	50	24	41
V. ROBLES	52	23	4
R. GRANDE	83	33	-128

### Coordenadas geocéntricas

VECTOR	LONGITUD (KM)	DIFERENCIA (PPM)
LOTE 24	900	0.04
MAITEN	498	-0.01
MORRO	1438	0.04
V. ROBLES	2040	-0.01
R. GRANDE	862	0.31

### Vectores

Puede verse que la diferencia entre las coordenadas absolutas apenas supera el metro, mientras que las coordenadas relativas muestran diferencias por debajo de 1 parte por millón de la longitud del vector. Si bien estos resultados no pueden generalizarse a todos los puntos POSGAR, la comparación constituye un resultado excelente desde dos puntos de vista diferentes:

- Muestra que POSGAR 94 materializa un marco de referencia de muy buena calidad, tanto en su posicionamiento geocéntrico como en su precisión relativa.
- Permite inferir que las coordenadas POSGAR 94 sufrirán variaciones pequeñas, prácticamente imperceptibles para la gran mayoría de las aplicaciones prácticas, cuando se realice la vinculación con SIRGAS.

La precisión de una red geodésica no constituye un bien en sí mismo, sino en la medida que la hace útil a nuevos y más variados usuarios. Mientras que una red de alta precisión puede satisfacer las necesidades de los usuarios que sólo requieren baja precisión, lo inversa es a todas luces falso.

Si bien la diferencia entre los sistemas POSGAR 94 y un POSGAR 98 serán imperceptibles para la mayoría de los usuarios, el refinamiento del sistema permitirá su uso en aplicaciones más exigentes, como por ejemplo, brindar un marco de referencia preciso para grandes redes de control como las que se están ejecutando en el marco del proyecto PASMA, o las que serán necesarias para la definición de un nuevo datum vertical para el país.

### Conclusiones

De una georreferenciación correcta depende, en gran medida, el aprovechamiento que pueda hacerse de un SIG/SIT y también su valor de mercado por cuanto lo hace útil a un mayor número de usuarios. Tal condición sólo puede cumplirse si las coordenadas de apoyo de todos los levantamientos están vinculadas al mismo sistema de referencia, lo que solamente queda garantizado a través del uso de POSGAR 94.

POSGAR 94 materializa mediante 127 puntos distribuidos en el país un marco de referencia de muy buena calidad, cuyo posicionamiento geocéntrico tiene una exactitud del orden de 1 metro y cuya precisión relativa es del orden de 1 parte por millón.

Un nuevo POSGAR (98 u otro) constituirá un refinamiento en la exactitud de POSGAR 94. La vinculación con SIRGAS asegurará un posicionamiento geocéntrico con una exactitud de pocos centímetros y un nuevo cálculo de las observaciones mediante procedimientos científicos brindará una mayor precisión relativa.

Los cambios que estos refinamientos producirán en las actuales coordenadas POSGAR 94 serán prácticamente irrelevantes para la mayoría de las aplicaciones prácticas. Se estima que las coordenadas geocéntricas podrán cambiar en el orden de 1 metro, mientras que las coordenadas relativas sufrirán en la gran mayoría de los casos variaciones inferiores a 1 parte por millón.

Hasta tanto se publiquen las coordenadas POSGAR 98 todos los levantamientos deben vincularse a POSGAR 94. En el futuro, la transformación de coordenadas entre ambos sistemas podrá realizarse mediante parámetros de transformación que preservarán la precisión del actual marco de referencia POSGAR 94.

## 2.16 Transformación de Coordenadas

### - Del Sistema WGS84 al Sistema Campo Inchauspe '69 -

Hemos observado un punto mediante posicionador GPS, obteniendo la posición expresada en coordenadas elipsóidicas  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ . Y queremos realizar una transformación al sistema Campo Inchauspe '69, expresándolo también en coordenadas elipsoidicas.

Para realizar esta transformación es necesario ejecutarlo en tres pasos:

1. Al estar expresado en coordenadas geográficas, recordemos que la posición del punto está referida a la superficie auxiliar utilizada en WGS84, por tal motivo es necesario convertir previamente las coordenadas elipsóidicas en coordenadas cartesianas, teniendo en cuenta (por supuesto) los parámetros del elipsoide de referencia.
2. Adicionamos los parámetros que vinculan el centro del sistema WGS84, con el centro del sistema Campo Inchauspe.

En los levantamientos geodésicos y en escasos levantamientos topográficos, es necesario conocer los 7 parámetros de transformación. Para ello es preciso determinar las coordenadas cartesianas de al menos tres puntos del IGM de 1° orden y realizar la transformación aplicando el modelo de Badekas- Molodenski para 7 parámetros.-

En la mayoría de nuestros levantamientos para estudios de obras de ingeniería, es suficiente determinar la transformación aplicando el modelo de Molodenski reducido a los tres parámetros de traslación del centro del elipsoide u origen del sistema.-

**GEODESIA**

Modelo matemático de Badekas-Molodenski (siete parámetros)

$$\begin{Bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} K & \epsilon_Z & -\epsilon_Y \\ -\epsilon_Z & K & \epsilon_X \\ \epsilon_Y & -\epsilon_X & K \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} X_C - X_M \\ Y_C - Y_M \\ Y_C - Y_M \end{Bmatrix}$$

Coordenadas cartesianas Sist.C.Inch.   
 Coordenadas cartesianas Sist.WGS84   
 Parámetros de traslación del centro   
 Parámetros de rotación y factor de corrección de escala   
 Coordenadas del centro de masa

**TOPOGRAFIA**

$$\begin{Bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 148 \\ -136 \\ -90 \end{Bmatrix}$$

Coordenadas cartesianas Sist.C.Inch.   
 Coordenadas cartesianas Sist.WGS84   
 Parámetros de traslación del centro

3. Como lo que se pretende es obtener también coordenadas geográficas, efectuamos una conversión de coordenadas llevándolas a la superficie de referencia, en este caso el elipsoide internacional de Hayford.

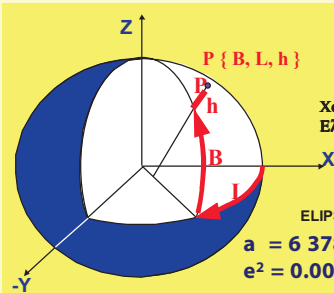
**TRANSFORMACION DE COORDENADAS**

**DEL SISTEMA WGS 84 AL SISTEMA Campo Inchauspe '69**

**DATOS:**     $\varphi$  → latitud geodésica  
                    $\lambda$  → longitud geodésica  
                    $h$  → altura elipsoidal

**COORDENADAS ELIPSÓIDICAS WGS84 A CARSIANAS WGS84**

$X = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda$   
 $Y = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \text{sen } \lambda$   
 $Z = (N (1 - e^2) + h) \cdot \text{sen } \varphi$   
 $N = \frac{a}{\sqrt{1 - (e^2 \cdot \text{Sen}^2 \varphi)}}$



**1**

Χορδενός Ελλειπίχως

ΕΛΙΠΣΟΙΔΕ WGS 84

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

$e^2 = 0.00669437999$

**COORDENADAS CARSIANAS WGS84 A CARSIANAS Cpo Inch. '69**

**2**

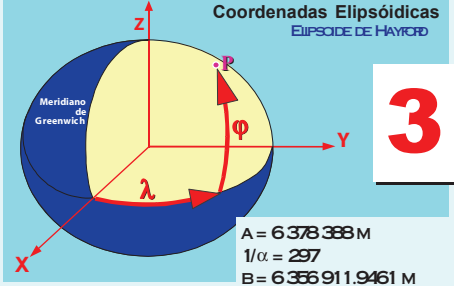
$X = X + 148$   
 $Y = Y - 136$   
 $Z = Z - 90$



**COORDENADAS CARSIANAS Cpo I.69 A ELIPSÓIDICAS Cpo I.69**

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Z + e^2 \cdot b \cdot \operatorname{sen}^3 v}{\sqrt{X^2 + Y^2 - e^2 \cdot a \cdot \operatorname{cos}^3 v}}$$

$$\operatorname{Tg} \lambda = \frac{Y}{X}$$

$$v \rightarrow \operatorname{tg} v = \frac{Z}{(1 - \alpha) \cdot \sqrt{X^2 + Y^2}}$$


**Coordenadas Elipsóidicas**  
ELIPSOIDE DE HAYFORD

A = 6 378 388 M  
1/alpha = 297  
B = 6 356 911.9461 M  
E<sup>2</sup> = 0.00672267002233  
E'<sup>2</sup> = 0.00676817019722

