

## **TOPOGRAFÍA I (G1.09) – INGENIERÍA EN AGRIMENSURA**

### **PREFACIO**

Esta asignatura es de gran importancia para todos los que desean realizar estudios de Ingeniería en Agrimensura con capacitación en topografía, no sólo por los conocimientos y habilidades que puedan adquirir, sino por la influencia didáctica de su estudio.

Estos apuntes y la bibliografía sugerida destacan lo necesario y conveniente desde el punto de vista pedagógico del estudio de esta disciplina.

Se desea despertar la inquietud y el interés de quienes cursen, para la utilidad de ese ejercicio mental, a nivel de educación universitaria; del conocimiento de la topografía en estudiantes de Ingeniería en Agrimensura.

Para ello deberán aplicar los conocimientos básicos adquiridos de matemáticas, física, geometría y dibujo.

Se le imparten los conocimientos teóricos y prácticos en el tipo, uso y manipuleo del instrumental topográfico, los métodos y cálculos a aplicar en su futuro desarrollo profesional.

El alumno debe formar actitudes, desarrollar capacidad de análisis y habilidades en los conceptos tecnológicos necesarios, para realizar levantamientos con las tareas de campaña y gabinete, conducentes a representar en un plano Topográfico, una parte limitada de la superficie terrestre -morfología del terreno-. La interpretación, confección y uso de los planos topográficos planialtiméricos. Combinar los procedimientos para graficar los puntos del terreno y hechos existentes en forma planialtimétrica, con la utilización del instrumental y los métodos apropiados, para resolver y satisfacer la finalidad técnica del documento a elaborar.

También resulta muy importante en otros cursos, como el de geografía y geomorfología, fotogrametría, sistemas de información geográfica, cartografía, catastro, teledetección, planeamiento territorial; por la posibilidad de entender e interpretar planos y/o mapas. Abre un horizonte más amplio para la asimilación de otros conocimientos y quita la aridez que a veces se considera a ciertas materias.

Algunos apuntes se confeccionan para el uso exclusivo del alumnado en el desarrollo del curso, con su consulta puede lograr cubrir los aspectos antes mencionados y que constituya un estímulo para el lector, que lo impulse a profundizar el tema y auxilie a quienes lo consultan. Para ello, se trata de exponer en forma accesible los conocimientos de la topografía.

Tanto la organización y la distribución de los temas obedecen a una experiencia basada en una compilación de diversos autores, reproducido textos existentes, apuntes de clases de otras universidades, folletos, etc., así como en la labor docente y el ejercicio profesional de los responsables de las asignaturas, conteniendo los temas del programa en archivos magnéticos.

Se rescata una mayor atención en las teorías con la proyección de diapositivas, salvando los inconvenientes de pérdida de tiempo de escrituras en pizarra y la exposición con los instrumentales presentados y desplegados ante la clase -puntualmente despieces-. Se aumenta así, la fijación del conocimiento, que no se logra con la toma de apuntes en clases y se permite de esta forma el diálogo entre profesor y

alumno; estimulando la creatividad, innovación e ingenio para la resolución de problemas reales e hipotéticos. En gabinete se explican las guías de prácticos, reconocimiento y manipuleo de los instrumentales existentes. Se desarrollan los prácticos en el campo -campaña- y posteriormente se realizan los cálculos. Se elabora un informe técnico personal de cada trabajo práctico desarrollado, con planillas de datos y resultados, croquis y dibujos.

Las actividades son con clases teóricas y en forma inmediata se desarrollan las prácticas. Introducción de los trabajos prácticos, con la explicación de las guías, reconocimientos y manipuleos previo de los instrumentales a utilizar. Desarrollo grupal de los prácticos en el campo (campaña), cálculos y dibujos en gabinete. Elaboración de informe técnico personal de cada trabajo práctico desarrollado, con planillas de datos y resultados, croquis y dibujos.

Las estrategias didácticas es transmitir el interés de las aplicaciones topográficas en justificadas necesidades, frente a los exigentes aspectos económicos, jurídicos y legales que intervienen en los levantamientos y/o replanteos topográficos, las mensuras, las explotaciones mineras, las agropecuarias, los proyectos y ejecución de obras civiles. Evitan de esta manera la improvisación, salvan los inconvenientes con nefastas consecuencias y obtienen un resultado racional y económico. Instruir los mecanismos a seguir, para la resolución de problemas reales e hipotéticos con la aplicación de los métodos y equipamientos electrónicos modernos con soporte informático. Desarrollar habilidades para la comunicación oral y escrita a través de la exigencia de realizar informes y planos técnicos (planillas de cálculos y resultados). Estimular el hábito en el uso de la computación como experiencia educativa, contemplando su uso en planillas de cálculos, resultados, informes y gráficos en CAD. Adquisición y procesamiento de datos. Transferencia de los conocimientos tecnológicos desarrollados y experiencias profesionales de los docentes en campo, obra, minería regional, fábricas e industrias, vinculados con los sectores productivos y de servicios, pero logrados fuera del ámbito universitario.

Por todo ello, el desarrollo del curso se encuadra en el programa adjunto, ya sea Teórico como Práctico. Fijándose un cronograma del dictado de la materia, que se divide en: Conceptos y objetivos de la topografía. Operaciones topográficas. Errores de medición. Medición directa de longitudes. Medición planimétrica. Medición angular. Medición directa de desniveles. Medición indirecta de desniveles. Medición indirecta de longitudes y niveles. Poligonación y cálculo de coordenadas y superficies.

**PROGRAMA ANALÍTICO ASIGNATURA TOPOGRAFÍA I (G1.0) - Año 2018**

**1. CONCEPTOS Y OBJETIVOS DE LA TOPOGRAFÍA.** Introducción. Generalidades. Objetivo. Definiciones topográficas. Nociones de: cartas, técnicas globales geodésicas, esfera, elipsoide, geoide, sistemas de referencias, Datums, elementos y coordenadas geográficas, proyecciones cartográficas, IGN., planos topográficos. Escalas. Error gráfico. Tolerancia. Elementos de Geometría: Coordenadas rectangulares, polares y sus relaciones. Transformación de coordenadas. Recta. Círculos. Unidades de medidas lineales y superficiales Cálculos de áreas y volúmenes. Elementos de Trigonometría: Ángulos. Unidades de medidas angulares. Sistemas teóricos y usados en la construcción de los círculos, aplicaciones en mediciones y relaciones. Relaciones trigonométricas, triángulos. Problemas.

**2. OPERACIONES TOPOGRÁFICAS.** Concepto básico de levantamiento y replanteo topográfico clásico, métodos. Clases de levantamientos: planimetrías y altimetrías. Influencia de la curvatura terrestre en la determinación de distancia y de desniveles. Representación plana de la superficie terrestre: proyecciones acotadas. Punto topográfico, alineaciones, distancias: natural, geométrica, horizontal y desnivel. Señalización y marcación de puntos topográficos y geodésicos. Monografías. Registros de campaña. Croquizado.

**3. ERRORES DE MEDICIÓN.** Teoría de Errores de medición. clasificación: sistemáticos y accidentales, verdaderos y aparentes, absolutos y relativos. Propagación de los errores sistemáticos y accidentales, ecuación fundamental. El valor más probable. Promedio de una serie de observaciones. Media de los errores. Error medio cuadrático. Error del promedio. Precisión y exactitud. Probabilidad de los errores. Curva de dispersión de los errores accidentales. Diferencia entre la curva de dispersión y la curva de Gauss. Error máximo. Tolerancia. Transmisión de errores. Eliminación de observaciones afectadas de error inaceptable.

**4. MEDICIÓN DIRECTA DE LONGITUDES (Clásica).** Procedimientos expeditivos y regulares. Trazado de alineaciones, verticalización y prolongación. Instrumentales: cintas de agrimensor, de ruleta y sus accesorios, jalones, fichas. Cuidados, transporte y mantenimiento. Métodos de medición. Errores sistemáticos (contraste, alineación/desniveles, catenaria, temperatura, tracción) y accidentales de medición con cinta. Propagación de los errores. Tolerancias. Error relativo. Precisiones.

**5. MEDICIÓN PLANIMÉTRICA.** (Coordenadas rectangulares). Relevamiento y replanteo por abscisas y ordenadas. Escuadras de prismas. Pentaprismas dobles. Nivelación con pentaprisma. Metro Láser, prestaciones. Accesorios topográficos: rueda medidora, proyectores láser: línea vertical y 5 puntos. Límites de prestaciones. Precisiones. Planos de relevamientos/replanteos.

**6. MEDICIÓN ANGULAR.** Medición de ángulo. Goniómetros. límites del campo topográfico planimétrico. Distancia, Acimut y Rumbo, conversiones. Meridianas magnéticas y astronómicas, declinación e inclinación. Instrumentos simples de medición angular: Brújulas, Sextante. Aplicaciones. Precisiones. Carta isógona. TEODOLITO (y Estación Total): fundamento de su funcionamiento, medición de ángulo horizontal y ángulo vertical. Descripción. Anteojo topográfico. Ejes: colimación, secundario y principal, condiciones que deben cumplir. Transporte, puesta en estación (trípodes, tornillos de fijación y aproximación), precauciones en su manipuleo, plomadas (físicas, óptica y laser). Plataforma nivelante, tornillos calantes. Nivel esférico. Nivel tubular o de burbuja, sensibilidad. Calaje del teodolito. Comprobación, Principio Fundamental del nivel de burbuja, error de verticalidad del eje principal y corrección del nivel tubular. Proceso del enfoque y bisección de un punto. Apreciación angular. Órganos de lectura de los limbos acimutal y vertical del teodolito. Sistemas de graduación. Nonios. Microscopio de escala. Micrómetro óptico. Principio óptico de la placa de vidrio de caras plano-parallelas. Micrómetro de precisión. Lectura digital electrónica. Errores sistemáticos de excentricidad y de graduación de los limbos. Errores Axiales del Teodolito. Influencia de los errores sistemáticos de colimación, de inclinación del eje secundario y de la falta de verticalidad del eje principal en la medición de direcciones acimutales. Determinación del error de colimación y corrección. Determinación del error de inclinación del eje secundario y corrección. Causas de error. Errores accidentales de dirección, puntería y de lectura. Error Total. Medición de ángulos horizontales. Medición simple. Determinación de la precisión necesaria. Método de Bessel. Métodos de Reiteración y de Repetición, comparación, Método de la Serie. Estación excéntrica. Cálculo y

determinación de la influencia de los errores en la medición de la excentricidad y los lados del ángulo. Señales excéntricas, simples y dobles. Cálculo y determinación de errores. Medición de ángulos verticales/cenitales. Graduaciones del círculo vertical. Error de índice. Nivel testigo, función, influencia de su sensibilidad. Índice vertical automático. Distintos tipos y modelos de Teodolitos (ópticos - electrónicos).

**7. MEDICION DIRECTA DE DESNIVELES.** Definiciones: superficies de nivel, cotas, altitudes, desniveles, planos de comparación, local y absoluto. Ceros para nivelación de la Rep. Arg. Instrumental de nivelación. Nivel de agua, nivel de manguera electrónico, nivel láser electrónico, límites de prestaciones. Nivel de anteojo, descripción, anteojo, tornillos, puesta en estación, movimientos y puntería, horizontalización de visual, accesorios, uso, previsiones. Miras de nivelación, tipos, características, especiales, errores. Distintos tipos de niveles: de burbuja, automáticos; de obra, de ingeniería, de precisión, automáticos, electrónicos y con láser. Determinación de la sensibilidad del nivel y cálculo del radio de curvatura. Errores de Esfericidad y Refracción. Desnivel Verdadero y Aparente. Paralelismo entre las superficies de nivel, superficies equipotenciales. Cota Ortométrica. Cota Dinámica. Nivelación simple geométrica de puntos o por alturas: del punto medio, del punto extremo, recíproca, de estaciones equidistantes. Errores sistemáticos: Error de colimación, verificación y corrección. Métodos operatorios de comprobación y corrección con niveles de burbuja y automáticos. Otros errores sistemáticos: falta verticalidad, hundimiento y graduación de las miras, error de cruce. Errores accidentales. Su propagación. Distancia máxima y óptima entre instrumento y mira. Nivelación geométrica compuesta: itinerario altimétrico por el método del punto medio, transporte de cotas, cerrados y de enlace entre puntos fijos. Error de cierre y compensación. Error kilométrico. Tolerancia. Ejemplos. Recomendaciones de orden práctico. Ventajas y desventajas. Nivelación compuesta de estaciones dobles, sencilla y equidistantes. Calificación de niveles clásicos y automáticos, parámetros, precisión de lecturas, clasificación. Marcas y modelos de niveles. en función de una precisión preestablecida. Puntos Fijos: características físicas, clasificación, categorías. Punto altimétrico de referencia normal (PARN). Reseña sobre la red de nivelación general del país. Mareógrafos. Redes de nivelación: de alta precisión, de precisión y menores. Municipales.

**8. MEDICION INDIRECTA DE DESNIVELES.** Nivelación trigonométrica. Eclímetros y clisímetros. Nivelación simple por ejes cortos. Error por falta de verticalidad de la mira. Itinerario. Error de cierre y kilométrico. Nivelación trigonométrica a grandes distancias. Errores sistemáticos debidos a la curvatura terrestre y a la refracción atmosférica. Aplicaciones de la Nivelación trigonométrica, con base transversal, base alineada, lineal, areal. Nivelación barométrica, principio, instrumentos que se utilizan. Métodos operativos. Unidades de medida de uso actual. Errores.

**9. MEDICIÓN INDIRECTA DE LONGITUDES Y NIVELES.** (Planialtimetría): Estadímetros con trazos, categorías. Principio de Reichenbach, 1° categoría. Determinación de las constantes. Anteojo de Porro o de analatismo central. Retículo estadimétrico. Determinación práctica de las constantes  $k$  y  $c$ . Medición con visual horizontal e inclinada. Alcance de los estadímetros. Errores. Estadímetros con prisma. Estadía invar, 2° categoría. Estadía de 3° categoría. Método clásico de levantamiento topográfico: Taquimetría, fundamento. Fórmulas taquimétricas. Tablas. Enlaces de estaciones, métodos. Taquímetros auto-reductores: con mira vertical, de diagrama y retículo móvil; con mira horizontal. Levantamiento taquimétrico gráfico: plancheta, descripción y uso. Medición electro-óptica y electrónica. Telurómetros y distanciómetros, nociones generales, principios de funcionamiento, radiación Infrarroja. Errores Sistemáticos. Influencia de la temperatura, presión, humedad, altitud. Errores Accidentales. Taquimetría Electrónica: uso del teodolito con distanciómetro, terminales o colectoras de datos, prismas reflectores. ESTACIÓN TOTAL (taquímetros Electrónicos), radiaciones Infrarroja y/o Láser, sin reflector. Métodos operatorios. Estacionamiento. Nivelación y orientación del sistema. Codificación de puntos y líneas. Memorias. Menú. Programas: coordenadas de estación, estación libre, medición, levantamiento, replanteos, distancias de enlace, alturas remotas, puntos ocultos, coordenadas, Offset 2D y 3D, cálculos de áreas y volúmenes, línea de referencia, arrastre de cotas, arco de referencia, plano de referencia, COGO, carreteras 2D, 3D, inversa PRO, poligonal, minería. Errores y precisiones. Distintos modelos y tipos. Estaciones totales elementales, inteligentes y robóticas. Servomotor, búsqueda automática,

telecomando, controladores de campo, conexiones remotas wi-fi, Bluetooth, cámaras digitales, zoom. Procesamiento. Software disponible. Bajada de datos. Nube de puntos. Comparaciones de modelos. Sistemas escáner Láser. Velocidad, alcances, resolución y campo de visión del escaneo, cámara digital de video. Precisiones, aplicaciones. Software. Tipos y modelos. Problemas de alimentación, carga y conservación de batería.

### **BIBLIOGRAFÍA:**

- CHUECA PAZOS Manuel; HERRÁEZ BOQUERA José Y BERNÉ VALERO José Luis: Tratado de Topografía 1- Teoría de Errores e Instrumentación. Editorial Parainfo S.A. o Dossat SA. Madrid.1996.
- CHUECA PAZOS, Manuel; HERRÁEZ BOQUERA José Y BERNÉ VALERO José Luis: Tratado de Topografía - Redes Topográficas y Locales. Microgeodesia. Editorial Parainfo S.A. o Dossat SA. Madrid.1996
- CHUECA PAZOS, Manuel; HERRÁEZ BOQUERA José Y BERNÉ VALERO José Luis: Tratado de Topografía 2- Métodos Topográficos. Editorial Parainfo S.A. o Dossat SA. Madrid. 1996
- WOLF, Paul R., GHILANI, Charles D.: Topografía Moderna – Editorial Harla. Mexico. 1982
- JORDAN, W.: Tratado general de topografía, Ed. Gilli.1974
- DAVIS, Raymond E., FOOTE, Francis S, Y KELLY, Joe W.: Tratado de topografía. (Aguilar. Madrid. 1971)
- DOMINGUEZ GARCIA TEJERO, Francisco: Topografía general y aplicada. Ed. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.1984
- MELITÓN Carlos, RIERA, Darío, MORIS, Daniel: Apuntes de Topografía para estudiantes de Ingeniería Civil- CD. Vers. 01 y 02
- MELITÓN Carlos: Seminario de Introducción Ingeniería en Agrimensura. 2015  
acceso por P/convenio Topcant
- WOLF, Paul R., BRINKER, Russell C. – Topografía – Editorial Alfaomega. Colombia. 1994
- WOLF, Paul R., GHILANI, Charles D. – Topografía – Editorial Alfaomega. Mexico. 2009
- JORDAN, W.: Tratado general de topografía. Ed. Gilli. Barcelona. 1978.
- DOMINGUEZ GARCIA TEJERO, Francisco. Topografía general y aplicada. Ed. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.1998

### **BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA**

- BRINKER, Rusell G. Topografía moderna. (Harla. México. 1982).
- SZENTESE, A. Mediciones topográficas. (MOM. Budapest. S. f.)
- Topografía I y Topografía A (Ed.Ctro.Estud.Ing."La Línea Recta").
- BALLESTEROS TENA, Nabor: Topografía. México : Limusa/Noriega, 1998
- MELITÓN Carlos: Apuntes de Topografía para estudiantes de Ingeniería Civil- CD. Vers. 01, 02. CD: Acrobat Reader (pdf) V.03
- AGUILAR: Lecciones de geodesia (1ª parte) (Ed.Cooper.U.N.S)
- ARGENTINA. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. El Instituto Geográfico Militar al servicio del país Buenos Aires, 1968.
- GASPARRELLI, Luigi. Geometra; guida pratica per il rilievo dei terreni. Milano, 1933.
- JORDAN, V. Tablas taquimétricas Buenos Aires, 1943..
- MÜLLER Roberto- Compendio General de topografía teórico práctica ; 1952
- MÜLLER Roberto- Compendio de Topografía; Teodolitos y poligonación terrestre y subterránea.1947
- MÜLLER Roberto- Compendio de topografía; Triangulación y nivelación terrestre y subterránea.1951
- MÜLLER Roberto- Compendio de Topografía; Taquimetría y confección de planos. 1950
- OLASCOAGA, MANUEL JOSE. Estudio topográfico de La Pampa y Rio Negro Buenos Aires, 1974.
- MENDOZA COSTA, Sergio H. Taquímetros autorreductores Santiago de Chile, 1997.
- MENDOZA COSTA, Sergio H. Mantención, verificación y corrección de niveles y taquímetros Santiago de Chile, 1977
- RUIZ, J.Z.: Topografía práctica para el constructor (Ed. CEAC, España).
- MICHINO-FREHNER: Topografía (Ed. Centro de Estudiantes de Ingeniería de Buenos Aires).