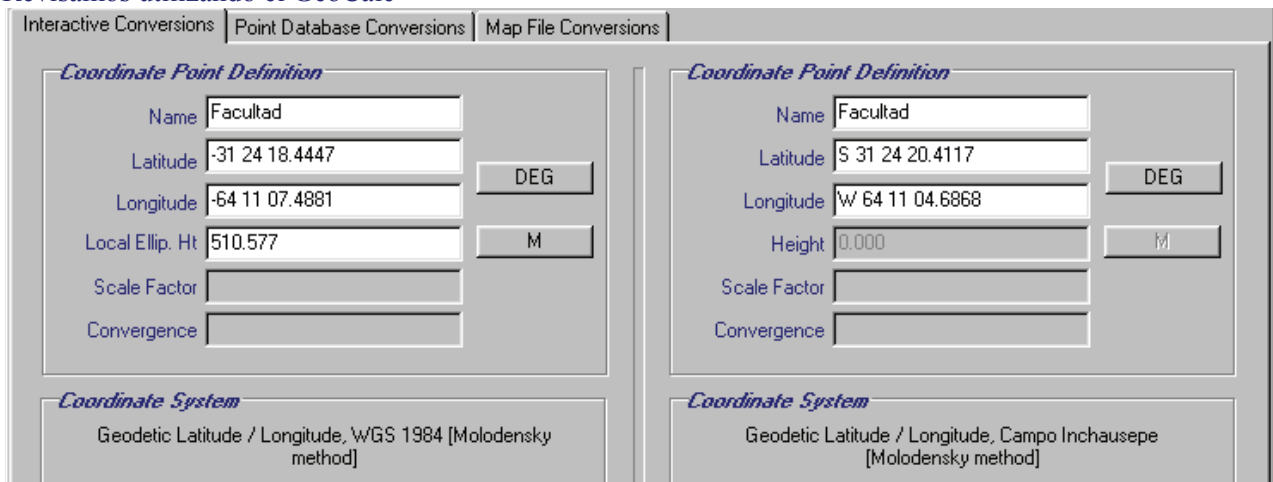
**Ejercicio N° 8:**

Hemos realizado una observación GPS en un punto fijo de un Sistema de Apoyo vinculado a la Red POSGAR, resultando los siguientes valores expresados en el Sistema WGS 84:

- ❖ Latitud: -31 24 18.4447
- ❖ Longitud: -64 11 07.4881
- ❖ Altura h : 510.577

Se desea conocer las coordenadas elipsóidicas del punto, en el Sistema Campo Inchauspe '69

Revisamos utilizando el GeoCalc



Un problema que frecuentemente se nos plantea, es compatibilizar o comparar, las mediciones realizadas con GPS, generalmente aplicadas sobre los vértices del Sistema de Apoyo Principal, con las mediciones de obra, generalmente realizadas con estación total.

Para poder comparar dos mediciones de tan distinta fuente, lo usual es convertir las mediciones GPS en coordenadas planas, en alguna proyección (necesariamente) conforme.

Pero es también común observar, que existen diferencias considerables entre ambas distancias, las cuales serán mayores en la medida que los puntos estén más alejados del meridiano de contacto, y/o aumente la altura sobre el nivel del mar de los puntos.

Una solución adecuada es determinar la verdadera magnitud del vector determinado por los dos puntos observadas con GPS. Para ello convertimos las coordenadas elipsóidicas en Cartesianas, para luego calcular la magnitud del vector resultante.

$$\text{Distancia inclinada: } D_i = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2}$$

Una manera aproximada de obtener la distancia del vector reducida al horizonte es hacer:  $DH / D_i$

**Ejercicio N° 9:**

Calcular el vector distancia (inclinada y reducida), entre dos puntos cuyas posiciones han sido determinadas con GPS, en el sistema WGS 84.

**Punto 1**

Latitud: -31 24 18.4447  
 Longitud: -64 21 07.4881  
 Altura H: 1010.577

**Punto 2**

Latitud: -31 25 16.1334  
 Longitud: -64 20 25.4774  
 Altura H: 1110.12

$$\text{Distancia inclinada: } \sqrt{(X_1-X_2)^2 - (Y_1-Y_2)^2 - (Z_1-Z_2)^2} = 2097.358 \text{ m}$$

## 2.17 Proyecciones cartográficas más usadas En las Mediciones Especiales

¿Qué sistemas de Referencia, y que proyecciones planas nos conviene utilizar en nuestros levantamientos geodésicos y/o topográficos, destinados a **estudios y proyectos de Obras de Ingeniería?**

**1.-** Lo más conveniente y sencillo, siempre que se pueda es vincularse a la red POSGAR '94. Para ello no es necesario realizar ninguna transformación, sólo vincularse a uno (o mejor a dos) puntos de la red.

Los puntos de la Red POSGAR están expresados por sus tres coordenadas  $\varphi, \lambda$  y  $h$  en el Sistema WGS84, (en cambio Campo Inchauspe, carece de la tercera coordenada  $h$ ).

**La proyección plana conforme a utilizar: Transversa de Gauss  
 Y el sistema de coordenadas: Gauss Krüger en la faja correspondiente.**

Es necesario recordar que de esta forma se encontraran diferencias ente las posiciones de los puntos con las coordenadas de los puntos trigonométricos de la red IGM, pues ellos están expresados en Sistema Campo Inchauspe.

También habrá diferencias entre los detalles tomados de una carta, pues la mayor cantidad de nuestra cartografía es una proyección Gauss Krüger convertida del Sistema Campo Inchauspe.

**2.-** Pero en muchos casos no disponemos de puntos de la red POSGAR en las proximidades de nuestro trabajo, por tal motivo debemos recurrir a la inmensa red de puntos fijos del Instituto Geográfico Militar, que es el marco del sistema Campo Inchauspe'69.

Por tal motivo las coordenadas de los vértices IGM habrá que transformarlas a WGS84, y luego convertirlas en coordenadas planas Gauss Krüger en la faja correspondiente.

**3.-** En los levantamientos geodésicos cuando no sea preciso vincularse a un Datum preestablecido. Como por ejemplo el apoyo para el proyecto de una obra de Ingeniería. O en los levantamientos topométricos, a los fines prácticos podemos trabajar directamente en el Sistema WGS84, adoptando como coordenadas fijas para la “Base”, las que nos sugiera el equipo, sin realizar ningún tipo de transformación a ningún otro sistema. Y a los fines de obtener coordenadas planas, podemos emplear cualquiera de estas 3 proyecciones conformes:

**3.1. Proyección estereográfica de Gauss.**

Esta proyección es muy cómoda y muy práctica en los grandes levantamientos para obras de desarrollo superficial. Como sería por ejemplo la cartografía de la cuenca de aporte para el estudio y proyecto de una presa.

Ubicando el polo o punto de tangencia del plano de proyección sobre el elipsoide, en el centro de gravedad del levantamiento.

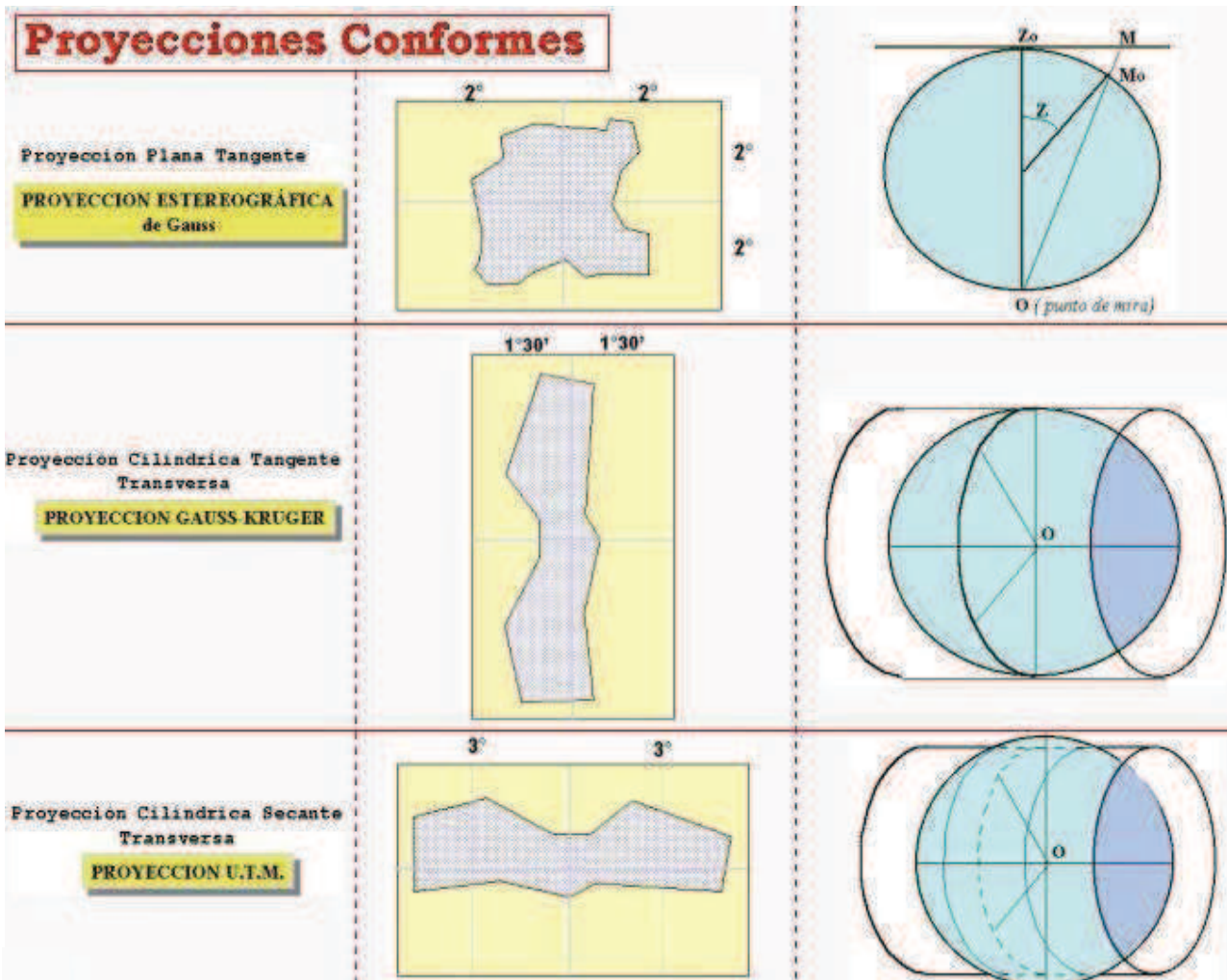
**3.2. Proyección Transversa de Gauss**

Se recomendaría el empleo de esta proyección en el caso de levantamientos lineales, como por ejemplo un gasoducto, cuya dirección sea sensiblemente de Norte – Sur.

Adoptando un meridiano de tangencia centrado en el área del levantamiento.

**3.3. Proyección UTM**

Por el contrario, recomendaría el empleo de la proyección UTM, en los levantamientos lineales (volvemos al ejemplo del gasoducto), cuya dirección sea sensiblemente de Este - Oeste, adoptando el meridiano central en la mitad de la faja del levantamiento.



### Ejercicio N° 10:

Hemos definido la posición de un punto, mediante el empleo de un equipo GPS. Sus coordenadas se encuentran expresadas en el Sistema WGS84

- latitud = -31 24 18.4447
- longitud = -64 11 07.4881
- altura = 520.577

1 ) Convertir las coordenadas elipsóidicas a coordenadas cartesianas (siempre en el sistema WGS84):

2 ) Realizar la transformación de coordenadas del sistema WGS84 a Campo Inchauspe. Lo haremos realizando las corrección de traslación del centro del elipsoide de referencia. (no se considerarán las rotaciones ni la corrección por factor de escala)

$$X_i = X_w + \Delta X = X + 148 \text{ m} =$$

$$Y_i = Y_w + \Delta X = X - 136 \text{ m} =$$

$$Z_i = Z_w + \Delta X = X - 90 \text{ m} =$$

3 ) Convertir las coordenadas cartesianas Campo Inchauspe en coordenadas elipsóidicas

4 ) Convertir las coordenadas geodésicas del sist.Campo Inchauspe 69; a coordenadas planas en la proyección Gauss Kruger (faja 4) - Sistema Campo Inchauspe -

## 2.18: ¿Nivelación con GPS?

### Altura elipsoidal vs. Cota Ortométrica

Dada la singular importancia que este tema reviste en las mediciones topográficas, es que estimo muy conveniente remarcar algunos conceptos:

*El texto que sigue a continuación, ha sido también extractado de la publicación: **Sistemas Geodésicos**.*

### EL PROBLEMA ALTIMÉTRICO

#### Introducción

*Cuando se efectúan relevamientos por medios satelitales, por ejemplo con posicionadores GPS, el problema altimétrico debe ser tratado cuidadosamente. Las alturas que se obtienen con GPS ( $h$ ) están referidas a un determinado elipsoide y tienen un claro significado geométrico:  $h$  es la distancia del punto relevado respecto de la superficie del elipsoide medida a lo largo de la normal al mismo.*

*En cambio las cotas que se obtienen de una red de nivelación convencional ( $H$ ), por ejemplo las redes de nivelación del Instituto Geográfico Militar, en primera aproximación pueden considerarse alturas con respecto al Nivel Medio del Mar (geoide). Sin embargo, esto es rigurosamente cierto **solo si se corrigen las observaciones por mediciones de gravedad**, según se explica más adelante.*

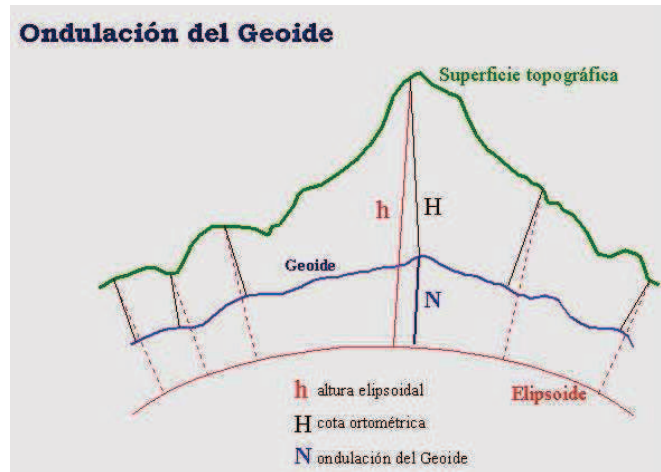
La relación entre ambas es la siguiente:

$$N = h - H \quad (1)$$

siendo  $N$  la **ondulación del geoides** respecto del elipsoide de referencia.

Resulta claro que si se dispone de un modelo (de geoides) a partir del cual calcular valores de  $N$  para cualquier sitio, la expresión (1) permite transformar alturas elipsoidales ( $h$ ) obtenidas con GPS, en alturas sobre el nivel medio del mar haciendo:

$$H = h - N$$



### La altura elipsoidal $h$

La obtención de la altura elipsoidal no es una tarea elemental. Es necesario tener muy claro en que sistema de referencia se obtienen las coordenadas GPS y a que elipsoide está referida la altura. En principio habría que utilizar el sistema POSGAR-94, que a nivel nacional se aproxima al sistema WGS-84, que es el utilizado por el GPS.

Este punto es muy delicado porque como se puede advertir en (1), las ondulaciones del geoides ( $N$ ) también se refieren a un sistema determinado (y a un elipsoide asociado) que tiene que ser el mismo que el utilizado para el cálculo de  $h$ .

La precisión con que se obtienen las alturas elipsóidicas ( $h$ ) mediante observaciones GPS diferenciales depende de una serie de factores, algunos de los cuales inciden también en la precisión planimétrica (ver Estandares Geodésicos). En general se ha observado en redes de alta precisión que los errores de  $h$  son algo mayores que los observados para la latitud y longitud (entre 1,5 y 2 veces más grandes).

### La cota $H$ sobre el nivel medio del mar (geoides)

El 70% de la tierra, la superficie media de los océanos, materializa una superficie de nivel del campo de gravedad terrestre (superficie de potencial gravitatorio constante o equipotencial). Se puede suponer que está extendida debajo de los continentes y determinada por la atracción producida por la distribución desigual de las masas terrestres. A esta superficie se la designa como GEOIDE y se la puede definir como la superficie de nivel que mejor se ajusta al nivel medio del mar.