-MINGO, Oscar R. Errores en la medición paraláctica de distancias. (Centro de estudiantes de ingeniería "La línea recta". Buenos Aires. 1969)

-Apuntes de Topografía (Ed.Ctro.Estud. Ingeniería -La Plata)

-MELITON, CANALICCHIO, CAIRO, RIERA: Topografía para estudiantes de Ingeniería.1986

-A.M.SARALEGUI-R.H. ACCINELLI: Curso de introducción a la fotogrametría-Temas teórico-prácticos de fotogrametría- -Elementos teórico-prácticos de fotogrametría terrestre (Ed.Ctro. Estud. de Ingeniería "La Línea Recta")..

### **SITIOS DE INTERNET**

Dirección de Contacto con la cátedra vía correo electrónico: topcant@coopenet.com.ar

Soft WILDsoft. Coordinate Geometry (COGO). Automated Contouring. (P/convenio Topcant Asist.Téc.SRL)

Soft Leica Geo Office Tools. (P/convenio Topcant Asist.Téc.SRL)

Soft Eagle Point Module. COGO. Data Colletion. Data Transfer. Drafting. Intersection Design. Profiles. Site Design. Surface Modeling. Survey Adjustment. (P/convenio Topcant Asist.Téc.SRL)

Soft CAD, Soft Autolisp

Soft Microsoft Office.

Soft BaseCamp 4.7.0.0.Garmin. Soft Mapear V.14.40

Soft CONVERSI. IGM (transf. coord/ P/convenio Topcant Asist.Téc.SRL)

Soft Google Eart

Soft Land Survey Solutions. Ashtech. Thales Navigation

www.ign.gov.ar Instituto Geográfico Nacional. Rep. Arg.

www.ipgh.org Instituto Panamericano de Geografía e Historia

www.bipm.fr/ Bureau International des Poids et Mesures

www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/cgi-bin/library.cgi Biblioteca Digital Consejo Profesional de Agrimensura Prov. Bs As.

www.sites.google.com/site/bibliotecadeagrimensores/ Biblioteca Virtual Agrim. Lorenzo Albina

www.agrimensores.org.ar/v1/ Federación Argentina de Agrimensores

www.garmin.com Garmin International Inc.

www.leica-geosystems.com Leica Geosystems

www.profsurv.com Professional Surveyor Magazine

www.sokkia.com/ Sokkia Corporation.

www.trimble.com/ Trimble Navigation.

www.global.topcon.com/ Topcon Corporation

www.wild-heerbrugg.com/...Archivo virtual de Wild Heerbrugg. Kern.Zeiss

www.geosistemassrl.com.ar/ Firma comercial de ventas de instrumentales

www.runco.com.ar/ Firma comercial de ventas de instrumentales

**SISTEMA DE CURSADA.** (CAFI N° 227/04): Parciales y Práctica experimental con Informes técnicos

1. Cursada por parciales: Para cursar la materia, se evaluará a los alumnos por medio de 2 (dos) exámenes parciales. Cada examen parcial, tendrá 3 (tres) fechas para que el alumno pueda aprobar el examen. La calificación mínima para un examen parcial aprobado será de 6/10 (seis sobre diez), s/inc. 1.1. CAFI N° 227/04

2. Para los trabajos de campo y experiencias prácticas, se fija un porcentaje de asistencia del 75% y para la aprobación de estos trabajos se presentarán los informes técnicos -con datos, planillas, resultados, croquis y dibujos- correspondientes a los mismos, en la semana subsiguiente de realizados. Inc. 2.4. CAFI N° 227/04

3. Las evaluaciones parciales, serán sobre los temas de los trabajos prácticos realizados y con el alcance que se les dio en los mismos. Inc 2.5. CAFI N° 227/04

### **ACTIVIDADES.**

**Clases teóricas.** En forma inmediata se desarrollan las **prácticas**.Introducción de los trabajos prácticos, explicación de las guías, reconocimiento y manipuleo previo de los instrumentales.

Desarrollo grupal de los prácticos en el campo (campaña), cálculos y dibujos en gabinete.

Elaboración de informe técnico personal de cada trabajo práctico desarrollado, con planillas de datos y resultados, croquis y dibujos.

## TEMA 1 - CONCEPTOS Y OBJETIVOS DE LA TOPOGRAFÍA – 1º PARTE

### 1. INTRODUCCIÓN. GENERALIDADES. OBJETIVOS. DEFINICIONES

#### 1.1. Conceptos de Topografía

El origen de la topografía, se creó que fue en Egipto donde se hicieron los primeros trabajos topográficos, según referencias por escenas representadas en muros, tablillas y papiros, de hombres realizando mediciones rurales del terreno. Ellos que conocían la ciencia pura, que luego los griegos lo bautizaron como **geometría** (medida de la Tierra) y su aplicación, en lo que se consideró como topografía, o mejor dicho etimológicamente, "**topometría**". Desde hace más de 5 000 años existía la división de parcelas con fines fiscales, así como para marcar linderos ante las avenidas del Nilo.

Etimológicamente este término procede del griego *topos* (lugar) y *graphen* (describir) pudiendo ser traducido como *la descripción exacta y minuciosa de un lugar*. En la práctica de la topografía es necesario tener conocimientos de matemáticas, así como un adiestramiento sobre el manejo de instrumentos para hacer mediciones. Para comprender mejor esta ciencia y profundizar en ella, es necesario tener conocimientos de física, y otras ciencias.

Las definiciones de los distintos autores son muy semejantes y tipifican lo que aparece en los tratados que se ocupan de esta ciencia.

Norman Thomas en 1920 definía la Topografía como: "*el arte de determinar la posición relativa de los distintos detalles de porciones de la superficie terrestre*".

Higgins, A. L. en 1943 señalaba: "*La Topografía puede describirse como el arte de realizar medidas sobre la superficie terrestre con el propósito de elaborar mapas, planos o determinar una superficie*".

Aranha Domingues, F. A. (1979) entiende por Topografía: "*el conjunto de principios, métodos, instrumentos y procedimientos utilizados para la determinación del entorno, dimensiones y posición relativa de una porción limitada de la superficie terrestre, del fondo de los mares y del interior de las minas. También compete a la topografía el replanteo de proyectos*".

Buckner, R. B. (1983) la define como: "*La ciencia y el arte de realizar las mediciones necesarias para determinar la posición relativa de puntos sobre, en, o debajo de la superficie terrestre, así como para situar puntos en una posición concreta*".

Otra definición más moderna de Topografía:

"Esta disciplina se ha definido tradicionalmente como la ciencia, el arte y la tecnología de encontrar o determinar las posiciones relativas de puntos situados por encima de la superficie de la Tierra, sobre dicha superficie y abajo de ella. Sin embargo, en un sentido más general, la topografía se puede considerar como la disciplina que comprende todos los métodos para medir, procesar y difundir la información acerca de la Tierra y nuestro medio ambiente. La topografía ha tenido gran importancia desde el principio de la civilización. Sus primeras aplicaciones fueron las de medir y marcar los límites de los derechos de propiedad. A través de los años su importancia ha ido en aumento al haber una mayor demanda de diversos mapas y planos, y la necesidad de establecer líneas y niveles más precisos como una guía para las operaciones de construcción.

En la actualidad, la importancia de medir y verificar nuestro medio ambiente se ha vuelto crítica conforme crece la población, aumenta el valor de la tierra, nuestros recursos naturales se empobrecen y las actividades del hombre continúan contaminando nuestra tierra, agua y aire. Los topógrafos actuales pueden medir y observar la tierra y sus recursos naturales literalmente sobre una base global, utilizando las modernas tecnologías terrestres, aéreas y por satélite, así como las computadoras para el procesamiento de datos. Nunca antes se había contado con tanta información de topografía para estimar las condiciones actuales, tomar decisiones de planeamiento firmes y formular una política para el uso de la tierra, el desarrollo de los recursos y las medidas para preservar el medio ambiente. Sin embargo, las áreas donde se continúa llevando a cabo esta práctica siguen siendo la topografía para fijar límites, y el mapeo y las mediciones que son necesarias para proporcionar grados y niveles precisos para la construcción.

Al reconocer la creciente importancia de la práctica de la topografía, la *International Federation of Surveyors*, adoptó la siguiente definición:

*En la práctica, la profesión de topógrafo puede comprender una o más de las siguientes actividades que pueden tener lugar en, sobre o debajo de la superficie de la tierra o del mar, y que se pueden llevar a cabo asociándose con otros profesionales:*

- 1. Determinación de la forma de la Tierra y medición de todo lo necesario para establecer el tamaño, posición, forma y contorno de cualquier parte de la superficie terrestre y la estipulación de planos, mapas, diagramas y archivos que registran estos hechos.*
- 2. Localización de objetos en el espacio y la ubicación de características físicas, estructuras y trabajos de ingeniería en, sobre y debajo de la superficie de la Tierra.*
- 3. Determinación de la localización de los límites de terrenos públicos o privados, incluyendo las fronteras nacionales e internacionales, y el registro de esas tierras con las autoridades competentes.*
- 4. Diseño, establecimiento y administración de la tierra, y sistemas de información geográfica, recopilación y almacenamiento de datos dentro de estos sistemas, y análisis y manejo de esos datos para producir mapas, archivos, planos y reportes para utilizarlos en los procesos de planeamiento y diseño.*
- 5. Planeamiento del uso, desarrollo y redes de la propiedad y administración de ésta, ya sea urbana o rural, y de tierra o edificios, incluyendo la determinación del valor, la estimación de los costos y la aplicación económica de recursos tales como dinero, mano de obra y materiales, tomando en cuenta los factores legales, económicos, ambientales y sociales pertinentes.*
- 6. Estudio del medio ambiente natural y social, medición de los recursos terrestres y marinos, y la utilización de estos datos para la planificación y el desarrollo en áreas urbanas, rurales y regionales.*

Lo amplio y diverso de la práctica de la topografía, así como su importancia en la civilización moderna queda de manifiesto a partir de esta definición”.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Wolf/Brinker. Topografía. 9ª edición



Las definiciones anteriormente reseñadas, extraídas de textos fundamentales, nos permiten estudiar las características de la disciplina. Del examen comparativo de todas ellas podemos constatar la coincidencia en cuanto a la fuente de datos (la superficie de la tierra) a la forma de adquirir la información (realizando medidas según métodos determinados) y en cuanto al objetivo a conseguir (representar las características y la geometría del terreno).<sup>2</sup>

### 1.2. Definición y objeto de la Topografía

Es una ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, así como la representación en un plano de una porción limitada de la superficie terrestre; para ello estudia los métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada. También ejecuta replanteos sobre el terreno para la realización de diversas obras de ingeniería, a partir de las condiciones del proyecto establecidas sobre un plano. Asimismo, realiza trabajos de deslinde, división de tierras, catastro urbano y rural, así como levantamientos y replanteos en trabajos subterráneos. La Topografía tiene por **objeto** medir y representar una parte muy pequeña de la superficie terrestre, es decir, una porción tal del globo, en la cual no es necesario tener en cuenta la esfericidad de la tierra para hacer los cálculos con la debida exactitud.

En la práctica de la topografía es necesario tener conocimientos de matemáticas, así como un adiestramiento sobre el manejo de instrumentos para hacer mediciones. Para comprender mejor esta ciencia y profundizar en ella, es necesario tener conocimientos de física, geometría, dibujo y otras ciencias.

El concepto de Topografía no ha variado con el tiempo. Lo que sí se ha visto ampliamente modificado son las técnicas, los instrumentos de medida y los métodos a aplicar. Actualmente se vive una etapa de cambios tecnológicos a una velocidad sin precedentes y están afectando virtualmente las prácticas topográficas de campaña (campo) y gabinete (oficina). Entre los nuevos instrumentos se encuentran los levantamientos en campaña por satélite -GPS-, los teodolitos digitales electrónicos, las estaciones totales con colectoras de datos automáticas y hasta robotizadas, niveles digitales automáticos, dispositivos de alineación y determinación de distancias mediante el uso del láser, sistemas autónomos de vuelo (drones), entre otros. Así el avance en la computación ha modificado los procesamientos de la información, programas de cálculo, representación gráfica, compilación de mapas, trazado y escaneo de mapas. Sin embargo, los instrumentos tradicionales -cintas, niveles y teodolitos- continúan usándose ampliamente en muchos trabajos de topografía. Es por ello que se tratará, que la exposición de los equipos y procedimientos antiguos sean reducidos o eliminados, salvo para las disertaciones didácticas.

### 1.3. Aplicaciones a diversas profesiones

Son ilimitadas las situaciones en las que los técnicos, ingenieros, geólogos, arquitectos, urbanistas, planificadores necesitan disponer con cierta exactitud, la forma y dimensiones de un determinado sector de la superficie de la tierra.

---

<sup>2</sup> M.Farjas Observaciones Topográficas

La topografía tiene aplicaciones en la **agricultura**, tanto en levantamientos como deslindes, divisiones de tierra, replanteo, determinaciones de áreas, nivelación de terrenos, agricultura de precisión, construcción de bordos, canales y drenes. En las **obras eléctricas**: levantamientos previos y trazos de líneas de transmisión, construcción de plantas hidroeléctricas, instalación de equipo para plantas nucleoeeléctricas, etc. En la **ingeniería mecánica e industrial**: para la instalación precisa de máquinas y equipos industriales, configuraciones de piezas metálicas de gran precisión, etc. En la **minería**: para el levantamiento y replanteo de túneles, galerías y lumbreras, cuantificaciones de volúmenes extraídos, auditorias técnico-topográficas, etc. En **geología**: en la relación de las formaciones geológicas, determinación de configuraciones de cuencas hidrológicas, como apoyo fundamental de la fotogeología, etc. En la **ingeniería civil**: en los trabajos topográficos antes, durante y después de la construcción de obras, como carreteras, ferrocarriles, edificios, puentes, canales, presas, fraccionamientos, servicios municipales, etc.

Existen otras ramas, como la ingeniería hidráulica, forestal, ambiental o la arquitectura, pero la topografía, al hacer por medición directa o por cálculo, o bien, por restitución fotogramétrica, la representación gráfica del terreno constituye el punto de partida de diversos proyectos que requieren información de la posición, dimensiones, forma del terreno, etc., sobre el cual se va a realizar cualquier obra o un estudio determinado.<sup>3</sup>

#### 1.4. Importancia de la topografía

La topografía es una de las artes más antiguas e importantes porque, como se ha observado, desde los tiempos más remotos ha sido necesario marcar límites y dividir terrenos. En la era moderna, la topografía se ha vuelto indispensable. Los resultados de los levantamientos topográficos de nuestros días se emplean para (s/definición *International Federation of Surveyors*): (1) elaborar mapas de la superficie terrestre, arriba y abajo del nivel del mar; (2) trazar cartas de navegación aérea, terrestre y marítima; (3) deslindar propiedades privadas y públicas; (4) crear bancos de datos con información sobre recursos naturales y utilización de la tierra, para ayudar a la mejor administración y aprovechamiento de nuestro ambiente físico; (5) evaluar datos sobre tamaño, forma, gravedad y campo magnético de la Tierra; y (6) preparar mapas de la Luna y de los planetas.

La topografía desempeña un papel sumamente importante en muchas ramas de la ingeniería. Por ejemplo, los levantamientos topográficos son indispensables para planear, construir y mantener carreteras, vías ferroviarias, sistemas viales de tránsito rápido, edificios, puentes, bases de lanzamiento de cohetes y estaciones astronáuticas, estaciones de rastreo, túneles, canales, zanjas de irrigación, presas, obras de drenaje, fraccionamiento de terrenos urbanos, sistemas de aprovisionamiento de agua potable y eliminación de aguas negras, tuberías y voladuras de minas. Los métodos topográficos se emplean comúnmente en la instalación de líneas de ensamble industrial y otros dispositivos de fabricación, para el armado y montaje de equipo y maquinaria de gran tamaño, para determinar el control de la aerofotografía, y en muchas actividades relacionadas con la agronomía, la arqueología, la astronomía, la silvicultura, la

---

<sup>3</sup> D.Alcántara García. Topografía y sus aplicaciones

geografía, la geología, la geofísica, la arquitectura del paisaje, la meteorología, la paleontología y la sismología, pero sobre todo en obras de ingeniería civil y militar. El alineamiento óptico es una aplicación de la topografía en trabajos de ingeniería mecánica y de talleres (instalación de maquinaria, fabricación de aviones, barcos, etcétera), hoy con aplicaciones en la micro geodesia.

Todos los ingenieros deben conocer los posibles límites de exactitud en la construcción, diseño y proyecto de plantas industriales, así como de los procesos de manufactura, aun cuando sea algún otro quien haga el trabajo real de topografía. En particular, los ingenieros agrimensores a quienes se llama para planear y proyectar levantamientos, deben tener una perfecta comprensión de los métodos e instrumentos a utilizar, inclusive de sus alcances y sus limitaciones. Este conocimiento se logra mejor, midiendo con los tipos de instrumentos usados en la práctica, para tener una idea real de la teoría de los errores y de las pequeñas, aunque reconocibles diferencias que ocurren en las cantidades observadas.

Además de hacer destacar la necesidad de límites razonables de exactitud, la topografía enfatiza también el valor de las cifras significativas. Un ingeniero debe saber cuándo trabajar hasta el centésimo en vez de hacerlo hasta las décimas o las milésimas de una cantidad, o tal vez hasta el entero más próximo, y qué precisión se necesita en los datos de campo que justifique efectuar los cálculos con el número deseado de decimales. Con la experiencia aprenderá la forma como el equipo y el personal disponibles determinan los procedimientos y los resultados.

Esquemas y cálculos bien hechos y limpios son señal de una mente ordenada, la cual es a su vez un índice de sólida preparación y competencia en ingeniería. Tomar buenas notas de campo en todo tipo de condiciones es una excelente preparación para la clase de registros y croquis que se espera tener de los ingenieros. La realización posterior de cálculos de gabinete basados en tales registros subraya su importancia. Un adiestramiento adicional de gran valor en las operaciones es el disponer adecuadamente los cálculos. Los ingenieros que proyectan edificios, puentes, equipos, etc., se conforman con que sus estimaciones de las cargas que han de soportar sus construcciones estén correctas dentro del 5%. Luego aplican un factor de seguridad de 2 o más. Excepto en los levantamientos de configuración, sólo pueden tolerarse errores extremadamente pequeños en los trabajos de topografía, y en éstos no existe ningún factor de seguridad. Tradicionalmente, en la topografía siempre es indispensable la precisión, tanto en operaciones manuales como de cálculo.<sup>4</sup>

### **1.5. Límites y divisiones de la Topografía.**

Cuando la extensión del terreno que se desea representar es tal que no se puede dejar de tener en cuenta la esfericidad de la tierra, sin cometer graves errores en operaciones, que exigen además el empleo de instrumentos de mayor precisión y que conducen a cálculos superiores, entra en el dominio de otra materia que es la **Geodesia**.

Entre la topografía y la geodesia hay diferencia en los métodos y procedimientos de medición y cálculo, pues la primera realiza sus trabajos en porciones relativamente

---

<sup>4</sup> Wolf/Brinker. Topografía. 9ª edición

pequeñas de la superficie terrestre, considerándola como plana, en tanto que la geodesia toma en cuenta la curvatura terrestre, y sus mediciones son sobre extensiones más grandes: poblados, estados, países, continentes o la Tierra misma.

La representación gráfica de estas mediciones la realiza otra ciencia, la cartografía, que proyecta sobre un plano las partes del esferoide terrestre; en cambio el dibujo topográfico proyecta las medidas sobre una superficie en un plano.

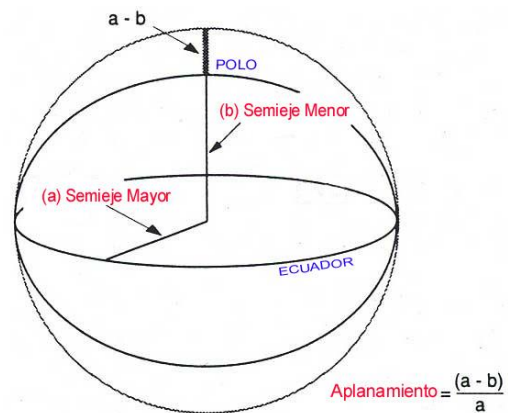
Resumiendo, tanto la Topografía como la Geodesia tienen el mismo objetivo: medir una parte de la superficie terrestre; se diferencian en la extensión de la superficie sobre la cual operan. En Topografía se considera la tierra plana, mientras que en Geodesia se refieren las posiciones de los puntos notables a la superficie de las aguas tranquilas o en reposo (geoide).

Definiremos pues la Topografía diciendo que **“es la ciencia que se ocupa de la medición y representación geométrica de una parte limitada de la superficie terrestre”**.

La **FORMA de la tierra es irregular**, pero podemos asumirla regular, ya que es aproximadamente un elipsoide de revolución aplanado; pero en las aplicaciones se le atribuye a la tierra la forma esférica.

Las dimensiones principales del globo terrestre según el **Sistema de Referencia Geodesica Mundial de 1984** (WGS84: World Geodetic System de 1984), que incluye un sistema de coordenadas, un elipsoide y un campo gravitatorio en forma de geoide; es una elipse geocéntrica de revolución:

- Semieje mayor (a) : 6.378.137 m. = radio ecuatorial
- Semieje menor (b) : 6.356.752,3142 m. =radio polar
- Inversa del aplanamiento (1 / f) : 298,257223563, donde  $f = (a - b) / a$



Antiguamente en la Asamblea General de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (Madrid, año 1924), se recomendó la utilización del elipsoide de Hayford, cuyas dimensiones) son:

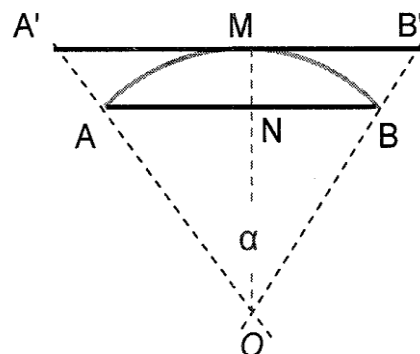
Semieje mayor:  $a = 6.378.388 \text{ m}$

Semieje menor:  $b = 6.356.912 \text{ m}$

Aplastamiento:  $(a - b) / a = 1/297 \sim 1/300$

La Topografía necesita un **límite superior** para sus operaciones, ya que no extiende sus investigaciones a grandes superficies, y es la superficie comprendida en un cuadrado, cuyo lado tenga la longitud de un grado; y como sabemos que la longitud de un grado es más o menos de 111.111 m (111 km), resulta que ésta será la longitud del lado del cuadrado.

En la figura supongamos un arco subtendido por un ángulo de  $\alpha = 1^\circ$ , con un radio de 6.378,14 km  
Veamos las medidas de **A'MB'** (tangente), **ANB**



**(secante) y el arco verdadero AMB**, cómo se diferencian:

En el triángulo A'MO tenemos:

$$A'M = MO \cdot \operatorname{tg} \alpha/2 = 6.378,14 \text{ km} \cdot \operatorname{tg} 0^{\circ}30' = 55,661 \text{ km}$$

$$\text{Finalmente } \mathbf{A'B' = 111,322 \text{ km}}$$

En el triángulo ANO tenemos:

$$AN = AO \cdot \operatorname{sen} \alpha/2 = 6.378,14 \text{ km} \cdot \operatorname{sen} 0^{\circ}30' = 55,659 \text{ km}$$

$$\text{Finalmente } \mathbf{AB = 111,318 \text{ km}}$$

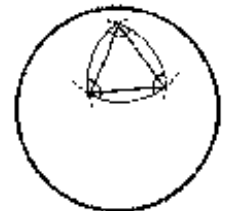
La longitud del arco de la superficie terrestre subtendido por  $1^{\circ}$ ,  
sabiendo que:  $360^{\circ} = 2\pi$  radianes,

$$\mathbf{\text{arco AMB} = 1^{\circ}/360^{\circ} \cdot 2\pi \cdot R = 0.017 \times R = 111,319 \text{ km.}}$$

Por tanto, se puede ver que el arco AMB, su cuerda AB y la tangente A'B' se confunden sensiblemente en la superficie de la Tierra, sin que el error absoluto exceda de **4 metros** y, por tanto, el **error relativo** sea superior a la fracción  $4/111.319 = 1/27830$ , que es muy inferior a los errores resultantes de cualquier operación topográfica (1/20.000 o 1 metro en 20 km.)

Por lo tanto en planos de 111,32 km de lado (un área cuadrada de 12.392 km<sup>2</sup>=1.239.192 Has) se puede asumir sin error apreciable, confundida parte de la superficie terrestre con el plano tangente. O en otras palabras para áreas de hasta  $\approx 111$  km de lado x 111 km podemos asumir la Tierra plana sin considerar la esfericidad terrestre, ya que el error de este supuesto es menor a la de la mayoría de las operaciones topográficas comunes. En cambio áreas de mayor envergadura al ejemplo asumido, deben ser encaradas por la Geodesia o mejor dicho por las técnicas de dicha disciplina.

En la topografía plana, excepto en nivelaciones, la base de referencia para los trabajos de campo y los cálculos se supone que es una superficie horizontal plana. La dirección de una plomada (y en consecuencia la gravedad) se considera paralela en toda la región del levantamiento, y todos los ángulos que se miden se supone que son ángulos planos. Para áreas de tamaño limitado, la superficie de nuestro enorme elipsoide es en realidad prácticamente plana. En un triángulo que tenga un área de 200 Km<sup>2</sup>, la diferencia entre la suma de los tres ángulos elipsoidales y los tres ángulos planos es aproximadamente de 1 segundo de arco. Por tanto, es evidente que exceptuando levantamientos que abarcan áreas muy extensas, la superficie de la Tierra se puede observar como una superficie plana, simplificando con ello los cálculos y técnicas. En general, en los cálculos de topografía plana se usa el álgebra, la geometría plana, la analítica, así como la trigonometría plana.<sup>5</sup>



La **Geodesia** es la ciencia que estudia y determina las formas y dimensiones de la Tierra, de su campo de gravedad y sus variaciones temporales. Una de las tareas

<sup>5</sup> Wolf/Brinker. Topografía. 9ª edición

fundamentales de la geodesia es la determinación precisa de la posición de puntos o pilares materializados sobre la superficie terrestre. Un grupo de pilares conforma una **red geodésica**.

Estas redes son el punto de partida para llevar a cabo diversas actividades que resultan esenciales para el desarrollo de



un país, tales como la confección de cartografía, la implementación de sistemas de información geográfica, el desarrollo de los catastros, colaborar con el planeamiento urbano, apoyar a la navegación terrestre y marítima, y servir de apoyo a obras civiles de gran envergadura (por ejemplo rutas, ferrocarriles, represas, etc.). En el Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina (**IGN**), el estudio y aplicación de esta ciencia permitió establecer y actualizar los marcos de Referencias Geodésicos Nacionales (Planimétrico, Altimétrico y Gravimétrico), que es una de las misiones principales del Organismo y sirven de apoyo para los relevamientos topográficos, como así también para la confección de la Cartografía y los Sistema de Información Geográfica.<sup>6</sup>

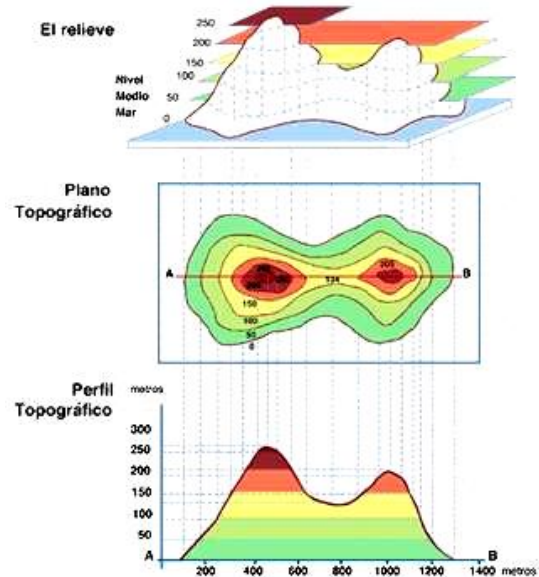


### 1.6. Planimetría y Altimetría

Para representar la superficie del terreno, se sigue uno de los métodos de proyección que se indican en geometría descriptiva, llamado proyección topográfica o plano acotado, que como sabemos, consiste en representar los puntos de la superficie del terreno por medio de su proyección horizontal y por un número o **cota** que se pone al lado de cada punto para indicar la distancia a que se encuentra del plano de proyección. Todos los puntos que tienen la misma cota se unen por un trazo continuo y se tiene lo que se llaman **línea de nivel**.

De lo que acabamos de exponer se deduce que para poder representar el terreno, es necesario dividir las operaciones topográficas en dos grupos:

- **Planimetría:** tiene por objeto determinar las posiciones que guardan entre sí, las proyecciones horizontales de los puntos más notables del terreno que se trata de representar a escala, es decir sobre una superficie plana, de todos los detalles interesantes del terreno prescindiendo del relieve.



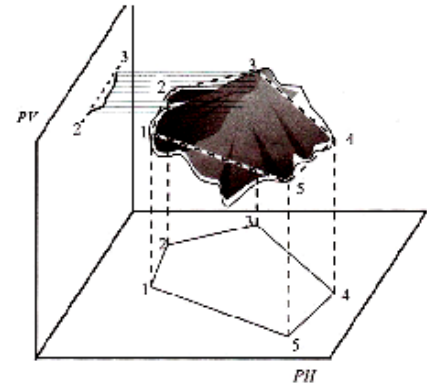
<sup>6</sup> IGN

• **Altimetría (nivelación):** tiene por objeto hallar la distancia (altura o cota) de cada punto al plano horizontal que se toma como plano de comparación o referencia, aplicando los métodos y procedimientos se consigue representar el relieve del terreno.

Las actividades principales de la topografía se realizan en **campana** (campo) donde se efectúan las mediciones con instrumentales y recopilaciones de datos suficientes y en **gabinete**

para aplicar métodos y procedimientos para el cálculo y dibujo en un plano, una figura semejante al terreno que se desea representar. Estas operaciones se las denomina **levantamientos topográficos**.

Sobre los planos se hacen los proyectos (mensuras, divisiones, urbanizaciones, caminos, instalaciones deportivas, etc.) cuyos datos y especificaciones deben materializarse posteriormente en sobre el terreno, a esta operación se la conoce como **replanteo** (trazas, ejes, etc.).



### 1.7. Tipos de levantamientos especializados

Existen tantos tipos de levantamientos tan especializados que una persona muy experimentada en una de estas disciplinas específicas, puede tener muy poco contacto con las otras áreas. Aquellas personas que busquen hacer carrera en topografía y cartografía, deberían conocer todas las fases de estas materias, ya que todas están íntimamente relacionadas en la práctica moderna. A continuación se describen brevemente algunas clasificaciones importantes.

**Levantamientos de control:** red de señalamientos horizontales y verticales que sirven como marco de referencia para otros levantamientos.

**Levantamientos topográficos:** determinan la ubicación de características o accidentes naturales y artificiales, así como las elevaciones usadas en la elaboración de mapas.

**Levantamientos catastrales de terreno y de linderos:** normalmente se trata de levantamientos cerrados, ejecutados con el objetivo de fijar límites de propiedad y vértices. El término *catastral* se aplica generalmente a levantamientos de terrenos de dominio público o privado (.....)

**Levantamientos hidrográficos:** definen la línea de playa y las profundidades de lagos, corrientes, océanos, represas y otros cuerpos de agua. Los levantamientos marinos están asociados con industrias portuarias y de fuera de la costa, así como con el ambiente marino, incluyendo investigaciones y mediciones marinas hechas por el personal de navegación.

**Levantamientos de rutas:** se efectúan para planear, diseñar y construir carreteras, ferrocarriles, líneas de tuberías y otros **proyectos lineales**. Estos normalmente



comienzan en un punto de control y pasan progresivamente a otro, de la manera más directa posible permitida por las condiciones del terreno.

**Levantamientos de construcción:** determinan la línea, la pendiente, las elevaciones de control, las posiciones horizontales, las dimensiones y las configuraciones para operaciones de construcción. También proporcionan datos elementales para calcular los pagos a los contratistas (certificaciones).

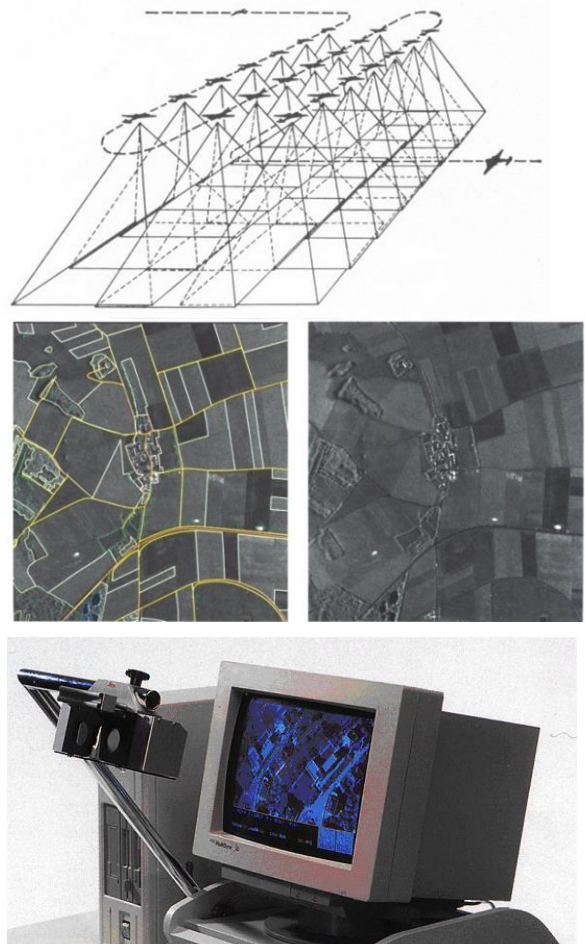
**Levantamientos finales según obra construida:** documentan la ubicación final exacta y disposición de los trabajos de ingeniería, y registran todos los cambios de diseño que se hayan incorporado a la construcción. Estos levantamientos son sumamente importantes cuando se construyen obras subterráneas de servicios, cuyas localizaciones precisas se deben conocer para evitar daños inesperados al llevar a cabo, posteriormente, otras obras.

**Levantamientos de minas:** se efectúan en la superficie y abajo del nivel del terreno, con objeto de servir de guía a los trabajos de excavación de túneles y otras operaciones asociadas con la minería, incluyendo levantamientos geofísicos para minerales y exploración de recursos de energía.

**Levantamientos industriales,** también llamados de alineamiento óptico con aplicación en microgeodesia: son procedimientos para realizar mediciones extremadamente precisas en procesos de manufacturas donde se requieren pequeñas tolerancias.

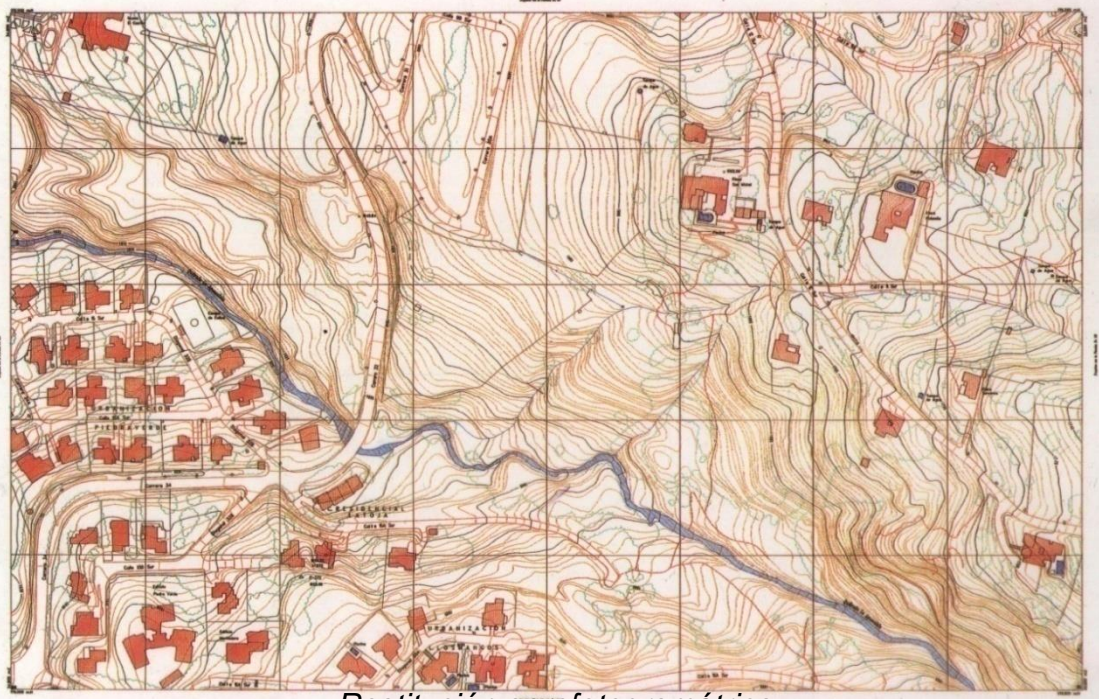
Exceptuando los levantamientos de control, la mayoría de los levantamientos descritos aquí se realizan normalmente usando procedimientos de topografía plana; no obstante, se pueden emplear métodos geodésicos en otros tipos de levantamiento cuando éste abarca un área muy grande o exige una gran precisión.