El geoides no es una superficie analítica, por lo que no es apto como referencia para la determinación de posiciones. En cambio, sí es adecuado como superficie de referencia para diferencias de potencial o altura, dadas por nivelación directa (geométrica) en combinación con mediciones de gravedad.

Para establecer el origen del geoides como una superficie de referencia para las alturas, el nivel del agua del océano se registra en áreas costeras utilizando aparatos registradores de marea (mareógrafos), y se promedia para períodos largos, idealmente unos 19 años. El nivel medio del mar así obtenido representa una aproximación al geoides. En nuestro país el origen lo proporcionó el mareógrafo ubicado en el puerto de Mar del Plata, y constituye el 0 (cero) oficial de nuestro país.

En la actualidad se está analizando el origen de la red de nivelación argentina mediante la vinculación altimétrica de la misma a varios mareógrafos ubicados a lo largo de la costa (D'Onofrio et al, 1981).

Las cotas publicadas por el IGM son en muchos casos, cotas geométricas compensadas (ver public. IGM en referencias). Es decir que los resultados de los desniveles medidos se compensaron de forma que "cierren" los anillos y polígonos. Sin embargo para que dichas cotas puedan considerarse ALTURAS ORTOMETRICAS, respecto del geoides, se requiere que las mismas se corrijan con mediciones de gravedad para compensar la falta de paralelismo de las superficies equipotenciales a lo largo de la trayectoria. Algunas redes de alta precisión del IGM han sido recalculadas utilizando valores de gravedad normal (que es función de latitud en el elipsoide de referencia elegido) obteniendo así ALTURAS ORTOMÉTRICAS TEÓRICAS.

En regiones llanas el efecto de esta corrección ortométrica sobre las cotas geométricas no es significativo (unos pocos milímetros), pero sí puede ser importante en zonas montañosas (algunos decímetros). Sin



*embargo esta afirmación debe tomarse con mucha precaución porque para estar seguro de la realidad de una región, es necesario calcular la magnitud de las correcciones con datos gravimétricos reales.*

*Cabe aclarar que tanto la ausencia de corrección ortométrica como la posibilidad de que exista un error en el origen de las redes de nivelación en uso, afectan de igual forma a los levantamientos altimétricos tradicionales como a los satelitales. Es decir que un trabajo de nivelación que toma como origen un punto de la red altimétrica, tiene desde el comienzo los mismos errores que el punto de partida cualquiera sea la técnica empleada.*

### **Los modelos de geoides**

*Los modelos de geoides disponibles para nuestro país, son modelos globales, es decir que ajustan observaciones de distinto tipo a lo largo de todo el mundo y producen una solución a escala global. Este tipo de modelos, cuya precisión ha ido en rápido aumento en los últimos años, tienen poca resolución. Esto significa que no pueden dar cuenta de las ondulaciones del geoides que se producen a escala de pocos kilómetros. Los de uso más frecuente son los desarrollados en la Ohio State University denominados OSU89 y OSU91A (Rapp et al, 1991), y más recientemente, el modelo EGM96 de NIMA (Lemoine et al, 1996).*

*Estos modelos constituyen una buena referencia general y se pueden tomar como base para desarrollos localizados. Se está trabajando en el desarrollo de un geoides regional más apropiado para la zona (Blitzkow et al, 1997; Gil et al, 1997; Font et al, 1997).*

### **Metodología GPS para el análisis de un modelo de geoides**

*Se mide una red GPS sobre puntos de nivelación cuya H sea conocida. La red GPS debe tener un origen bien definido (POSGAR-94), una estructura y una metodología de medición (tiempos de ocupación, equipamiento, software, etc.), que dependen de la precisión que se desea alcanzar en la determinación de h. Se calculan las ondulaciones puntuales del geoides a partir de la ecuación (1).*

$$\text{Nobs} = h - H$$

*Se comparan los valores obtenidos (Nobs) con los que se obtienen del modelo existente (Ncal), por ejemplo con el OSU91a o el EGM96 [1].*

*Cabe esperar que haya apartamientos sistemáticos entre Nobs y Ncal debido a los problemas de origen mencionados en los puntos 1 y 2, las correcciones ortométricas ausentes en H, como también los que provienen del propio modelo global. En tal caso, puede estimarse una diferencia media y eliminarla de todas las diferencias individuales (desviaciones respecto del promedio).*

*Lo que interesa analizar son las variaciones de las diferencias Nobs-Ncal. Si estas son grandes en relación con la precisión deseada, es evidente que el modelo no ajusta correctamente las ondulaciones de N en la región. Es necesario contar con una red GPS suficientemente densa para describir apropiadamente las correcciones a aplicar a Ncal sobre toda la zona. Si las diferencias se mantienen constantes o suavemente variables (como para permitir una interpolación sencilla), entonces se pueden utilizar directamente las diferencias así calculadas para corregir los valores del modelo en la zona de trabajo. Varios trabajos sobre el particular se pueden encontrar en Perdomo et al, 1997 y 1998.*

### **Cotas Geopotenciales**

*Las alturas definidas hasta aquí no son geopotenciales. Puntos de igual altura elipsoidal o de igual altura ortométrica no necesariamente pertenecen a la misma superficie de nivel.*

*La definición de cota geopotencial se puede obtener también a partir de las observaciones gravimétricas. La cota geopotencial se mide en unidades de gravedad por metro ( $\text{Gal} \times m$ ), y suele dividirse por un valor de gravedad fijo a efectos de obtener un valor de cota en metros.*

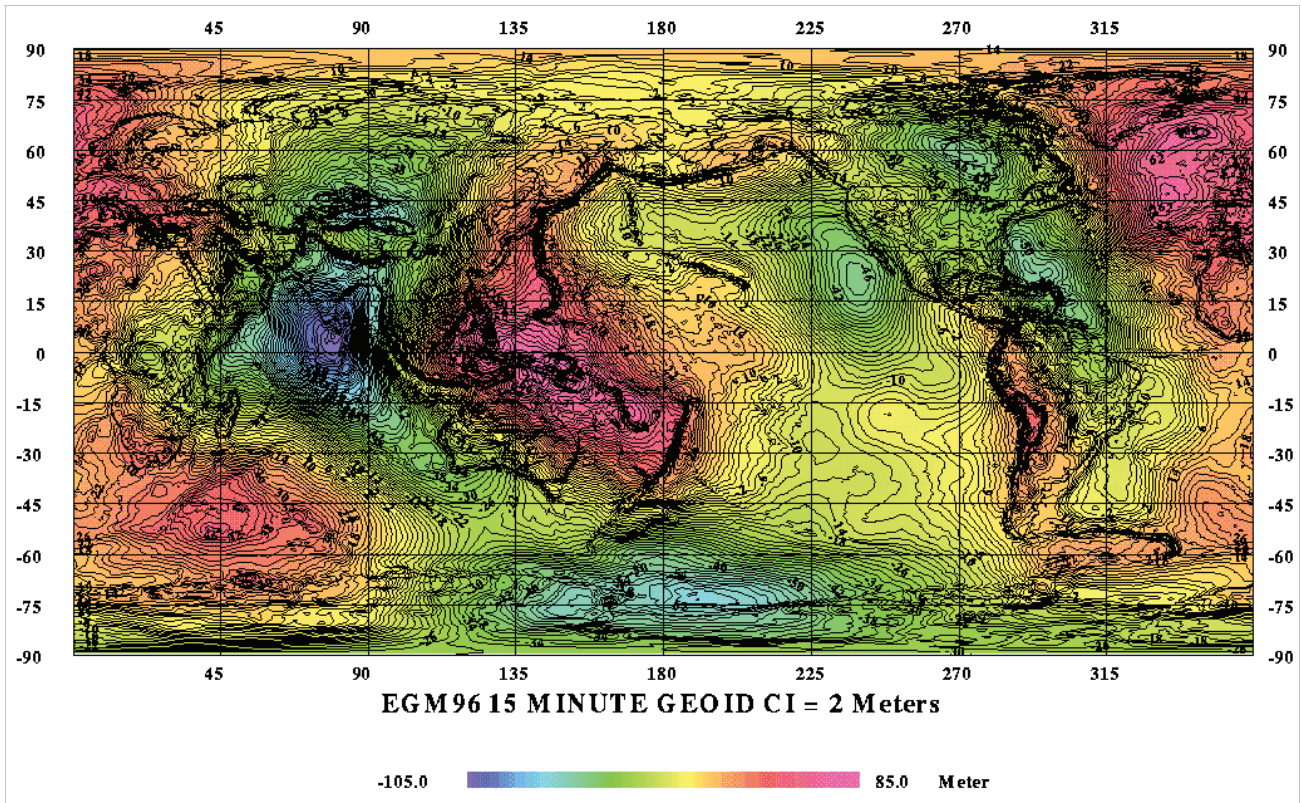
### **Tipos de alturas**

*El problema planteado y la metodología expuestas en este capítulo tienen, en muchos aspectos, un carácter local o nacional. Es conveniente, asimismo, tener presentes los esfuerzos de cooperación internacional en la búsqueda de la necesaria homogeneidad de tratamiento. Así es que en el marco del proyecto SIRGAS se estableció un grupo de trabajo (Grupo III, Sistema Vertical de Referencia) cuya misión es establecer las bases conceptuales y metodológicas para la adopción de un sistema vertical común para los países de la*