**Levantamientos aéreos y terrestres:** es la más amplia clasificación usada en algunas ocasiones. Los levantamientos terrestres utilizan medidas realizadas con equipo terrestre, como cintas de medición, instrumentos electrónicos para la medición de distancias (IEMD), niveles y teodolitos e instrumentos de medición total. Los levantamientos aéreos pueden lograrse, ya sea utilizando la fotogrametría o a través de detección remota. La fotogrametría usa cámaras que se montan en los aviones, en tanto que el sistema de detección remota emplea cámaras y otros tipos de sensores que pueden transportarse tanto en avión como en satélites. Los procedimientos usados para obtener y analizar los datos de la fotografía aérea se estudiarán en fotointerpretación y fotogrametría. Los levantamientos aéreos se han usado en todos los tipos de topografía

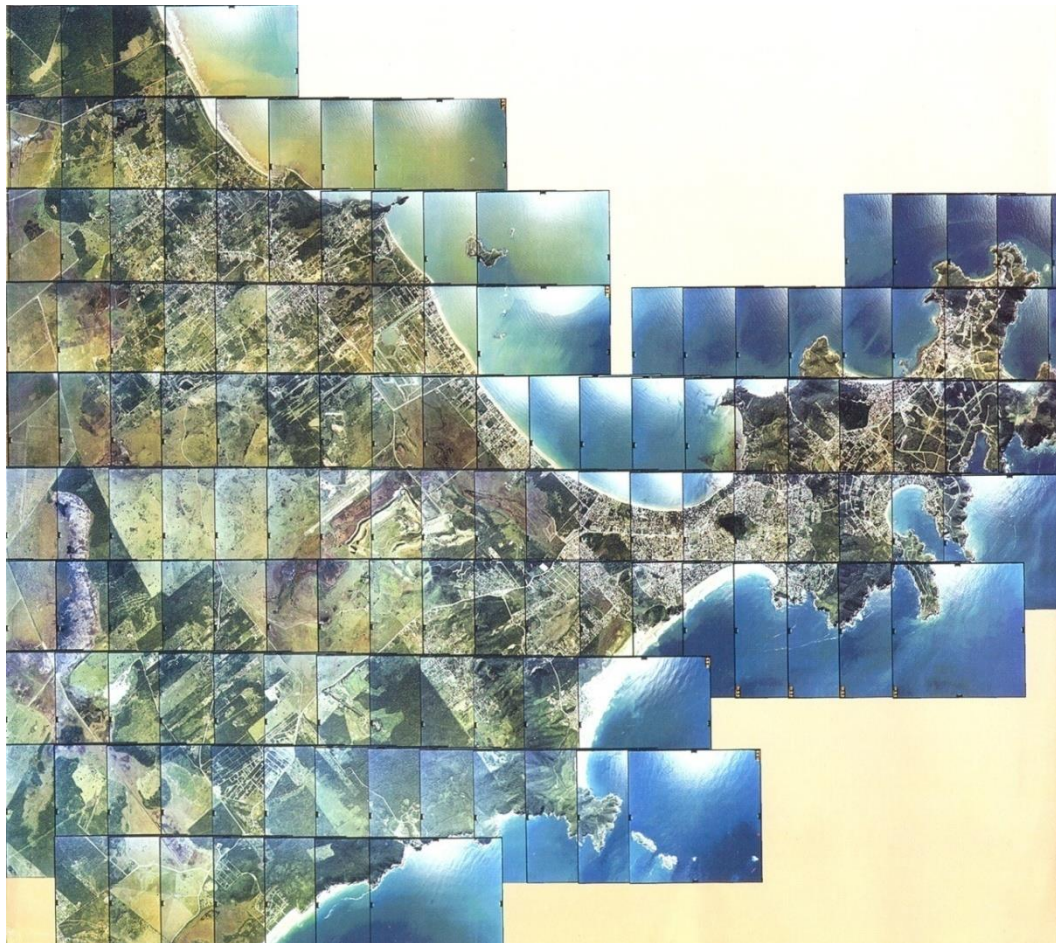




especializada que se enumeraron, a excepción del sistema de alineación óptica, y en esta área se usan con frecuencia fotografías terrestres (fotogrametría terrestre con base en el terreno).



*Restitución aerofotogramétrica*



*Foto índice de Buzios( Aerocarta S.P. Brasil)*

**Levantamientos por satélite** incluyen la determinación de sitios en el terreno usando receptores GPS, o de imágenes por satélite para el mapeo y observación de grandes regiones de la superficie de la Tierra.<sup>7</sup>



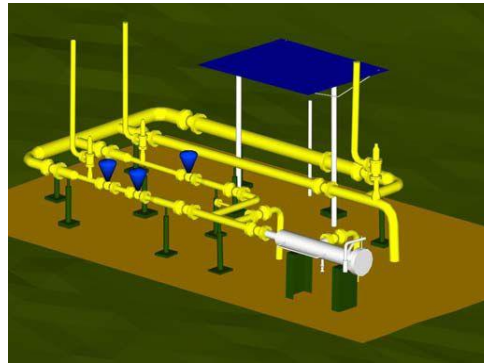
**Levantamiento y mapeo aéreo 3D con Unidad Autónoma de Vuelo (UAV):** sistema de captura fotogramétrica, mediante vuelo no tripulado (dron), cámara, GPS y software fotogramétrico para procesamiento de imágenes aéreas y modelado 3D. Con pre-planificación de vuelo con delimitación del área de trabajo por polígono de cobertura, determinación automática de trayectoria de vuelo de ida y vuelta con superposición del orden del 50% a 70% de las imágenes, controlado por piloto automático, visualización y seguimiento remoto de la operación por radio link de 3km, cobertura de trabajo de 100 ha a 1000 ha con un solo vuelo de autonomía de 45 minutos. Post procesamiento 3D mediante flujo de trabajo automatizado que incluye la auto calibración de la cámara y creación del Ortomosaico, nube de puntos y modelo digital de terreno DEM.



RELEVAMIENTO PLANIALTIMETRICO  
LINEAS DE NIVEL

<sup>7</sup> Wolf/Brinker. Topografía. 9ª edición

**Levantamiento con Escáner Láser 3D**, con moderno equipamiento motorizado para captura de datos de alta densidad en tres dimensiones con un campo de visión 360° x 270°, cámara digital integrada, resultado final son modelos digitales tridimensionales de alta resolución, con una separación de puntos de 2 milímetros. multipropósito que combina alta eficacia y precisión para una amplia gama de proyectos: obras viales (tunelería, caminos de montaña, cruces de caminos, autopistas, puentes, obras de arte, volúmenes); arquitectura u urbanismo (medición de fachadas, proyectos de urbanización); minería (Open Pits, MDT, volúmenes, tunelería); ingeniería (medición de plantas industriales y petroquímicas, modificaciones de proyectos), y otros.



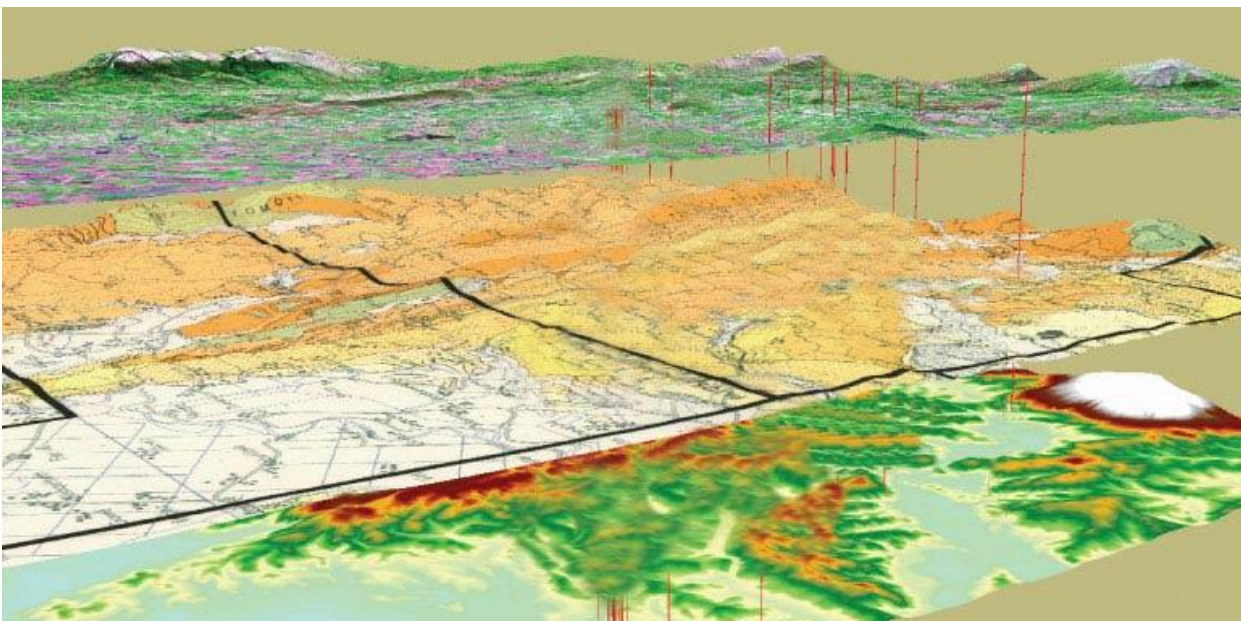
El **sistema de cartografía móvil** (mapeo con scanner y GPS, Escaneo Láser 3D completamente integrado y sistema digital de imágenes Mobile Mapping.) captura de nubes de puntos de alta densidad con marca de tiempo e imágenes geo-referenciadas, con posiciones exactas del vehículo se han obtenido utilizando tres tecnologías redundantes: un receptor de frecuencia dual GNSS establece una posición geo-espacial; unas pistas de unidad de medición inercial (IMU) en el vehículo, y la conexión bus CAN con el vehículo o los codificadores externos en la rueda obtienen información de odometría. El sistema estándar incluye tres escáneres de alta resolución LiDAR que cubren la ruta de acceso de vehículos a nivel del suelo y barren las áreas adyacentes a una distancia de 30 metros para proporcionar una óptima visualización del escaneado de los detalles a los lados de la carretera.



### 1.8. Sistemas de Información terrestre y geográfica.

Los sistemas de información terrestre, *Land Information Systems* (LISs), y los sistemas de información geográfica, ***Geographic Information Systems*** (GISs), son nuevas áreas de actividad que han alcanzado mayor importancia en la topografía. Estos sistemas basados en las computadoras permiten que se almacene, integre, maneje, analice y exhiba cualquier información espacial relacionada con nuestro medio ambiente. Los LISs y GISs se están utilizando en el gobierno a todos niveles, en los negocios, en la industria privada y en instalaciones públicas para auxiliar en la administración y toma de decisiones. Se encuentran aplicaciones específicas en diversas áreas, entre las que se incluyen administración de recursos naturales, ubicación de instalaciones y administración, actualización de registros de tierras, análisis demográfico y de mercado, respuesta a emergencias y operaciones de la armada, administración de infraestructura y observación regional, nacional y global del medio ambiente. Los datos almacenados dentro de los LISs y GISs pueden ser tanto naturales como culturales y se derivan de levantamientos, mapas ya existentes, planos, fotografías aéreas y desde satélite, estadísticas, datos tabulares y otros documentos. Algunos tipos específicos de información, llamadas capas, pueden incluir fronteras políticas, derechos de propiedad, distribución de la población, ubicaciones de recursos naturales, redes de transporte, servicios, zonación, hidrografía, tipos de suelos, uso de la tierra, tipos de vegetación, tierras pantanosas y muchas otras.

Una de las cosas fundamentales de toda esta información que se introduce en las bases de datos del LIS y del GIS es que está espacialmente relacionada, es decir, localizada en un marco de referencia geográfico común. Sólo entonces se pueden describir físicamente las diferentes capas de información para su análisis mediante computadora, para apoyar la toma de decisiones. Este requisito de localización



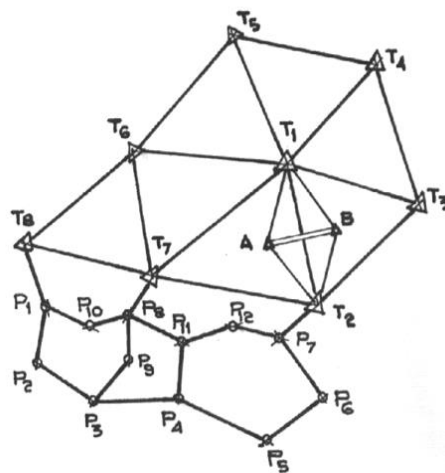
geográfica hará que en el futuro tengan más demanda los agrimensores, quienes desempeñarán un papel clave en el diseño, implementación y manejo de estos sistemas. Los agrimensores de casi todas las áreas especializadas, intervendrán en el desarrollo de las bases de datos necesarias. Su trabajo incluirá establecer los marcos de referencia de control básicos; conducir los levantamientos limítrofes y preparar la descripción legal de los derechos de propiedad; llevar a cabo levantamientos topográficos e hidrográficos mediante métodos terrestres, aéreos y por satélite; compilar y dar valores numéricos a los mapas y reunir una variedad de archivos de datos.

Nuestro Instituto **IGN**, ha sido uno de los precursores en el área de los Sistema de Información Geográfica, comenzando en la década de 1990 las actividades de captura de información a escala 1:250.000, con la que se generó el actual **SIG-IGN** de distribución pública. Producto que se ha constituido en la Base Cartográfica Oficial para la incorporación de la información temática de los diferentes organismos del Estado Nacional y Provincial.<sup>8</sup>

## 2. TÉCNICAS GLOBALES GEODÉSICAS, SISTEMAS DE REFERENCIA, ELEMENTOS Y COORDENADAS GEOGRÁFICAS

### 2.1. DESARROLLO DE TECNICAS GLOBALES GEODESICAS<sup>9</sup>

Como la superficie terrestre es irregular, sin una ley matemática que la describa, aproximamos su forma, dimensión y ubicación a través de la determinación de la posición espacial de puntos pertenecientes a la misma. Para poder ubicarlos se debe definir un sistema de referencia al cual acotar los puntos de una superficie tridimensional (x,y,z), lo que significa determinar la ubicación del origen del sistema, y la orientación de sus 3 ejes. Antiguamente el uso de la triangulación (posteriormente combinada con trilateración y poligonación) se hallaba limitada por la intervisibilidad entre los puntos. Los Geodestas subían a las cimas de las montañas o construían torres especiales de medición para



<sup>8</sup> IGN

<sup>9</sup> Geosistemas SRL.c/colabor. Del Proyecto GEO200-SECYT/CONICET U.N.L.P-Seminario Internacional GPS97

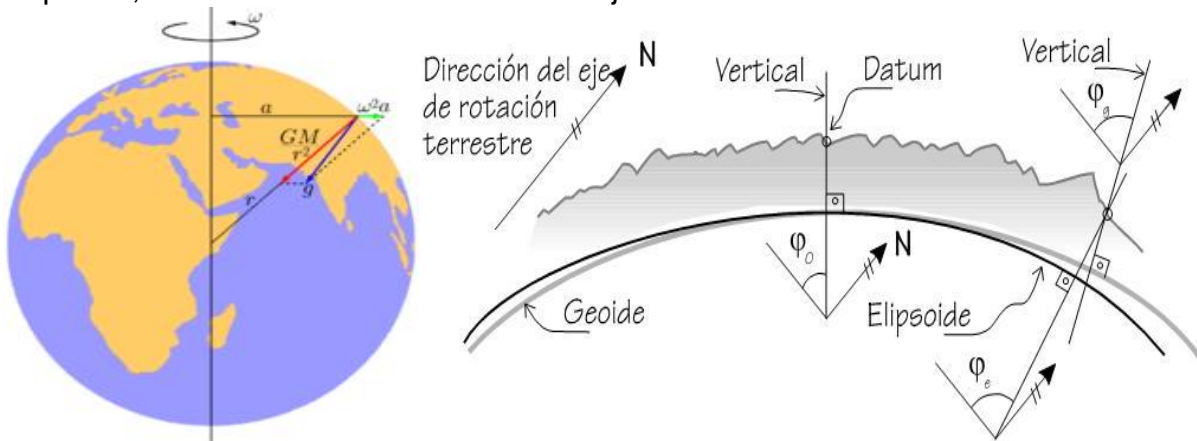
poder extender la línea de visión más allá de lo normal. La serie de triángulos medidos eran generalmente orientados o fijados a puntos observados astronómicamente.

Con estos métodos, grandes áreas, países y continentes fueron relevados; pero estas grandes áreas se hallaban posicionalmente aisladas de otras al utilizar distintos sistemas de referencia. Este es el tipo de metodología que utilizó el Instituto Geográfico Militar Argentino (IGM hoy IGN) para nuestra cartografía.

Las técnicas astronómicas de medición permitieron determinar coordenadas absolutas con errores relativamente bajos (del orden de algunas decenas de metros). Sin embargo, estas posiciones están referidas a un **sistema de referencia** materializado por la vertical del lugar (la línea de la plomada). Para ello veamos los siguientes conceptos:

- **Vertical del lugar que pasa por un punto:** En un punto próximo a la superficie real, existe una dirección bien definida en cada instante, que queda materializada por el hilo de la plomada y se denomina "vertical del lugar", "vertical verdadera" o simplemente "vertical". Es la dirección del movimiento relativo de ese punto material cuando se desplaza hacia la Tierra.

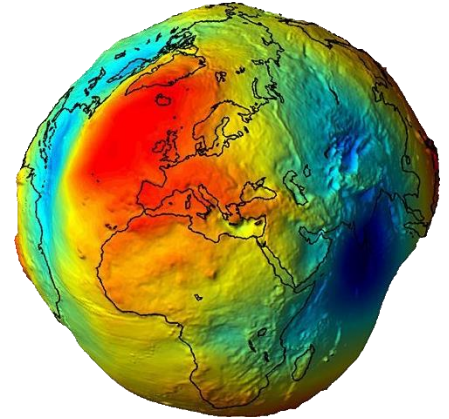
La vertical es el resultado de dos fuerzas: la atracción newtoniana de las masas y la acción centrípeta del movimiento absoluto de la Tierra, es decir dicha fuerza es la resultante del efecto del campo gravitatorio terrestre y de la fuerza centrífuga producida por la rotación de la Tierra. El primero tiene como origen la atracción que ejercen entre sí las masas de las distintas partes que componen la Tierra y su "entorno", se la llama fuerza de la gravitación ( $GM/r^2$ ) y en cada punto de la misma su resultante está dirigida aproximadamente hacia el centro de la Tierra. En cuanto a la fuerza centrífuga ( $\omega^2 a$ ) es perpendicular al eje de rotación de la Tierra afectando a todas las masas que la componen, salvo las ubicadas sobre dicho eje.



La expresión común de la dirección de la fuerza de gravedad es la del hilo de la plomada y se la denomina **vertical del lugar** y es la utilizada para proyectar puntualmente los puntos topográficos elegidos. Podemos resumir que la **Vertical que pasa por un punto** es la línea con dirección coincidente con la del vector gravedad en un punto determinado.

- **Superficie de nivel:** es la superficie perpendicular en todos sus puntos a la dirección de la gravedad. Determina la dirección y sentido de escurrimientos de las aguas.

**Geoide:** superficie de nivel que coincide con el nivel medio del mar, proyectándolo por debajo de los continentes, supuestos en reposo con respecto a la Tierra, sin considerar la acción de mareas, las corrientes marinas, los vientos, etc. La **dirección de cada una de las verticales es perpendicular a dicha superficie**. La ventaja de adoptar esta superficie de nivel, que se denomina "GEOIDE", es su aproximación bastante aceptable con la superficie de existencia real de la Tierra, pero presenta, sin embargo, el inconveniente de tener que definir con precisión el nivel medio del mar mediante el promedio de una serie prolongada de observaciones, a lo largo de períodos también prolongados, obtenidas con instrumentos que registran las oscilaciones altimétricas de las aguas en un punto determinado. Es una superficie que, como la distribución de masas dentro de la tierra no es uniforme, no tiene una ley física que la describa. El último modelo de forma de la Tierra ha sido obtenido por el satélite GOCE de la Agencia espacial Europea, el cual ha sorprendido debido a la irregularidad que presenta el geoide y las importantes diferencias de gravedad en diversos puntos del planeta.<sup>10</sup>



Puesto que la vertical del lugar cambia sin una geometría definida, siguiendo las fluctuaciones del campo terrestre, cada determinación astronómica materializaba un sistema de referencia distinto. Cuando las coordenadas astronómicas son comparadas con las modernas determinaciones satelitales surgen diferencias en las coordenadas que pueden ser de cientos de metros. Tales diferencias no son atribuibles a errores de medición, sino los distintos sistemas de referencia en que las coordenadas están expresadas.

Si bien el sistema de referencia puede ser cualquiera, se utilizan 2 tipos:

- **Sistemas de referencia locales: son topocéntricos.** El sistema de referencia adoptado en las operaciones topográficas toma como origen de coordenadas un punto de la superficie física de la Tierra o cercano -puede ser el punto de estacionamiento del instrumento de medida utilizado-; como eje z, la vertical del lugar y como plano xy, al del horizonte -con orientaciones diversas de ambos ejes de acuerdo con el trabajo específico o con la conveniencia de la representación que se busca-. Por tal motivo, las operaciones topográficas están vinculadas con la vertical del lugar y las correspondientes representaciones quedan atadas a ella. Las figuras formadas por la unión de puntos relevados quedan determinadas por su proyección en el plano XY, donde se realizarán los cálculos necesarios, involucrando ángulos y longitudes planas.
- **Sistemas de referencia globales:** Su origen es **geocéntrico** (Centro de Masa de la Tierra). La definición del sistema de referencia es compleja y se recurre a la astronomía siendo también muy compleja su materialización para ello se recurre a la geodesia satelital.

<sup>10</sup>[https://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=U1mwCoP\\_2WM#t=0](https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=U1mwCoP_2WM#t=0)

- **Geomática** Con el advenimiento de sistemas de posicionamiento globales y los avances informáticos, surge esta ciencia. La GEOMATICA resume el aprovechamiento de técnicas de bases de datos, diseño asistido por computadora (CAD), análisis y procesamiento de imágenes y sistemas de información geográfica (GIS) volcados a la geodesia, la topografía, y la cartografía.

- **Sistema de Posicionamiento Global**

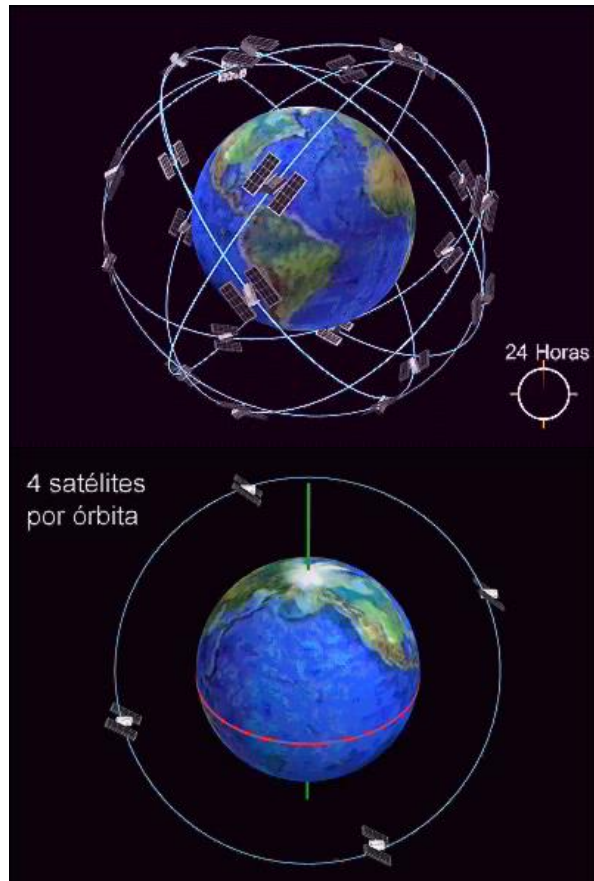
Un **Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)** es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire. Estos permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas, y otras actividades afines.

Un sistema de navegación basado en satélites artificiales puede proporcionar a los usuarios información sobre la posición y la hora (cuatro dimensiones) con una gran exactitud, en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en todas las condiciones climatológicas.<sup>11</sup>

Sistemas de Posicionamiento por Satélites actuales:

El **NAVSTAR-GPS** (NAVigation System and Ranging - Global Position System conocido simplemente como GPS), es un Sistema de Posicionamiento Global de los Estados Unidos de América y constelación NAVSTAR-GPS. Es la única con cobertura mundial. Es un sistema de radionavegación basado en satélites que utiliza mediciones de distancia precisas de satélites GPS para determinar la posición (c/ un error nominal en el cálculo de la posición de aproximadamente 15 m) y la hora en cualquier parte del mundo. El sistema es operado para el Gobierno de los Estados Unidos por su Departamento de Defensa y no es el único sistema de navegación por satélite completamente operativo a fecha actual.

El sistema está formado por una constelación de 32 satélites que se mueven en órbita a 20.000 km aproximadamente, alrededor de seis planos con una inclinación de 55 grados del ecuador y concéntrica al centro de masa de la tierra. Esta disposición permite contar con al menos cuatro satélites en todo momento en cualquier parte del globo. Cada satélite describe dos órbitas por día con una velocidad tangencial de



<sup>11</sup> Atlas Geografico de la Rep. Arg. IGM – 2000



3,9Km/seg. El número exacto de satélites varía en función de los satélites que se retiran cuando ha transcurrido su vida útil.

El **GLONASS** es el Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite de la Federación Rusa, proporciona determinaciones tridimensionales de posición y velocidad basadas en las mediciones del tiempo de tránsito y de desviación Doppler de las señales de radio frecuencia (RF) transmitidas por los satélites GLONASS. El sistema es operado por el Ministerio de Defensa de la Federación Rusa y ha sido utilizado como reserva por algunos receptores comerciales de GPS. Tras la desmembración de la Unión Soviética y debido a la falta de recursos, el sistema perdió operatividad al no reemplazarse los satélites. En la actualidad la constelación GLONASS vuelve a estar operativa. El sistema está formado por una constelación de 24 satélites, alrededor de 3 planos.

El **GALILEO Sistema de navegación por** la iniciativa de la Unión Europea y la Agencia Espacial Europea, acordaron desarrollar un sistema de radionavegación por satélite de última generación y de alcance mundial propio, que brinda un servicio de ubicación en el espacio preciso y garantizado, bajo control civil. Galileo comprende una constelación de 30 satélites divididos en tres órbitas circulares, a una altitud de aproximadamente 24.000 Km, que cubren toda la superficie del planeta. Éstos están apoyados por una red mundial de estaciones terrestres. Galileo es compatible con la generación de NAVSTAR-GPS. Los receptores pueden combinar las señales de 30 satélites de Galileo y 32 del GPS, aumentando la precisión de las medidas.

Otros sistemas de navegación satelital que pueden ser o no adoptados internacionalmente para la aviación civil como parte del GNSS y que están activos son el **Beidou, Compass o BNTS** (BeiDou/Compass Navigation Test System) de la República Popular China. El **QZSS** (Quasi-Zenith Satellite System) de Japón y el **IRNSS** (Indian Regional Navigation Satellite System) de India.

## 2.2. Sistemas de referencia

**Introducción.** Los sistemas de posicionamiento satelitales, al involucrar el concepto de posicionamiento "Global", requieren que se conozcan los distintos sistemas de referencia válidos. Reiterando la **GEODESIA** es la ciencia que se ocupa de conocer en un concepto global nuestro planeta, tanto desde el punto de vista de su forma y dimensiones, como de su campo de gravedad y sus variaciones temporales. De esta manera se pueden llegar a localizar y representar de una forma coherente los diversos fenómenos territoriales. Una de las tareas fundamentales de la geodesia es la determinación precisa de la posición de puntos o pilares materializados sobre la superficie terrestre. Un grupo de pilares conforma una **red geodésica**. Estas redes son el punto de partida para llevar a cabo diversas actividades que resultan esenciales para el desarrollo de un país, tales como la confección de cartografía, la implementación de sistemas de información geográfica, el desarrollo de los catastros, colaborar con el planeamiento urbano, apoyar a la navegación terrestre y marítima, y servir de apoyo a obras civiles de gran envergadura (por ejemplo, rutas, ferrocarriles, represas, etc.).<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> IGN.

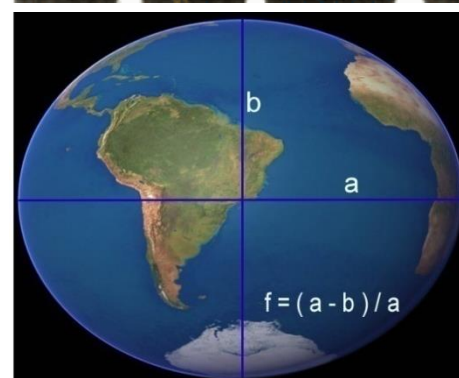
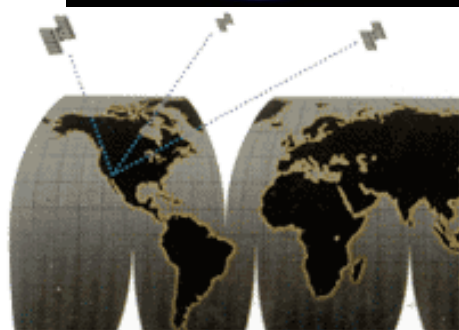
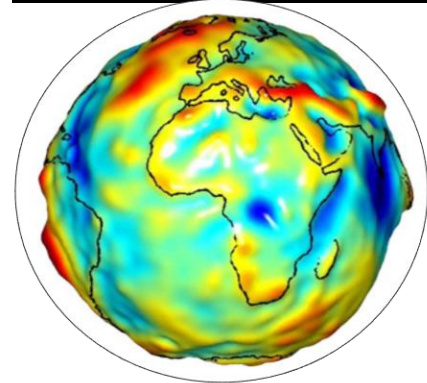
La Tierra es un cuerpo aproximadamente esférico, de un cierto tamaño y de una cierta masa. Por lo tanto, es natural considerar una primera aproximación a la Tierra como una esfera. Pero al ser más rigurosos, y especialmente al hacer un análisis de campo de gravedad terrestre o simplemente observando la superficie oceánica, a la Tierra se la puede definir su forma como aquella correspondiente al Nivel Medio del Mar (N.M.M.) y su prolongación a través de los continentes. De manera más precisa, la forma de la Tierra es un Geoide, el cual corresponde a una superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que, para efectos prácticos, coincide con el "nivel medio del mar".

Si bien el geoide representa una buena aproximación a la forma real de la Tierra, su expresión matemática es bastante compleja de manejar. De esta manera, para efectos prácticos se ideó una figura matemática relativamente sencilla que se ajustara "lo mejor posible" al geoide. Así, la Tierra se modela a través de un elipsoide de revolución, el cual se ha constituido en la figura geodésica tradicional de nuestro planeta.

- Toda coordenada entregada por un receptor de posicionamiento satelital, se representa en su forma más directa de obtención; que es sobre un elipsoide, en la forma de Latitud, Longitud y altura al elipsoide. Luego, para fines de representación y mapeo, el hombre requiere desarrollar el elipsoide al plano; cuestión que requiere de trasposos matemáticos de mediana complejidad, ya que, la superficie de un elipsoide no es desarrollable al plano. Problema de pelar la naranja de tal manera que su cascara forme un plano. Acá, se presenta otro punto de vital importancia, que son los Sistemas de Proyección y que de ninguna manera se deberían confundir con los sistemas de referencia.

- **El elipsoide de revolución**

El tamaño y la forma del elipsoide de revolución se expresan a través de su semieje mayor "a" y su semieje menor "b" o, equivalentemente, por su semieje mayor y su achatamiento "f". Como ya se dijo, estas cantidades deben ser elegidas de manera tal que el elipsoide de revolución se ajuste lo más exactamente posible al geoide. Se representa una



elipse con los parámetros  $a$ ,  $b$ ,  $f$ .

Reiterando, el **Sistema de referencia global** es cuando el centro geométrico del elipsoide coincide con el geocentro y su semieje menor se orienta a lo largo de la línea de los polos geográficos Norte - Sur, el elipsoide se ajusta, en promedio, al geoide en todas partes del planeta.

Por las limitaciones propias de las técnicas de medición, para la geodesia clásica no fue posible establecer elipsoides globales, sino que solo se pudieron establecer elipsoides "regionales" o **Sistemas de referencia locales (topocéntricos)** Estos eran elipsoides que se ajustaban al geoide razonablemente bien dentro de una cierta región, pero fuera de ella comenzaba a producirse un desajuste creciente.

Un ejemplo de ello es el **sistema Campo Inchauspe 1969**, utilizado durante muchos años por nuestro país. Para este sistema se adoptó el Elipsoide Internacional de 1924.

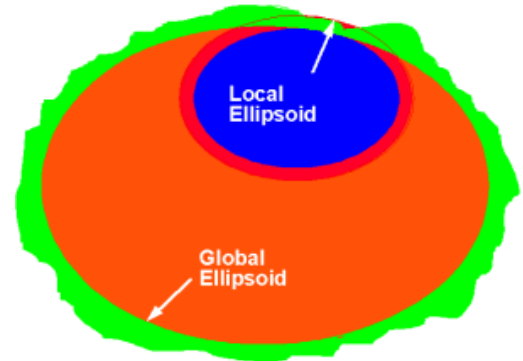
En la Asamblea General de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (Madrid, año 1924), se recomendó la utilización del elipsoide de Hayford, cuyas dimensiones son:

Semieje mayor:  $a = 6.378.388$  m

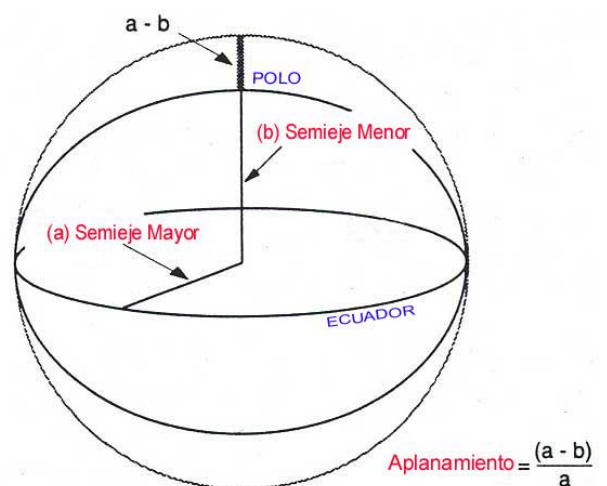
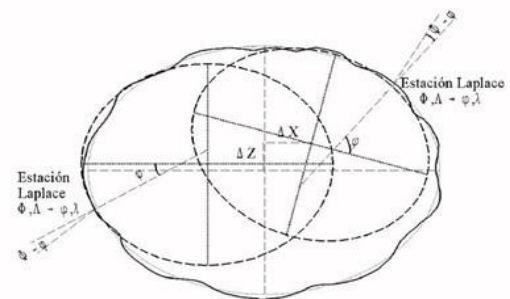
Semieje menor:  $b = 6.356.912$  m

Aplastamiento:  $(a - b) / a = 1/297 \sim 1/300$

Dicho elipsoide fue posicionado y orientado de manera que resultara tangente al geoide en el paraje Campo Inchauspe ( $\varphi \cong -36^\circ$ ,  $\lambda \cong -62^\circ$ ). Hoy sabemos que el elipsoide elegido es unos 250 metros más grande y algo más achatado que el valor correcto; su centro geométrico está desplazado unos 220 metros respecto el geocentro y sus ejes están inclinados unos 0.3 segundos de arco respecto a los de la Tierra.



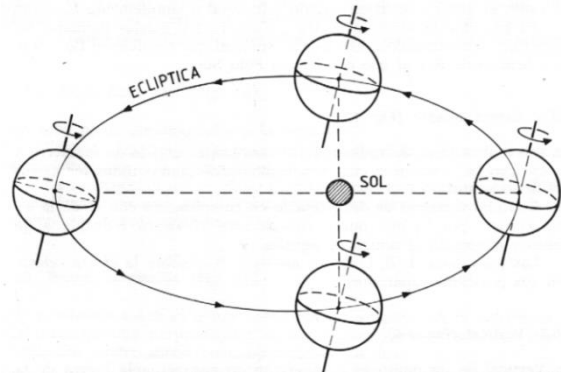
Dátum geodésico clásico



- La materialización de elipsoides globales solo fue posible a partir de la introducción de la geodesia satelitaria. Ejemplos de esta clase de elipsoides es el **WGS84 (World Geodetic System 1984)**, cuya precisión geocéntrica actual es del orden de 20 centímetros y cuyos ejes están alineados con errores imperceptibles. El marco de referencia POSGAR 94, adoptado por el IGM como marco de referencia oficial del país, materializa un elipsoide global muy cercano al WGS84, cuya precisión geocéntrica es del orden 1 metro.

### 2.3. Elementos Geográficos

**Eje Terrestre:** Es la recta alrededor de la cual gira la Tierra en su movimiento diurno, conservando el paralelismo a sí mismo a lo largo del movimiento de traslación sobre la eclíptica alrededor del Sol. Aunque la Tierra tiene otros movimientos, éstos son tan lentos que el eje terrestre parece apuntar siempre a un punto fijo del cielo, que en el hemisferio Norte está en las proximidades



de la estrella Polar

**Polos:** Son los puntos de intersección del eje terrestre con la superficie de la Tierra, el que está del lado de la estrella Polar es el **Polo Norte** y el otro el **Polo Sur**.

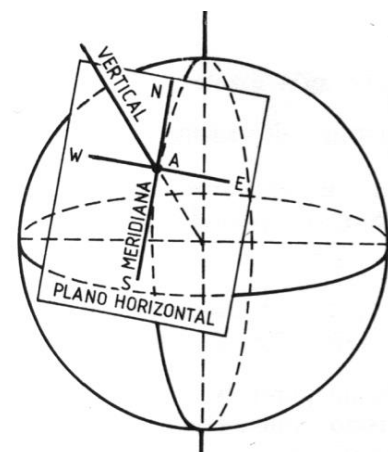
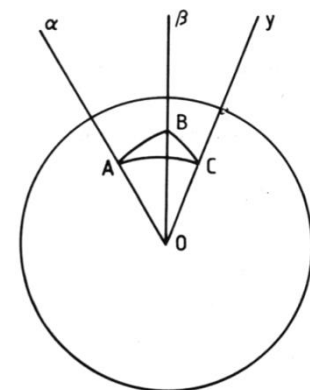
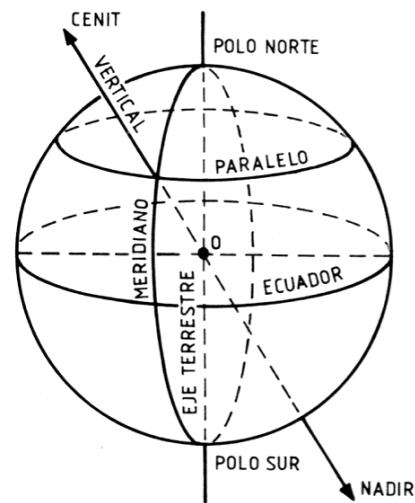
**Meridiano:** Los planos que contienen al eje terrestre se llaman planos meridianos y la intersección con la superficie terrestre son los *meridianos*.

**Paralelos:** Los planos perpendiculares al eje terrestre se llaman planos paralelos y la intersección con la superficie terrestre son los *paralelos*.

**Ecuador:** Es el plano paralelo que contiene al centro terrestre y es de radio máximo. Divide a la Tierra en dos partes iguales: Hemisferio Norte, el que contiene al Polo Norte y Hemisferio Sur al que contiene al Polo Sur.

**Esfera Celeste:** Es una esfera ideal de radio infinito concéntrica con la Tierra y de eje común, y sobre la cual suponemos proyectados todos los astros del firmamento. El radio de la Tierra es despreciable en comparación con el de esfera celeste, por lo que puede considerarse la Tierra reducida a un punto y ocupando el centro de aquella. Las posiciones A, B, C de los astros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  sobre la esfera celeste son sus posiciones aparentes.