*América del Sur. Es por ello que se incluyen como anexo, al final del documento, las definiciones elaboradas por dicho grupo.*



Se adjunta a continuación la gráfica del modelo mundial de Geoide *EGM96* mencionado en [1]. de la publicación: *Sistemas Geodésicos*



En Internet en la página <http://164.214.2.59/GandG/wgs-84/egm96.html> Se puede acceder a la base de datos del modelo y determinar los valores de "N" ingresando latitud y longitud del punto, en WGS84, por supuesto



**Physical Geodesy - WGS84 EGM96 Page**  
**NIMA EGM96 GEOID CALCULATOR**

Please view the [Read Me Page](#) first

Enter coordinates and press "Run"

	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Degrees:	-31.	-64.
Minutes:	19.	12.
Seconds:	09.9147	52.5689

Select geoid units in meters or feet:

<input type="text" value="meters"/>	Meters	<input type="text" value="feet"/>	Feet
-------------------------------------	--------	-----------------------------------	------

<input type="button" value="Run"/>	<input type="button" value="Clear All"/>
------------------------------------	--

**NIMA EGM96 GEOID CALCULATOR**

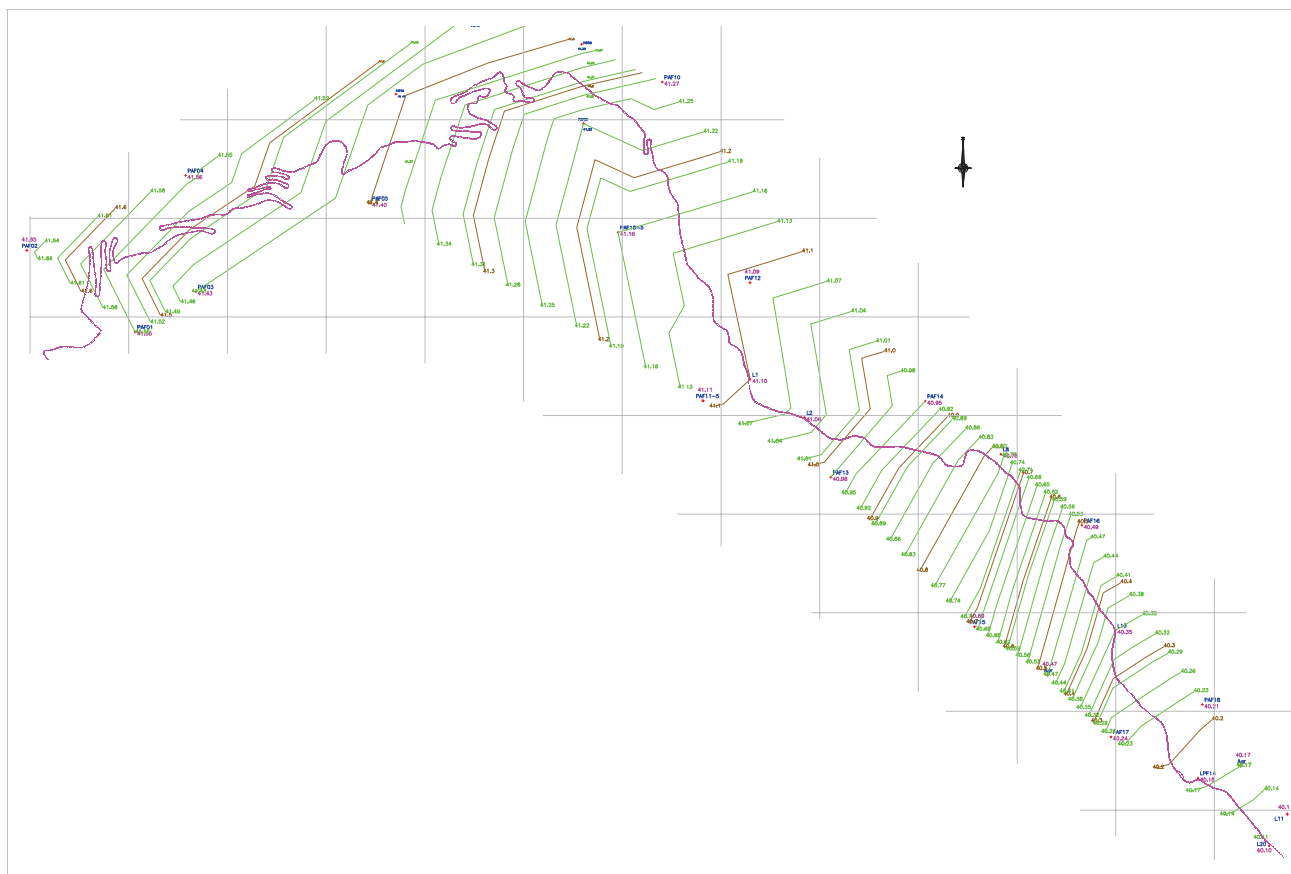
	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Degrees:	-31.	-64.
Minutes:	-19	-12
Seconds:	-9.9147	-52.5689

Geoid Height: 26.25 Meters

<input type="button" value="Another"/>
--

En un modelo de geoide de la Ciudad de Córdoba, elaborado con puntos altimétricos del IGM, el valor de "N" –ajustado- de este mismo punto resultó ser 26.00. La diferencia es de 25cm, lo cual nos indica un valor probable de precisión del modelo

Se agrega a continuación la gráfica de un modelo de Geoide, generado por el Dpto.de Agrimensura de la empresa Roggio, empleado en la Cordillera de los Andes, para determinar la Cota Ortométrica de 56 PAF a partir de mediciones GPS, para realizar la restitución fotogramétrica que sirvió de base para la confección del proyecto vial en la Cuesta del Lipán, en el cruce a Chile por el "Paso de Jama"



En muchísimas oportunidades, el Agrimensor realizará levantamientos topográficos que servirán de base para proyectos internacionales, en los que intervienen dos o mas países, como por ejemplo un gasoducto con origen en Loma de la lata (Neuquen) y final en Santiago de Chile, o con origen en Tartagal (Salta) y final en el Pacífico. O con cualquier otro país limítrofe (Brasil, Bolivia, Paraguay o Uruguay), entonces se verá obligado a emplear un sistema de referencia común, y en nuestro Cono Sur, el marco que compartimos es **SIRGAS**.

## 2.19 La Red SIRGAS

### SISTEMA DE REFERENCIA GEOCÉNTRICO PARA AMÉRICA DEL SUR

*El texto que sigue a continuación, ha sido extractado de la publicación, realizada por el Agrim. Ruben Rodriguez y el Dr. Claudio Brunini, representantes Nacionales en el Comité Ejecutivo del Proyecto SIRGAS*

#### a) Introducción

SIRGAS es el acrónimo que identifica al Sistema de Referencia Geocéntrico para la América del Sur que estableció un marco de referencia único para el continente sudamericano, en conexión con el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF). El proyecto fue generado en Asunción, en 1993, bajo los auspicios de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG), el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y la Agencia Nacional de Mapas e Imágenes de los Estados Unidos de América (NIMA).

La **primera campaña** de medición se realizó en 1995, mediante observaciones GPS en 58 estaciones distribuidas en 11 países. El procesamiento de los datos se llevó a cabo en el Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas (DGFI) con el *software* Bernese y en la NIMA con el *software* GIPSY. La solución final fue presentada en septiembre de 1997, durante la Asamblea de la IAG en Río de Janeiro, y consistió en una combinación de las soluciones de los dos centros de procesamiento mencionados. En esa misma oportunidad se decidió ampliar el proyecto para incluir el problema del datum vertical sudamericano, trabajando en cooperación con la Subcomisión del Geode para Sudamérica de la IAG.