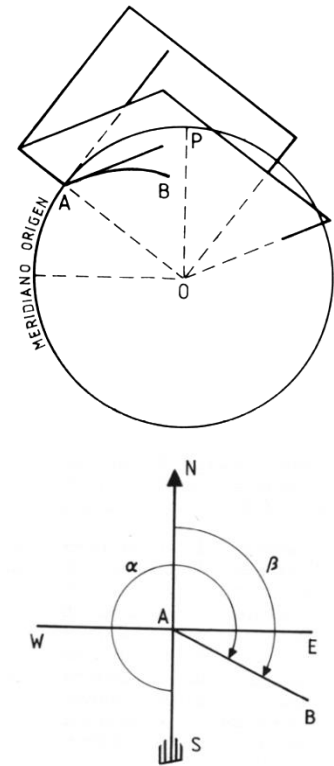
**Vertical:** Es la dirección en que actúa la fuerza de gravedad en un punto; en el caso de Tierra esférica se supone que pasa por el centro de la misma. La Vertical corta a la esfera celeste en dos puntos diametralmente opuestos, llamados **antípodas**, el superior en la semiesfera invisible, llamado **Cenit**, y en el inferior en la semiesfera visible, llamado **Nadir**. Se llama **plano vertical**, todo plano que contiene a la vertical misma.



**Plano Horizontal:** Es todo plano perpendicular a la vertical. El plano horizontal que pasa por un punto A de la superficie terrestre, es tangente a la misma en ese punto. La intersección de un plano meridiano con uno horizontal se llama meridiana y marca la dirección Norte–Sur, correspondiendo cada extremo con el Polo respectivo.

**Puntos Cardinales:** Si en el punto A se traza una perpendicular a la meridiana tendremos materializada 4 direcciones opuestas dos a dos. Si el observador, situado en A, mira hacia el **Norte**, a su espalda tendrá el **Sur**, a la derecha el **Este** y a la izquierda el **Oeste** (W).

**Acimut geográfico:** Si se considera sobre el elipsoide dos puntos A y B relativamente próximos, el acimut de B respecto de A, es el ángulo formado por: el plano meridiano de A y el plano vertical de A que pasa por B. Se mide de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  a partir del plano meridiano y en el sentido de giro de las agujas del reloj. En Topografía se toma como origen el Norte, el acimut en este caso, de la dirección AB será el ángulo  $\beta$ .<sup>13</sup>

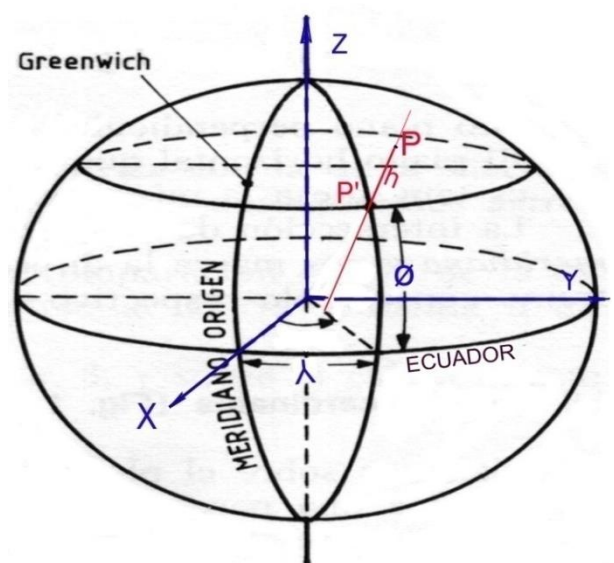


#### 2.4. Coordenadas Geográficas

Las coordenadas geográficas son un sistema universal para la localización de puntos sobre la superficie terrestre. Este sistema se basa en un conjunto de anillos o círculos imaginarios que rodean a la esfera terrestre.<sup>14</sup>

Para definir las **coordenadas geodésicas latitud ( $\phi$ ), longitud ( $\lambda$ ) y altura de un punto ( $h$ )** respecto al elipsoide de revolución, considérese la línea imaginaria que, siendo normal al elipsoide, pasa por el punto P, interceptándolo en el punto P'; entonces

- La **latitud (latitud geodésica =  $\phi$ )**: es el ángulo entre dicha línea con el plano ecuatorial, medida a lo largo del meridiano que pasa por P'. Se mide a partir del Ecuador, sobre el meridiano del lugar de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  hacia el Norte o (+) y de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  hacia el Sur o (-), según se encuentre en uno u otro hemisferio.
- La **longitud (longitud geodésica =  $\lambda$ )**: es el ángulo entre el meridiano origen el meridiano de Greenwich (Observatorio de Greenwich, cercanías de Londres) y el meridiano que pasa por P', medida a lo largo del Ecuador. Se miden de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ ,

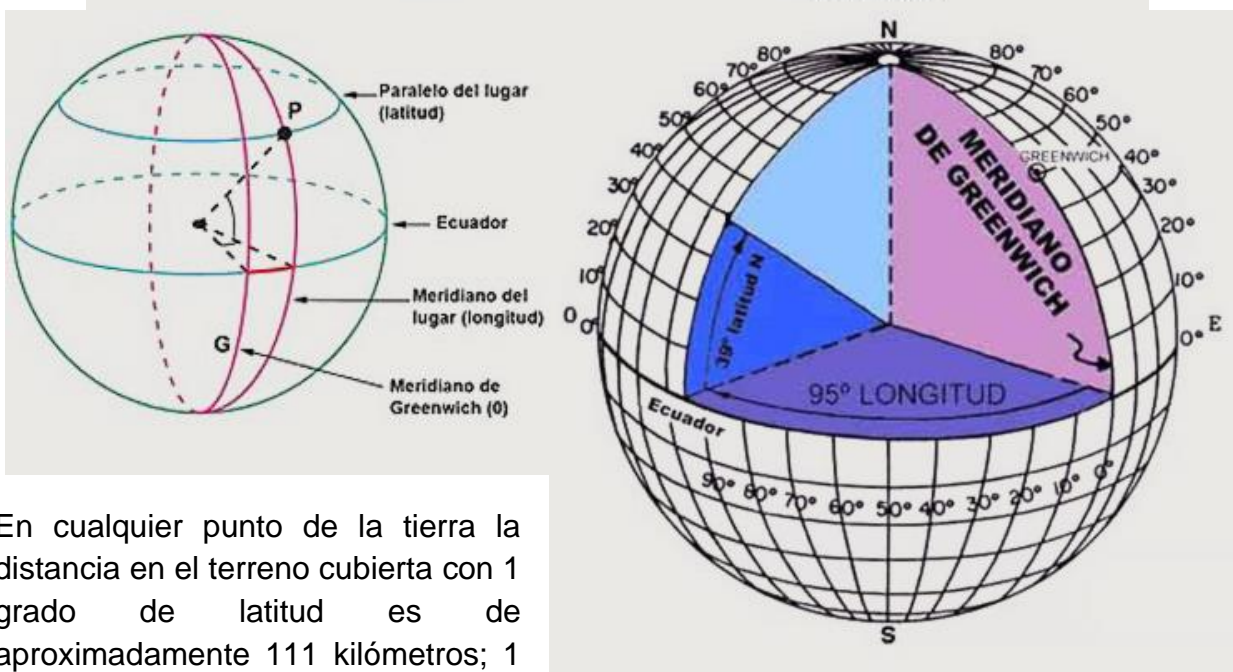
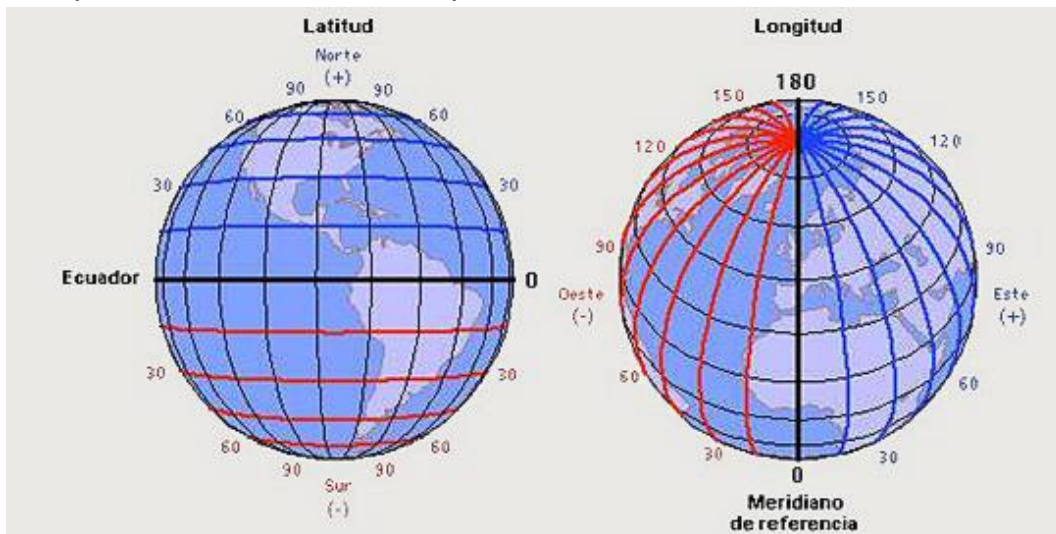


<sup>13</sup> F. Valdés Doménech. Topografía

<sup>14</sup> IGN. Sist. de Coord. Geográficas

a uno y otro lado del meridiano origen, añadiendo la denominación Este o (+) u Oeste o (-), según se cuente en uno u otro sentido

- La **altura elipsoidica (altura geodésica =  $h$ )**: es la distancia entre P y P', medida en metros, positiva hacia arriba del elipsoide.<sup>15</sup>



En cualquier punto de la tierra la distancia en el terreno cubierta con 1 grado de latitud es de aproximadamente 111 kilómetros; 1 minuto 1850 metros y 1 segundo es igual a 30 metros. La distancia en el terreno cubierta por un grado de longitud en el Ecuador es de aproximadamente 111 kilómetros y ésta decrece a medida que uno se aproxima a los polos.<sup>16</sup>

- **Sistemas y Marcos Geodésicos de Referencia**

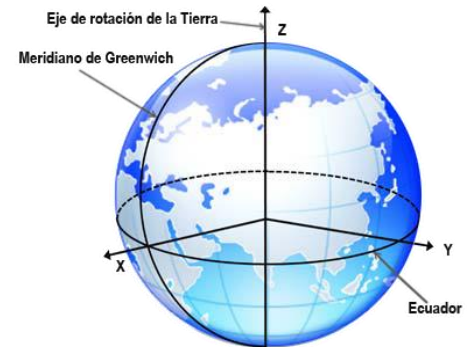
La definición de un Sistema de Referencia se basa en la adopción de convenciones, constantes y modelos que lo caracterizan. Todas éstas responden a diferentes técnicas de observación (hacia satélites y otros elementos en el espacio). Las convenciones

<sup>15</sup> Proyecto GEO200-SECYT/CONICET U.N.L.P-Seminario Internacional GPS97. Public. Geosistemas SRL.c/colabor.

<sup>16</sup> IGN.Sist. de Coord. Geográficas

adoptadas para definir un Sistema de Referencia Geocéntrico (en el cual su terna de coordenadas tiene su origen en el centro de masas de la Tierra) son las siguientes:

- Posición del origen del geocentro (centro de masa de la Tierra) teniendo en cuenta la carga oceánica y atmosférica.
- Ubicación del eje Z, que será paralelo al eje de rotación de la tierra para una época determinada.
- Ubicación del eje X, que surge de la intersección del plano meridiano de Greenwich con el plano ecuatorial para una época determinada.
- Ubicación del eje Y, situado en el plano ecuatorial y perpendicular al plano XZ.



La materialización de un Sistema de Referencia se denomina **Marco de Referencia**. Este Sistema se materializa a partir de la construcción (*monumentación*), la medición y el posterior cálculo de las coordenadas de una serie de puntos o pilares localizados sobre la superficie terrestre. Dichos puntos conforman una **Red Geodésica**.

Para facilitar la interpretación de las posiciones de los puntos que componen las redes geodésicas, en lugar de utilizar coordenadas cartesianas geocéntricas (X, Y y Z), resulta más sencillo utilizar las **coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura elipsoidal)**. Éstas últimas surgen de asociar un **elipsoide de revolución** al Sistema de Referencia (por ejemplo el elipsoide **WGS84** o **GRS80**) y aplicar una serie de ecuaciones para realizar la transformación.



El **Instituto Geográfico Nacional (IGN)** a través de la Ley Nacional de la Carta y la Disposición Administrativa 520/96, es el responsable Nacional del establecimiento, mantenimiento, actualización y perfeccionamiento del Marco de Referencia Geodésico Nacional.

Sobre este marco de referencia desarrollan sus tareas las Provincias, Municipios, Catastros, organismos públicos, empresas privadas y usuarios particulares.<sup>17</sup>



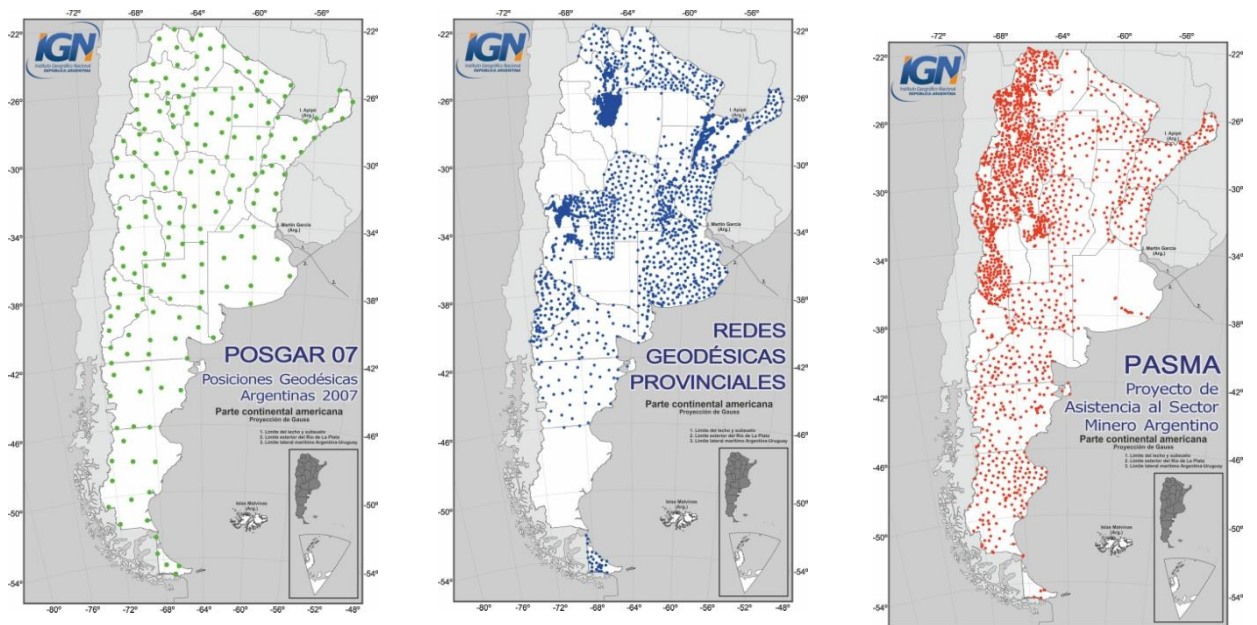
## 2.5. Red de Vértices Geodésicos . POSGAR 07

Durante el año 2005 comenzaron las mediciones para la actualización del Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007). Dicho marco se vinculó al Marco de Referencia Terrestre Internacional

<sup>17</sup> IGN:

denominado ITRF05 (International Terrestrial Reference Frame 2005) y SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, solución DGF08P01). La solución final publicada en el año 2009 consta de 178 coordenadas pertenecientes a pilares materializados sobre el terreno, y además, todas las coordenadas de las estaciones GPS permanentes que pertenecen a la **red RAMSAC** (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo).

Por otra parte, con este Marco de Referencia se planteó el desafío de integrar a todas las redes Geodésicas Provinciales existentes y la del **Proyecto PASMA** (Proyecto de Apoyo al Sector Minero Argentino). Para ello se midieron aproximadamente 500 puntos, a partir de los cuales, se lograron calcular los parámetros de transformación para integrar todas las Redes Geodésicas de Argentina en un único Marco de Referencia Geodésico Nacional, dando origen a una red de aproximadamente 4500 puntos.



- **Red de Vértices Geodésicos POSGAR 94**

El Marco de Referencia Geodésico Nacional antecesor a POSGAR 07, fue denominado POSGAR 94 (Posiciones Geodésicas Argentinas del año 1994).

Producto de la llegada del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y sus ventajas indudables, el IGN comprendió la necesidad de disponer de un marco de referencia geocéntrico compatible con las precisiones que la nueva tecnología brindaba, y que además fuese lo más cercano posible al sistema de referencia global WGS84 (World Geodetic Systems 1984).

Durante los años 1993 y 1994 personal del IGN realizó las mediciones de los pilares que integrarían el marco POSGAR 94, encomendando el procesamiento de los





mismos a la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Fue así que se determinaron las coordenadas de 127 puntos a lo largo de todo el territorio Nacional.

### • Antigua Red de Vértices Geodésicos Campo Inchauspe 69

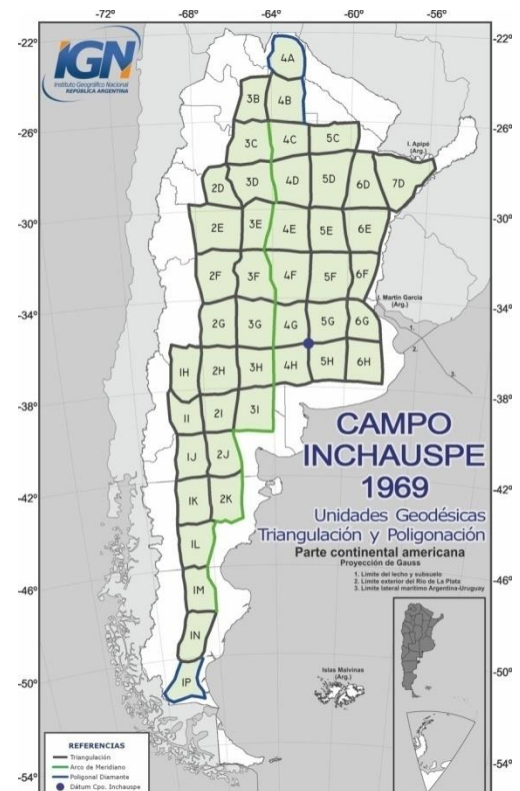
Los antiguos Sistemas de Referencia se determinaron a partir de los siguientes elementos:

- **Geoide:** Es la superficie equipotencial del campo gravimétrico terrestre, que mejor se ajusta, en el sentido de mínimos cuadrados, al nivel medio del mar.
- **Elipsoide de referencia:** Figura de determinada dimensión, forma, centro y orientación, utilizada como superficie de referencia para los cálculos geodésicos. Es la superficie matemática que mejor se adapta al Geoide. Un elipsoide queda definido cuando se conocen de él dos de sus parámetros, habitualmente se utilizan el semieje mayor y el aplamamiento.
- **Punto Datum:** Constituye el origen de las mediciones en los Sistemas Locales. Posee coordenadas astronómicas iguales a las elipsóidicas. Las normales al elipsoide y al geoide son coincidentes.

El desarrollo del primer Sistema y Marco de Referencia Geodésico Nacional denominado Campo Inchauspe, demandó más de 100 años de labor del Instituto, empleando técnicas clásicas de medición (triangulación y poligonación) recorriendo palmo a palmo cada porción de nuestro territorio y dando origen a una red geodésica de aproximadamente 18.000 puntos.

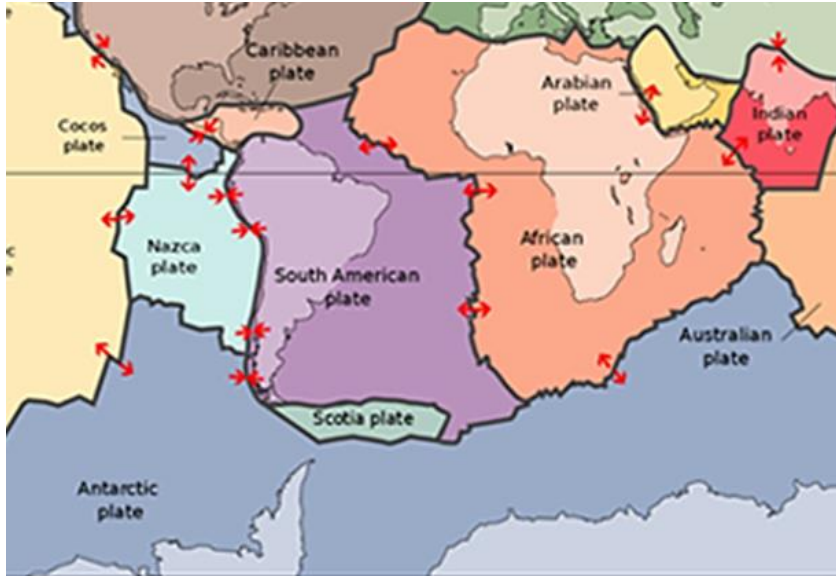
La **red fue dividida en órdenes de precisión**, en función del error en la determinación de las coordenadas de cada punto (I, II, III y IV orden). La Red Fundamental está constituida por puntos de **I y II orden**, mientras que los puntos de **III y IV fueron utilizados para la densificación y mediciones topográficas**.

Esta red se realizó utilizando diferentes instrumentos de alta precisión presentes en ese tiempo. Actualmente, la Red Fundamental de Triangulación quedó superada por la tecnología satelital y muchos de los puntos ya no son utilizados.



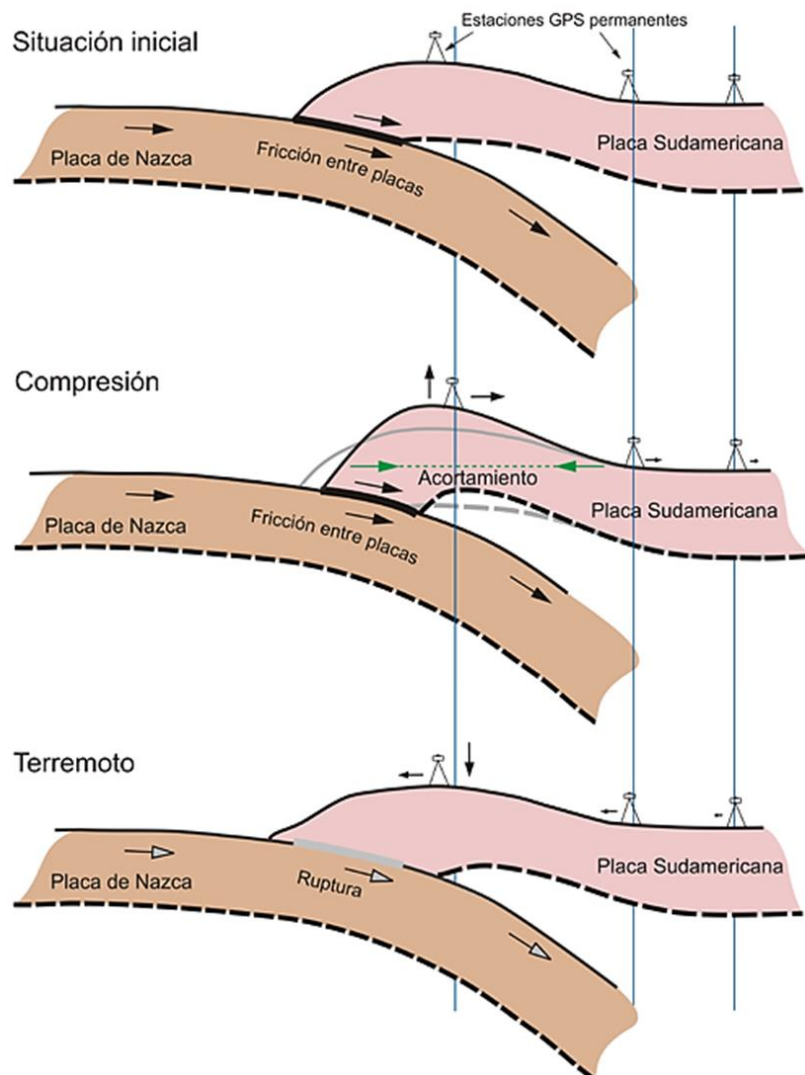
## 2.6. Actividades Geodinámicas Sud Americanas (SAGA)

Los principales objetivos son medir y monitorear la deformación tridimensional a lo largo de la zona de subducción andina y zonas de deformación adyacentes. Medir el movimiento relativo entre las placas de Nazca y Sudamericana y cuantificar en que extensión la convergencia se acomoda por diferentes procesos de deformación. Estudiar el largo período de deformación tectónica (por ejemplo formación de montañas, acortamiento de la corteza) mediante la evolución y la dinámica del proceso de subducción.



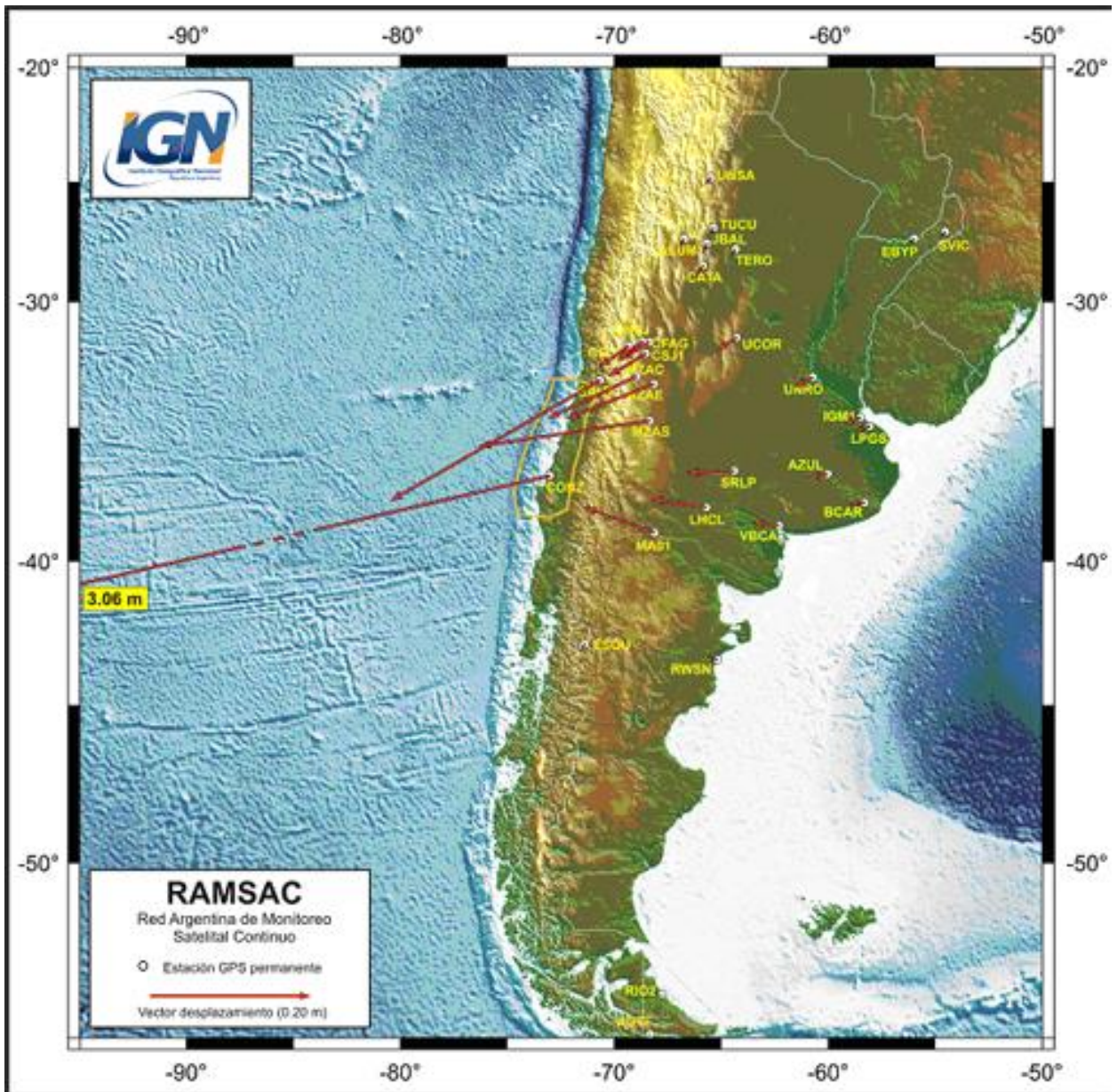
El **proyecto SAGA** persigue investigar, mediante una importante red geodésica de control, la naturaleza de las deformaciones a lo largo de la zona de subducción andina, incluyendo variaciones temporales y espaciales. Con este objeto se ha establecido una red de estaciones GPS conformada por 215 sitios que cubren todo Chile y parte del oeste argentino.

El **Proyecto Andes Centrales (CAP)** se trata de un proyecto Geodinámico, desarrollado por la Universidad de Memphis y la Universidad de Hawaii, en la zona oeste del continente americano. En la República Argentina colabora en el mismo el Instituto Geográfico Nacional, a través de la red de **estaciones permanentes RAMSAC**.



Al igual que el proyecto SAGA, el Proyecto Andes Centrales persigue investigar, mediante una importante red geodésica de control, las deformaciones a lo largo de la zona de subducción entre **la placa de Nazca y la placa Sud Americana**.

A través de mediciones realizadas con GNSS se pretende determinar la posición con gran precisión (del orden del mm) de estaciones geodésicas materializadas de manera de asegurar su estabilidad. El objeto es determinar el cambio relativo de sus posiciones, expresado en **mm/año**.



## 2.7. Coordenadas Rectangulares - X,Y,Z (ECEF)

Las efemérides de la posición orbital de los satélites GLONASS o GPS, se proveen respecto de un sistema de referencia elipsoidico PZ-90 y WGS84 respectivamente. Pero la posición en 3D de un punto del espacio (ya sea el satélite o el observador con su

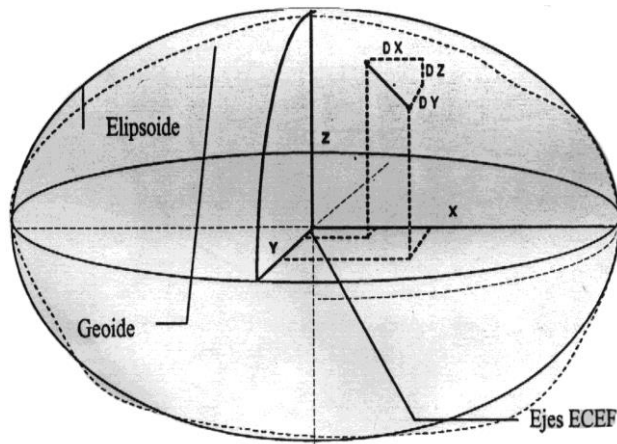
receptor) se puede expresar en coordenadas polares o rectangulares. Ese es el caso de las coordenadas cartesianas X, Y, Z ECEF (de la sigla Earth Centered, Earth Fixed). Por lo tanto, podemos expresar **las coordenadas de un punto de la Tierra en términos de latitud, longitud y altura o sus respectivas X, Y, Z**. Estas últimas se definen respecto a una terna de ejes sólidamente unidos al elipsoide de revolución, de manera que:

El origen de coordenadas ECEF, se basa en tres ejes ortogonales cuyo origen se halla fijo en el centro geométrico del elipsoide.

El eje Z se encuentra a lo largo del semieje del elipsoide, apuntando hacia el polo norte.

El eje X se define por la intersección entre el plano del meridiano de origen ( $0^\circ$ ) y el plano Ecuatorial.

El eje Y completa un sistema ortogonal de regla de mano derecha separado  $90$  grados al este del eje X y con una dirección que intersecciona al plano del ecuador.<sup>18</sup>



- **Pasaje de coordenadas geodesicas a cartesianas (ECEF)**

$$X = (N + h) \cos \phi \cdot \cos \lambda$$

$$Y = (N + h) \cos \phi \cdot \sin \lambda$$

$$Z = (1 - e^2) (N + h) \sin \phi$$

Donde:

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

$$e^2 = 2f - f^2$$

$$f = (a - b) / a$$

X, Y, Z = coordenadas cartesianas ECEF

$\phi$ ;  $\lambda$ ,  $h$  = Coordenadas geodesicas

a = semieje mayor del elipsoide

b = semieje menor de elipsoide

f = achatamiento del elipsoide.

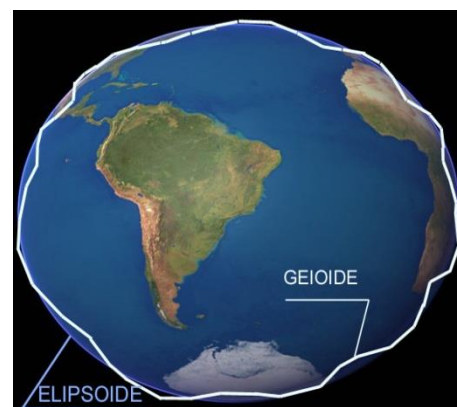
## 2.8. Datums Horizontales, Verticales y Completos

Reiterando en las aplicaciones geodésicas de gran escala, se utilizan comúnmente 3 tipos de superficies, que son: la superficie natural de la Tierra; el geoide y el elipsoide



<sup>18</sup> Proyecto GEO200-SECYT/CONICET U.N.L.P-Seminario Internacional GPS97. Public. Geosistemas SRL.c/colabor.

- La **superficie natural de la Tierra**, obviamente, es aquella donde el hombre desarrolla su existencia y es el objeto de las mediciones y se conoce como superficie Topográfica. Es bien conocido que la topografía de la corteza terrestre es altamente irregular, formada por tierra y agua que varían respecto del tiempo. Los modelos de la superficie terrestre se utilizan en navegación, mapeos, Agrimensura (Ingeniería y Geodesia). El modelado y representación de superficies topográficas y niveles del mar intentan conocer las variaciones físicas de la superficie (mientras que los modelos gravílicos terrestres intentan representar mediante el geoide las variaciones de gravedad que modifican la definición local de una superficie de nivel).
- El **Geoide es una superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre**. Esta superficie equipotencial es aquella que permite el estado de equilibrio de un líquido. En una aproximación, esencialmente, es aquella superficie de nivel que aproxima el promedio del nivel medio del mar para todo el globo. Así, el geoide se utiliza como **datum vertical** (origen de referencia vertical) para las alturas conocidas como **ortométricas** (H). Las **alturas ortométricas** son las que generalmente podemos encontrar sobre una carta topográfica. Los modelos de Geoide intentan describir en detalle las variaciones del campo de gravedad terrestre. La importancia de este esfuerzo se halla relacionado a la idea de nivelación. La Topografía, cuando trata con representaciones planas, de regiones reducidas, utilizan el concepto de un plano perpendicular a la superficie de gravedad terrestre, y se determina mediante la dirección de una plomada apuntando aproximadamente al centro de masas terrestres. Las variaciones de gravedad locales, causadas por variaciones de densidad de los materiales y masas de la superficie son los causantes de que el campo gravífico terrestre sea irregular.
- Un "**datum horizontal**" es un **elipsoide de referencia para coordenadas horizontales; Latitud y Longitud**. La ventaja de utilizar un elipsoide como referencia es que posee una forma matemática muy simple de ser representada. Para describir superficies elipsóidicas solo se necesitan dos parámetros; el semieje mayor **a** y el semieje menor **b**. La única desventaja que posee es la de no poder ser ubicado por instrumentos convencionales, para cualquier lugar en que nos encontremos (por donde pasará el elipsoide?). La ubicación y forma de un elipsoide en el espacio tiene una descripción muy sencilla y clara. En el pasado se han definido muchísimos elipsoides de referencia; siempre justificando que se ajustaban de mejor manera para ciertas regiones, continentes o países.



Luego, **los mapas** son representaciones sobre el plano de dichos sistemas elipsoidales, o del geoide para el caso de las alturas. Por utilizar superficies elipsóidicas, la representación plana requiere de pequeñas modificaciones matemáticas, en otras palabras la superficie a representar en el plano no es desarrollable. Así, otro sistema de referencia utilizado y que no debe confundirse con los anteriores son las coordenadas planas en una proyección.

Estas coordenadas planas se obtienen por pasaje o conversión matemática punto a punto del elipsoide al plano; la fórmula o método que permite realizar ese pasaje dependerá del tipo de proyección utilizada.

De las tres superficies principales de estudio para la representación de la forma de la Tierra, dos de ellas, el elipsoide y el geoide son **Datums**.

**Los Datums geodésicos, definen los sistemas de referencia utilizados para describir la forma y tamaño de la tierra.**

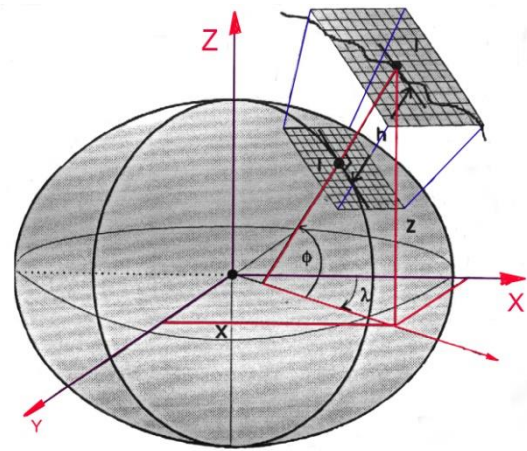
En la historia del hombre por determinar la forma y tamaño de nuestro planeta, o en el afán de las naciones o países en desarrollar la cartografía de una región, se han definido cientos de Datums verticales y horizontales.

Los Datums de la geodesia moderna van desde modelos de la Tierra plana para Agrimensura, Topografía e Ingeniería, hasta modelos complejos usados para aplicaciones internacionales los cuales definen el tamaño, forma, orientación, campo de gravedad y velocidad angular de la Tierra. Mientras que la Cartografía, Agrimensura, Navegación y Astronomía se valen de Datums geodésicos, la Geodesia es la disciplina principal para la definición de este tópico.

Si se pretende referenciar coordenadas geodésicas sobre un Datum equivocado, se puede obtener un error en la posición de cientos de metros. Las diferentes naciones y agencias usan diferentes Datums como base de sus sistemas de coordenadas para definir las posiciones de sus Sistemas de Información Geográfica y mapeos. La diversidad de Datums que se usan en la actualidad y el avance tecnológico en mediciones GPS que permiten obtener precisiones en la posición de centímetros en movimiento, requieren una cuidadosa selección y tratamiento de la información al seleccionar el Datum de trabajo y sus respectivas conversiones.