Entre el 10 y el 19 de mayo de 2000 tuvo lugar la **segunda campaña**, denominada SIRGAS 2000, en la cual el número de puntos se ha visto incrementado, particularmente por la inclusión de estaciones GPS en los mareógrafos que definen los datums verticales de los distintos países. Además de relacionar el datum vertical con el marco de referencia geométrico, esta segunda campaña tiene por objeto aportar datos que permitan, a mediano plazo, evaluar las velocidades tectónicas de los puntos que definen el marco de referencia, las que resultan indispensables para el mantenimiento de un sistema geodésico de alta precisión.

Además de la experiencia adquirida en la primera campaña, se ha incrementado sensiblemente el número de estaciones permanentes instaladas en la región con coordenadas ITRF precisas, ha mejorado la tecnología de los receptores GPS, y se han perfeccionado los modelos utilizados para la reducción de las observaciones.

El presente trabajo resume los resultados de la primera campaña y el desarrollo de las actividades de campo de la segunda y adelanta algunos aspectos que serán tenidos en cuenta en el procesamiento de los datos de la segunda y las consecuencias sobre los sistemas nacionales. Agrega las recomendaciones de los grupos II (redes nacionales) y III (altimetría).

## **b) Proyecto**

El objetivo principal del proyecto fue establecido en la llamada Conferencia Internacional para la Definición de un Datum Geocéntrico para la América del Sur, celebrada en Asunción en octubre de 1993. El proyecto fue iniciado con la participación de las distintas entidades geodésicas y cartográficas del continente y el apoyo del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), la Asociación Internacional de Geodesia (AIG) y la Agencia Cartografía de Defensa (DMA, hoy NIMA). Los detalles del proyecto acordados en la reunión fueron los siguientes.

### **Objetivos:**

- definir un sistema de referencia para América del Sur,
- establecer y mantener un marco de referencia, y
- definir y establecer un datum geocéntrico.

### **Metas:**

- los objetivos definidos para 1997, en coincidencia con la Reunión General de la AIG, excepto el mantenimiento que tiene carácter permanente,
- promover y coordinar los trabajos de cada país sudamericano destinados a lograr los objetivos definidos,
- establecer una red de puntos GPS de alta precisión, de acuerdo a la resolución 2 de la X Reunión de Directores de Institutos Geográficos Sudamericanos de 1993,
- concentrar, inicialmente, la atención del punto 3 de los objetivos al datum horizontal, y
- facilitar la conexión de las redes preexistentes.

## **c) Gestión del proyecto**

La primera reunión del proyecto para alcanzar los objetivos del mismo se celebró en La Plata en octubre de 1994, en coincidencia con la 18ª Reunión Científica de Geofísica y Geodesia organizada por la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas y la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata.

## **d) Campaña 1995**

La campaña de medición de estaciones GPS se llevó a cabo entre el 26 de mayo y el 4 de junio de 1995, durante 23 horas diarias en 58 estaciones distribuidas en toda la América del Sur (*fig. 1*).

Para la campaña se establecieron un conjunto de normas de procedimientos, agrupados en los siguientes tópicos: preparación de los equipos; programa de observación; parámetros de seguimiento; identificación de las estaciones; precauciones especiales; y anotaciones

Las estaciones argentinas que participaron fueron 10, algunas de ellas múltiples (es decir dos receptores muy próximos a fin de obtener una solución por colocación). Todas las estaciones coinciden o fueron vinculadas con la red nacional POSGAR. Estos puntos fueron:



- CRIC            Cricyt (Mendoza)
- IGUA            Puerto Iguazú (Misiones)
- LO10            Lote 10B (Santa Cruz)
- LOTE            Lote 24 (La Pampa)
- LPGS<sup>(\*)</sup>        La Plata (Buenos Aires)
- MORR            El Morro (San Luis)
- MAII            El Maitén (Chubut)
- RBLS            Villa Robles (Santiago del Estero)
- RIOG<sup>(\*\*)</sup>        <sup>(\*\*)</sup>Río Grande (Tierra del Fuego)
- UNSA<sup>(\*)</sup>        Salta (Salta)



Figura 1. Ubicación de las estaciones SIRGAS 95.

**e) El cálculo de la red**

La solución final surgió de la combinación de dos cálculos independientes realizados por el DGFI y la NIMA. Nuestro país colaboró con la primera de estas instituciones ya que un científico de la UNLP intervino en el cálculo realizado en el DGFI. En ambos casos se utilizaron programas de los denominados científicos: Bernese, en el primer caso, y GIPSY en el segundo. Una idea de la magnitud del trabajo de cálculo puede darla la cantidad de datos procesados, aproximadamente sesenta millones, y la cantidad de incógnitas determinadas, aproximadamente veinticinco mil.

Tres tipos de receptores y antenas GPS fueron utilizados en la medición de la red: Trimble, Leica y Ashtech. Los puntos de control estuvieron ocupados con receptores/antenas Rogue. Uno de los problemas que presentó el procesamiento fue la combinación de distintos tipos de antenas, puesto que no se conocían aún suficientemente bien las características de sus centros de fase. Por tal motivo se incluyeron “estaciones dobles”, en las cuales dos receptores /antenas diferentes se colocaron uno muy cerca del otro y sus posiciones se vincularon mediante observaciones independientes.

Se describirá primero el procesamiento realizado en el DGFI; luego se comentarán las principales diferencias con el realizado en la NIMA y la forma en que se obtuvo la solución combinada.

<sup>(\*)</sup> estaciones IGS (International GPS Service for Geodynamics)

<sup>(\*\*)</sup> estación DORIS (Doppler Orbitographic and Radiolocation Integrated by Satellite)

Se procesaron separadamente tres sub-redes formadas cada una por un único tipo de receptor/antena. Estas sub-redes fueron luego combinadas en una única solución total usando las vinculaciones existentes en los puntos de colocación.

Se realizó una solución diaria para cada una de las sub-redes. Ello permitió estudiar la repetitividad de las coordenadas obtenidas a lo largo de los diez días, lo que se discute un poco más adelante. En esta solución no se incluyeron puntos de control (solución libre). Ello significa que las coordenadas de las estaciones quedaron definidas solamente a través de la vinculación con los satélites. En el cálculo se utilizaron efemérides precisas provistas por del Servicio Internacional de GPS (IGS), referidas a ITRF93.

Como observable básico se utilizaron dobles diferencias de la combinación libre de ionosfera formada a partir de observaciones crudas de fases de la portadoras L1 y L2. El intervalo de muestreo fue de 30 segundos y la máscara de elevación de 15 grados.

Para corregir el retardo troposférico se empleó el modelo troposférico de Davies y datos meteorológicos estándares (no se usó la información meteorológica de campo). Para tomar en cuenta las posibles deficiencias del modelo se estimó, a partir las mismas observaciones GPS, una corrección para el retardo cenital de cada estación, cada cuatro horas.

Para tomar en cuenta las variaciones que experimentan la posición vertical de los centros de fases de las distintas antenas GPS cuando las señales son recibidas en diferentes ángulos de elevación, se utilizó una calibración publicada por el IGS en 1996.

No se fijaron ambigüedades (solución flotante).

La **tabla** muestra la repetitividad de las coordenadas estimadas diariamente, a lo largo de los diez días, para las sub-redes Ashtech, Trimble y Leica, luego del ajuste libre. Puede verse que, en todos los casos, y para las tres componentes de la posición, la repetitividad diaria se mantiene por debajo de 15 mm. La repetitividad de las coordenadas diarias para la red combinada resultó levemente peor que la de las sub-redes individuales.

Ashtech			Trimble			Leica		
N	E	V	N	E	V	N	E	V
3.7	4.8	7.8	5.3	6.9	11.7	6.0	7.8	14.3

repetitividad de las coordenadas diarias para cada sub-red (valores en mm; N=Norte, E=Este; V=Vertical).

Como se dijo, el cálculo en el DGFI fue realizado con el *software* Bernese mientras que en la NIMA se utilizó el GIPSY. Como paso previo en la obtención de la solución combinada definitiva, ambos centros calcularon soluciones libres débilmente ligadas al marco ITRF93 a través de las efemérides satelitarias. Mientras que en DGFI se usaron las efemérides precisas combinadas del IGS, en la NIMA se utilizaron las calculadas por el Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL) de la NASA.

Cuando las dos soluciones fueron comparadas (mediante una transformación de Helmert para absorber el defecto de datum) la mayor diferencia resultó de 3.5 cm. Dicha diferencia fue atribuida principalmente a que la solución de NIMA no incluyó correcciones que tomaran en cuenta las variaciones de la posición vertical del centro de fase de las antenas. Por ello, antes de la combinación, se decidió aplicar a cada una de las sub-redes calculadas por NIMA una transformación de Helmert para llevarla a coincidir, tanto como fuera posible, con la solución calculada por DGFI. Esta operación redujo a casi la mitad las discrepancias antes mencionadas.

La solución final fue referida al marco ITRF94 (el último disponible en el momento del cálculo) pero la época de las coordenadas se conservó concordante con la de observación, 1995.4.

Para ello se decidió usar seis estaciones sudamericanas cuyas coordenadas y velocidades tectónicas precisas habían sido ya calculadas por dos centros de análisis del IGS: Santiago (Chile), Arequipa (Perú), Fortaleza y Brasilia (Brasil), Kourou (Guyana Francesa), Bogotá (Colombia) y La Plata (Argentina). Dichas coordenadas estaban dadas en el marco ITRF94 pero para la época 1993.0, por lo cual debieron ser extrapoladas, utilizando las velocidades tectónicas, hasta la época 1995.4. Para mejorar la vinculación de la red al marco de referencia se decidió agregar las estaciones Isla de Pascua (Chile) y O'Higgins (Antártida), pese a su localización fuera de la placa sudamericana. ¡Los errores de las coordenadas finales no exceden de 2 mm para las componentes horizontales y de 7 mm para la vertical! Por cierto, se trata de la estimación formal de errores, una estimación realista arrojaría seguramente valores varias veces mayores.

**f) Campaña 2000**

La segunda campaña, de características similares a la anterior, se cumplió entre el 10 y el 19 de mayo de 2000 con 24 horas de observación, salvo – en algunos casos – el intervalo necesario para la descarga de los datos. El número total de estaciones en el continente se incrementó sensiblemente, alcanzando más de 100. La Argentina no estuvo ausente de la situación y dobló la cantidad de estaciones, respecto de la campaña anterior, algunas de las cuales tienen el carácter de permanente. En la tabla 3 se incluye la nómina indicando cuál, o cuáles, de las entidades mencionadas más adelante atendió cada una de las estaciones. Respecto de las estaciones permanentes un grupo de las mismas está vinculado al IGM, a través del proyecto RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo) y otras relacionadas con la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP). La distribución geográfica de las estaciones participantes se presenta en la *figura 2*.



*Figura 2. Distribución geográfica de las estaciones argentinas participantes en SIRGAS 2000.*

La coordinación de la campaña estuvo a cargo de los autores del presente informe, del mayor Eduardo Lauría (del IGM, representante argentino ante el Grupo I) y del doctor Juan Moirano (del OALP, representante argentino ante el Grupo III).

Ya se mencionó que la red SIRGAS fue recientemente re-medida. Los principales objetivos de esta re-medición fueron:

- Determinar los cambios sufridos por las coordenadas como consecuencia de los movimientos corticales acumulados en el transcurso de los cinco años que median entre las dos campañas.
- Vincular los marcos de referencia verticales (redes de nivelación) de los distintos países sudamericanos al marco de referencia geocéntrico.

<b>COD</b>	<b>LUGAR</b>	<b>LAT</b>	<b>LON</b>	<b>ENTIDAD</b>	<b>1995</b>	<b>PERM</b>
AUTF	Ushuaia	54,8	68,3	CADIC/IGM		*
CFAG	San Juan	31,6	68,2	INPRES/IGM		*
CORD	Córdoba 1	31,5	64,5	CONAE		*
CRIC	Cricyt	32,9	68,9	CRICYT	*	
IGM0	IGM Cabildo	34,5	58,4	IGM		*
IGUA	Iguazú	25,6	54,6	IGM	*	
LHCL	Lihue Calel	38,0	65,5	APN/IGM		*
LO10	Lote 10 B	46,0	68,5	DPCeIT	*	
LOTE	Lote 24	38,1	66,1	CRICYT	*	
LPGS	La Plata	34,9	57,9	OALP	*	*
MAI1	El Maitén	42,0	71,2	IGM	*	
MORR	El Morro	33,3	65,5	IGM	*	
MRD1	Mar del Plata	38,0	57,5	OALP		
RBLS	Villa Robles	27,9	64,1	UNSE	*	
RIOG	Río Grande	53,8	67,8	OALP	*	*
RWSN	Rawson	43,3	65,1	DPCeIT/OALP		*
TAND	Tandil	37,4	59,1	OALP		
TUCU	Tucumán	26,8	65,2	UNT/IGM		*
UNSA	Salta	24,7	65,4	UNSA	*	*
UCOR	Córdoba 2	31,4	64,2	UNC		*
VBCA	Bahía Blanca	38,7	62,3	UNS/OALP		*

Tabla 3: Estaciones argentinas que participaron en SIRGAS 2000 (latitudes Sur y longitudes Oeste).

El conocimiento preciso de las velocidades tectónicas de los puntos que materializan el marco de referencia es imprescindible para mantener inalterable su calidad a lo largo del tiempo. Las velocidades determinadas en los puntos SIRGAS contribuirán, junto con la información geodésica aportada por diversos proyectos geodinámicos del continente (CASA, SNAP, CAP, SAGA, etc.), desarrollar un modelo continuo con el cual interpolar las velocidades para cualquier otro punto, por ejemplo aquellos que conforman el marco argentino POSGAR 94.

El origen de los sistemas de alturas de la mayoría de los países sudamericanos coincide con algún mareógrafo. Una excepción la constituye nuestro país, donde el cero fue materializado por el mareógrafo de Mar del Plata pero la marca física fue luego trasladada mediante nivelación hasta el denominado Punto Altimétrico de Referencia Normal (PARN) situado en la ciudad de Tandil. Con el fin de unificar los datums verticales de los distintos países del continente la campaña 2000 incluyó los mareógrafos (y en nuestro país también el PARN) que materializan el cero de los distintos sistemas de alturas.

Hasta el momento, un solo centro –el DGFI– ha comprometido su participación en el cálculo de las mediciones. Al igual que en 1995, la Universidad Nacional de La Plata (Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas) colaborará con el DGFI para realizar esta tarea. Se utilizará nuevamente el *software* Bernese y la estrategia de cálculo será similar a la del 95. Las principales diferencias serán:

- Se dispondrá de una mejor materialización del Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRF2000) con más estaciones localizadas en Sudamérica.
- La existencia de alrededor de cuarenta estaciones GPS permanentes localizadas en Sudamérica, cuyas observaciones son procesadas semanalmente en el DGFI por el Centro de Análisis Regional para Sudamericana (figura 3), permitirá contar con un número mayor de puntos de control con coordenadas y velocidades precisas muy bien distribuidos en la región.
- Se pondrá mayor énfasis en modelar diversos efectos que inciden principalmente sobre la exactitud de la coordenada vertical, tales como la deformación vertical de la corteza terrestre debida a la carga de la marea oceánica, el retardo troposférico y las variaciones del centro de fase de las antenas.





*Distribución geográfica de las estaciones GPS permanentes localizadas en Sudamérica.*

En la oportunidad de la creación del Grupo III se aprobaron una serie de resoluciones que fijan las líneas de acción del propio grupo:

1. Adoptar un sistema de referencia vertical único para toda la América del Sur.
2. Realizar el sistema de referencia vertical por un conjunto de estaciones que tengan nivelación con mediciones gravimétricas y coordenadas en el sistema SIRGAS, incluyendo los mareógrafos.
3. Establecer un banco de datos para la localización de las estaciones altimétricas.
4. Preparar un documento técnico para las decisiones nacionales.
5. Organizar los datos gravimétricos.

Como consecuencia de la resolución 4 fue redactado un documento teórico sobre el problema altimétrico, que está incluido como anexo de los SISTEMAS GEODÉSICOS complementado con las definiciones y recomendaciones que se incluyen a continuación.

### **Superficie de referencia para la definición de alturas.**

Toda nivelación clásica parte de un punto de referencia (datum vertical), el cual es determinado mediante la observación del nivel del mar en largos períodos de tiempo y se asume coincidente con el geoide. Sin embargo, debido al dinamismo oceánico del planeta, el mar presenta diferentes niveles que dependen de la variación temporal de la superficie del mar (presión atmosférica, temperatura oceánica, etc.) y de la posición geográfica del mareógrafo (corrientes oceánicas, densidad del agua, etc.), lo que se traduce en diferencias de nivel de hasta dos metros entre varios mareógrafos.

Para superar los inconvenientes tácitos en la definición vertical sustentada por los mareógrafos, es necesario encontrar una superficie que constituya una referencia global, independiente del nivel del mar observado. El problema fundamental de la Geodesia es determinar la superficie equipotencial del campo de la gravedad terrestre que coincide (en primera aproximación) con el nivel medio del mar en completa calma. El comportamiento de dicha superficie depende de la caracterización que le asigna el campo de gravedad y su deformación causada por la existencia de masas internas de diferentes densidades. Su determinación, está sujeta a ciertas consideraciones teóricas que permiten tener en cuenta dos conceptos:



**Geoide:** superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre. Su estimación requiere de la formulación de hipótesis sobre la distribución de las masas internas del planeta.

**Cuasi-geoide:** superficie no equipotencial, muy cercana al geoide. Su determinación no requiere de hipótesis geofísicas, se basa en el modelamiento matemático del campo de gravedad normal.

A las alturas ortométricas les corresponde, como superficie de referencia, el geoide, mientras que a las normales, les corresponde el cuasi-geoide. En cuanto a las alturas elipsoidales, éstas están referidas al modelo geométrico terrestre (elipsoide de revolución) considerado, el cual implícitamente está descrito por una superficie equipotencial normal obtenida a partir de formulaciones matemáticas ya establecidas.

### **Realización de un marco de referencia vertical.**

Una vez definido el tipo de alturas y su plataforma correspondiente, es necesario materializar este sistema mediante el establecimiento de un conjunto de estaciones (red básica) que constituyan el punto de partida para la propagación del control vertical. Dentro de este conjunto, deben considerarse los mareógrafos que sirven de base para el sistema altimétrico actual, logrando de esta manera, su vinculación al nuevo y manteniendo la vigencia de las alturas definidas por el método clásico.

Las estaciones que conforman la red vertical básica tienen que ser niveladas geoméricamente con corrección gravimétrica y estar definidas geodésicamente con posicionamiento GPS (datum SIRGAS). Estas características, complementadas con la definición de un modelo geoidal (cuasi-geoidal) para Sudamérica, permiten realizar el marco de referencia vertical.

### **Mantenimiento del sistema vertical de referencia.**

Al igual que la dinámica terrestre deforma las redes geodésicas horizontales, también altera las altimétricas. Los cambios en la posición vertical de la superficie topográfica se deben principalmente a:

- a) Mutación de la superficie de referencia (geoide o cuasi-geoide) como consecuencia de las modificaciones en la distribución de las masas internas terrestres, generadas por subducción, obducción, desplazamiento o choque de las placas tectónicas.
- b) Variación de la superficie de referencia por cambio del nivel medio del mar a través del tiempo, incluyendo deshielo polar y cambios en la temperatura oceánica.
- c) Los movimientos verticales resultantes de deformaciones corticales, de la acomodación de capas sedimentarias y modificaciones en el relieve topográfico.

Estos tres aspectos demandan del seguimiento continuo del marco de referencia vertical, con el propósito de establecer su variación y mantener la vigencia de las alturas definidas, mediante su actualización permanente.

### **Conclusiones y recomendaciones.**

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se recomienda que la definición del Sistema Vertical de Referencia para América del Sur se fundamente en dos tipos de alturas: las elipsoidales y las normales. Los argumentos se resumen en:

Las alturas elipsoidales son suficientes para definir un marco de referencia vertical preciso. No obstante, al ser esencialmente geométricas, éstas deben ser complementadas con un conjunto de alturas de tipo físico que permitan satisfacer las necesidades prácticas de los usuarios comunes.

Dentro de las alturas de tipo físico, se destacan las alturas normales y las ortométricas. Sin embargo, las normales se prefieren, ya que; a pesar de tener aplicación práctica similar a las ortométricas, en su determinación no se requiere de la formulación de hipótesis o modelos geofísicos de la densidad de las masas internas terrestres, facilitándose su evaluación a partir de los números geopotenciales y de la formulación matemática del campo de gravedad normal.

Las alturas normales utilizan como plataforma de referencia el cuasi-geoide, el cual se calcula normalmente por métodos gravimétricos y satelitales. Mientras que, el geoide, superficie de referencia de las alturas ortométricas, demanda de la formulación de modelos geofísicos para su determinación, lo que se traduce en la variación de las alturas, cada vez que cambie la hipótesis de estimación.

Las alturas normales se obtienen más fácilmente, que las ortométricas, a partir de las mediciones GPS. Esto se debe a que, en la primera clase, las alturas elipsoidales son disminuidas por cantidades calculadas

matemáticamente (alturas anómalas del cuasi-geoide), mientras que en la segunda, deben considerarse valores derivados de hipótesis geofísicas (ondulaciones geoidales).

Las alturas normales facilitan la combinación de las obtenidas a partir del posicionamiento GPS y sus correspondientes, calculadas mediante la nivelación geométrica reducida a través de correcciones gravimétricas normales. Esta condición, garantiza una extensión más homogénea del control vertical en los diferentes países de América del Sur, sin descuidar la consistencia de un marco de referencia vertical único. La superficie de referencia debe definirse de acuerdo con el tipo de alturas seleccionado, la cual, en este caso corresponde con el cuasi-geoide. Es conveniente que éste sea determinado de manera conjunta en todos los países de América del Sur.

Finalmente, con el propósito de vincular los sistemas clásicos de referencia vertical, es necesario determinar las alturas normales de los mareógrafos que constituyen los diferentes dátum. Para el efecto, deben combinarse rastreos GPS, altimetría satelital y alturas anómalas del modelo cuasi-geoidal.

## 9. Consecuencias de la campaña SIRGAS 2000 sobre la red POSGAR

- ❑ La existencia de una red de la extensión y confiabilidad de SIRGAS otorga a la red nacional POSGAR en su versión de cálculo 1998, en base de aquella, la posibilidad de definir las correcciones de velocidades que adquirirán magnitudes significativas con el transcurso del tiempo.
- ❑ Es totalmente recomendable que las redes provinciales, mineras y otras que se implanten en el país se sometan al marco de referencia POSGAR.
- ❑ Es, asimismo, de vital importancia para los usuarios de los datos geodésicos la disponibilidad abierta de los mismos a fin de evitar esfuerzos duplicados en la extensión o densificación de las redes. Un banco referencial, en tal sentido, sería un avance importante hacia la meta final.

## 2.20 Conclusiones del Capítulo

### Obligatoriedad de Georreferenciación

... *“La difusión de los SIG y del GPS, ha introducido en nuestro lenguaje cotidiano la palabra georreferenciar.*

*En un sentido abstracto, georreferenciar significa asignar algún tipo de coordenadas ligadas al terreno a los objetos de interés, sean estos naturales, los ejes de una obra de ingeniería o los vértices de una parcela.*

*La expresión georreferenciación correcta involucra varias condiciones, por ejemplo, que los procedimientos de medición y cálculo en base a los que se obtienen las coordenadas de los puntos de apoyo del levantamiento cumplan con ciertos estándares pre establecidos. Pero la condición más relevante y sine qua non, es que dichas coordenadas estén vinculadas al mismo sistema de referencia. Y en este contexto la palabra mismo no reconoce fronteras: debe ser el mismo sistema de referencia en Córdoba, Salta, Tierra del Fuego o Buenos Aires. Y debe ser el mismo sistema de referencia en la Argentina, Chile, Uruguay o Brasil.”<sup>2</sup>*

Georreferenciando los levantamientos topográficos, aseguramos cumplir con lo que nos habíamos propuesto al comienzo de este Capítulo 2, establecer un sólido nexo de unión entre las partes y aseguramos que encajen las piezas del rompecabezas.

Más aun, cuando ocurre lo que ocurre en nuestro país, que entre el relevamiento y la construcción de la obra a veces pasa mucho tiempo y muchas personas intervienen en el proyecto.

**De modo tal que, debería existir la obligación de georreferenciar toda obra de ingeniería<sup>3</sup>, y fijar pautas claras y concretas sobre los sistemas de proyección a emplear en cada caso.**

<sup>2</sup> Fernando Galban (IGM) y otros

<sup>3</sup> Pliegos de especificaciones técnicas.