De la misma manera que existen distintos sistemas de unidades de distancia, (Pies, Yardas, Metros) hay distintos elipsoides o Datums Horizontales. Por ejemplo: La definición de Metro (Siglo 18), determina al Metro como la diez millonésima parte de la distancia entre el polo y el ecuador sobre un elipsoide en particular. Según el elipsoide que utilizamos, habría distintos valores que definen al Metro. Por ello, el hombre posee el Metro Patrón y la nueva definición en base la oscilación de una partícula específica.

Por todo ello, cuando se habla de un Datum, se trata del origen del sistema de referencia que se utiliza.



- Los **Datums Horizontales** se definen por un Elipsoide y se utilizan para determinar un sistema de coordenadas Latitud y Longitud en el Datum de "referencia".
- Los **Datums Verticales** se definen por medio del Geoide y se utilizan para determinar un sistema de referencia para alturas Ortométricas.
- Los **Datums Compuestos** se definen por medio de un Elipsoide y un Geoide asociado para determinar un sistema de referencia donde cada punto se representa por; Latitud, Longitud y Altura (Ortométrica o al Elipsoidica). Este caso, es el que se valen los **sistemas de posicionamiento satelital** como el **GPS NAVSTAR** que utilizan el **Datum WGS84** y **GLONASS** que se referencia sobre el **Datum PZ-90**.<sup>19</sup>

- **La combinacion de coordenadas GPS con otros métodos**<sup>20</sup>

Tanto GPS como GLONASS, proveen técnicas flexibles, altamente eficientes y relativamente económicas para la obtención de coordenadas 3-D de alta precisión. Pero, actualmente se presentan un gran número de inconvenientes cuando se desean combinar posiciones GPS con otras coordenadas terrestres. En particular, este problema se manifiesta comúnmente al querer combinar cotas o al desear uniformar proyecciones planas y no considerar importantes fuentes de error. Cualquier uso o combinación de estas coordenadas con GPS involucra una serie de pasos y cálculos bien definidos que aseguren la integración correcta de los diferentes sistemas. A continuación tratemos brevemente algunos de los aspectos más comunes:

- **El defecto del DATUM**

Los sistemas de posicionamiento satelitales GLONASS y GPS permiten determinar con gran precisión las coordenadas relativas entre pares de puntos, pero no así sus coordenadas absolutas. Tratemos de explicar mejor este concepto: mediante mediciones satelitales realizadas simultáneamente con dos receptores ubicados en dos puntos distantes cientos de kilómetros, podrá determinarse las diferencias entre las coordenadas geodésicas de ambos puntos:

$$\Delta\phi = \phi_a - \phi_b,$$

$$\Delta\lambda = \lambda_a - \lambda_b$$

$$\Delta h = h_a - h_b$$

O equivalentemente, la diferencia entre las coordenadas rectangulares geocéntricas

$$\Delta Y = (Y_a - Y_b),$$

$$\Delta X = (X_a - X_b),$$

$$\Delta Z = (Z_a - Z_b),$$

con precisiones de pocos milímetros. Pero en cambio, las coordenadas absolutas:

$$\phi_a, \lambda_a, h_a,$$

$$\phi_b, \lambda_b, h_b$$

o

$$X_a, Y_a, Z_a,$$

$$X_b, Y_b, Z_b),$$

<sup>19</sup> Proyecto GEO200-SECYT/CONICET U.N.L.P.-Seminario Internacional GPS97. Public. Geosistemas SRL.c/colabor

<sup>20</sup> Proyecto GEO200-SECYT/CONICET U.N.L.P.-Seminario Internacional GPS97. Public. Geosistemas SRL.c/colabor

sólo podrían determinarse con exactitud de metros, o aun decenas de metros.

Lo dicho anteriormente significa que los sistemas satelitales GLONASS y GPS solo permiten acceder al datum (PZ90 o WGS84, respectivamente) con una precisión que es insuficiente para muchas aplicaciones prácticas. La forma habitual de acceder al datum PZ90 o WGS84 es ubicando un receptor en un punto cuyas coordenadas absolutas en dicho datum son conocidas.

Si, por ejemplo, conocemos las coordenadas

$$\phi_a, \lambda_a, h_a \text{ del punto } a,$$

podremos obtener las del b mediante las mediciones haciendo simplemente

$$\phi_b = \phi_a + \Delta\phi,$$

$$\lambda_b = \lambda_a + \Delta\lambda,$$

$$h_b = h_a + \Delta h.$$

En nuestro país, el acceso al datum WGS84 se logra a través de los puntos de la red POSGAR (u otras redes de control que han sido previamente vinculadas a ella). En el caso del ejemplo que hemos propuesto, esto significa que el receptor a debería estar localizado sobre un punto de la red POSGAR

Un problema que se presentaba frecuentemente en la práctica es la necesidad de cambiar las coordenadas expresadas en un datum determinado a uno distinto. Por ejemplo, pasar del datum clásico argentino, Campo Inchauspe 1969, al datum oficial actual, POSGAR 94. La Agencia Cartográfica de defensa (DMA) de U.S.A. ha determinado parámetros de transformación entre WGS84 y más de 150 datums locales de todo el mundo. El DMA provee los parámetros necesarios para efectuar transformaciones aproximadas por los métodos de:

- a) Molodenski.
- b) Regresión múltiple.
- c) Curvas de nivel por latitud y longitud.

Los parámetros de corrección directa (o "Datum Shift") para pasar del Datum WGS84 a Campo Inchauspe, son los siguientes:

$$D_x = + 148 \text{ m}$$

$$D_y = - 36 \text{ m}$$

$$D_z = - 90 \text{ m}$$

Investigaciones realizadas en el país han permitido mejorar la precisión de esta transformación.

### 3. PROYECCIONES CARTOGRAFICA

#### 3.1. Los Sistemas de Proyección Plana:

Con el fin de representar las diferentes características y porciones de la superficie terrestre en un plano, se idearon los sistemas de proyección cartográfica. Los factores más importantes que se tienen en cuenta en la elección de un sistema de proyección son: la finalidad del mapa, la situación geográfica y extensión en longitud y latitud. Cualquiera sea el sistema que se adopte, la representación de toda figura presentará algunas deformaciones, y sólo para algunos puntos aislados se consigue una exactitud absoluta.





Por lo tanto el objetivo de la cartografía es mapear las coordenadas latitud, longitud de un elipsoide en función de puntos  $X$ , e  $Y$ , de un plano. Existen muchos tipos de proyecciones planas, donde algunas son mucho más populares que otras. En principio podemos expresar que:

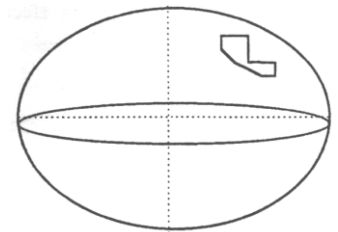
$$X = X(\text{latitud } (\phi), \text{ longitud } (\lambda), a, b)$$

$$Y = Y(\text{latitud } (\phi), \text{ longitud } (\lambda), a, b)$$

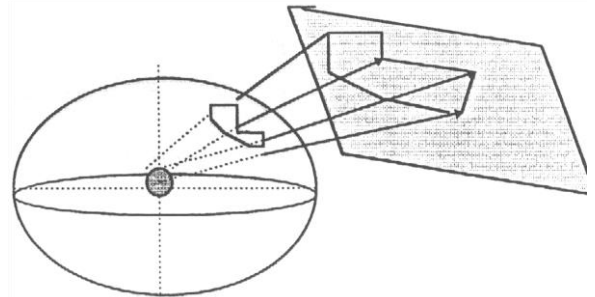
En primer lugar, debemos considerar que un elipsoide no es desarrollable; o sea, no se puede seccionar por una recta y desarrollarlo a un plano. Una superficie cilíndrica SI, puede ser cortada y luego extendida sobre un plano debido a que es desarrollable. Para llevar la figura del elipsoide al plano debemos recurrir a modelos matemáticos de Proyección plana o Cartográfica.

Veamos una forma ilustrativa de ver una proyección:

1) Tenemos la figura del elipsoide sobre la cual figura la superficie de interés o de nuestro estudio, que es la corteza terrestre.



2) Colocamos una pantalla de proyección plana y un foco o lamparilla en el centro de masas terrestres

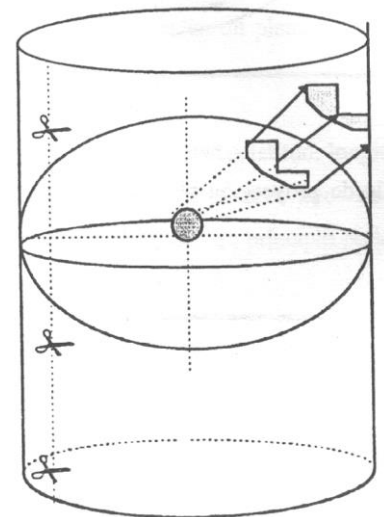


3) Obtendremos una proyección de la Topografía terrestre sobre un plano o mapa. Pero en este caso la figura que obtenemos se encuentra deformada por la proyección.

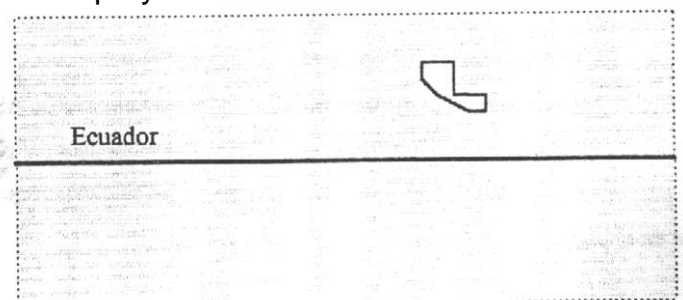
Es inevitable la deformación, al proyectar una superficie no desarrollable al plano. Por ello, deberíamos preguntarnos. Cuál es el tipo de proyección que minimiza los efectos de la deformación en el plano?.

La respuesta estará en no excedernos en el área de la corteza terrestre a proyectar y luego usar una escala en el plano que pueda desprestigiar los efectos de la deformación por proyección.

En el caso del ejemplo ilustrativo, vamos a proyectar la corteza terrestre sobre un cilindro



4) Si luego cortamos el cilindro por una de sus directrices. Obtendremos un mapa o Proyección Cartográfica de la superficie terrestre.



5) La figura seguirá deformándose,

pero en el caso de una proyección cilíndrica como la ilustrada en el ejemplo, sucede lo siguiente: Las distancias en el mapa o plano se hallan distorsionadas por un modulo de deformación (que se conoce matemáticamente). Los ángulos leídos en el plano, se corresponden perfectamente con los reales del terreno, no así las distancias. Por ser un cilindro que envuelve al elipsoide con tangencia en el plano del ecuador, la distancia leída en el plano, salvo y únicamente sobre el ecuador y multiplicadas por el factor de escala del plano no poseen deformación. Este ejemplo representa una Proyección conocida con el nombre de **Mercator**.

**La Proyecciones Cartográficas** representan la superficie topográfica o una porción de la Tierra sobre una superficie plana o mapa. Al realizar cualquier proyección de una superficie elipsoidica al plano, se producen **distorsiones** de las distancias, y/o direcciones y/o área, etc. Siempre que utilizamos una Proyección debemos sacrificar una distorsión, ello dependerá del objetivo a representar o forma de la región a mapear.

Según la distorsión que generan sobre el plano, las proyecciones se clasifican en:

- **Conforme:** Cuando la escala del mapa en cualquier punto del mismo es idéntica en cualquier dirección. Los meridianos (líneas de idéntica longitud) y los paralelos (líneas de igual latitud) se interceptan en el plano en ángulos rectos. Los mapas tipo conformes preservan la forma únicamente cuando se representan en el plano regiones reducidas. Mantienen los ángulos que forman dos líneas sobre la superficie terrestre. Es utilizada sobre todo para cartas de navegación. Sin embargo, en Topografía ha sido muy importante, pues a partir de la medida de ángulos, se hallará la correspondencia entre mapa y realidad.



- **Equidistante:** Cuando mantiene inalterable las distancias leídas desde el centro del mapa a cualquier otro punto o lugar del mapa. Mantienen las distancias entre dos puntos situados en la superficie terrestre. (Distancia automecoicas)



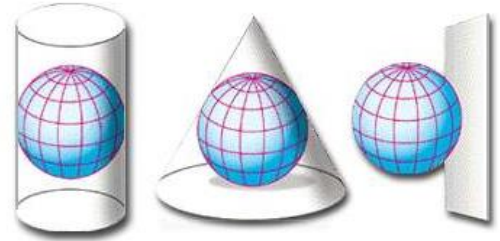
- **Dirección:** Un mapa preserva la dirección cuando los acimutes (ángulos desde un punto sobre una línea a otro punto) se relacionan perfectamente con los reales en todas las direcciones.

- **Equivalentes:** Son aquellas que conservan las superficies (áreas) de terreno, aunque las formas dejen de ser semejantes. Principalmente utilizado en mapas parcelarios. También llamado de **Igual-área:** Cuando todas las áreas o polígonos del mapa poseen la misma proporción con las áreas relacionadas o presentes en la corteza terrestre.



- **Afiláticas:** no conservan ninguna de las propiedades anteriores pero tienen valores tolerables para determinadas zonas.

Otro criterio de clasificación es según la pantalla, o superficie auxiliar de proyección que utilizamos las proyecciones cartográficas:



- **Acimutales:** Se hace un plano tangente al polo sur y se proyectan los puntos. Se necesitan dos proyecciones, una para el hemisferio norte y otra para el sur. Las proyecciones acimutales o cenicas (también llamadas perspectivas), se obtienen proyectando la superficie de globo sobre un plano, desde un cierto centro de perspectiva o punto de vista del cual depende el sistema resultante.

- A continuación se tratan brevemente algunos de los aspectos más comunes (un conocimiento resumido y mínimo).

De acuerdo con la posición del plano, la proyección acimutal puede ser:

**a. Polar.**

Cuando el plano es perpendicular al eje de la tierra. Este sistema es empleado por el Instituto Geográfico Militar para cartografiar la Antártida Argentina e Islas del Atlántico Sur

**b. Ecuatorial o meridiana.**

Cuando el plano es perpendicular al plano del ecuador

**c. Oblicua u horizontal.**

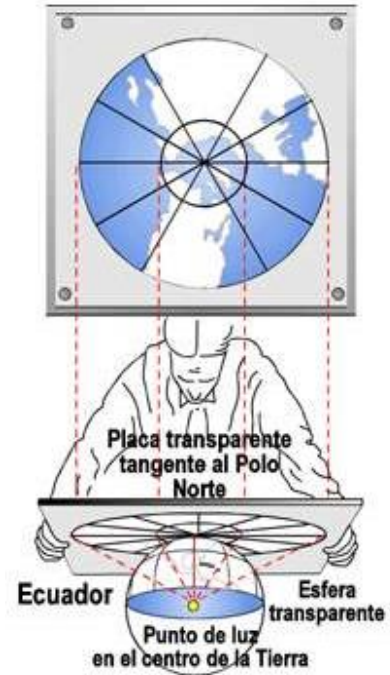
Cuando el plano tiene una posición cualquiera.

De acuerdo con la posición del punto de vista:

CLASIFICACION		NORMAL	TRANSVERSAL	OBLICUO
ACIMUTALES 		Plano tangente en el polo 	Plano tangente en el Ecuador 	Plano tangente en posición intermedia e/ Polo y Ecuador 
POR DESARROLLO	CILINDRICAS 	Cilindro tangente en el Ecuador 	Cilindro tangente según un meridiano 	
	CONICAS 	Cono tangente según un paralelo 		

**a. Proyección gnomónica**

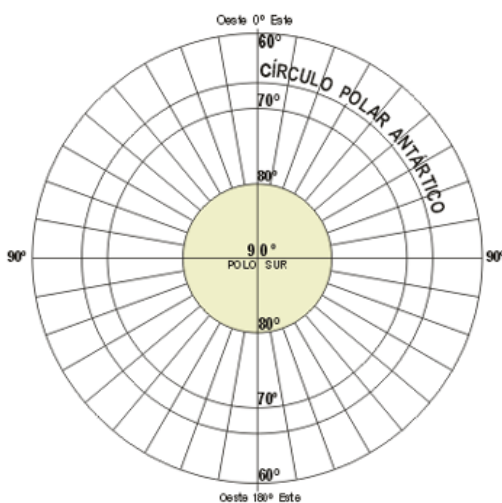
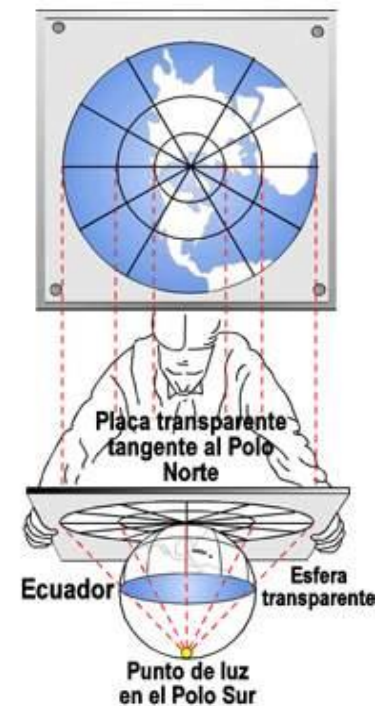
Se llama así a la proyección obtenida proyectando la superficie del globo desde su centro sobre un plano, que puede ser o no tangente a la esfera. La principal ventaja de esta proyección estriba en que todos los círculos máximos determinan planos que pasan por el centro de la esfera y, si se prolongan hasta encontrar el plano de proyección, la intersección de ambos planos será una línea recta. Esta propiedad es de gran importancia en la navegación, por ser la menor distancia entre dos puntos contada sobre el círculo máximo que pasa por ambos.



**b. Proyección estereográfica**

Una de las más valiosas propiedades de esta proyección es que todos los círculos del globo, cualquiera fuere su tamaño, son también círculos en el mapa. Es decir, que todos los paralelos y meridianos aparecen en el mapa como arcos circulares. Esta proyección es conforme, por ser los meridianos perpendiculares a los paralelos, y la proporción de dimensiones resulta exacta para superficies de poca extensión.

**c. Proyección estereográfica polar:** Este sistema es empleado por el Instituto Geográfico Militar para cartografiar la Antártida Argentina e Islas del Atlántico Sur.

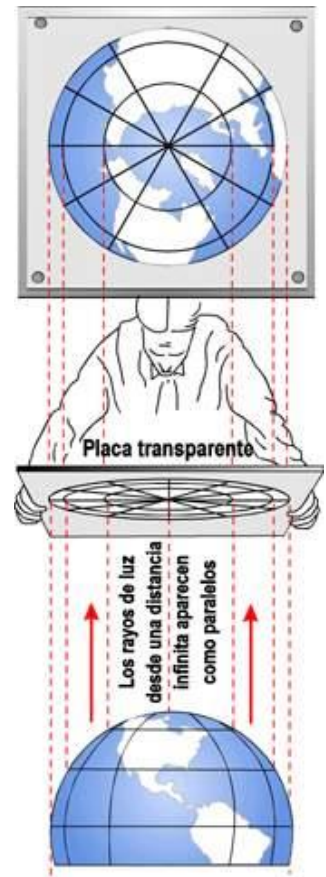


**c. Proyección escenográfica**

La superficie del globo se proyecta mediante rayos paralelos sobre un plano perpendicular a ellos. El punto de vista se encuentra fuera del globo y a una distancia finita.

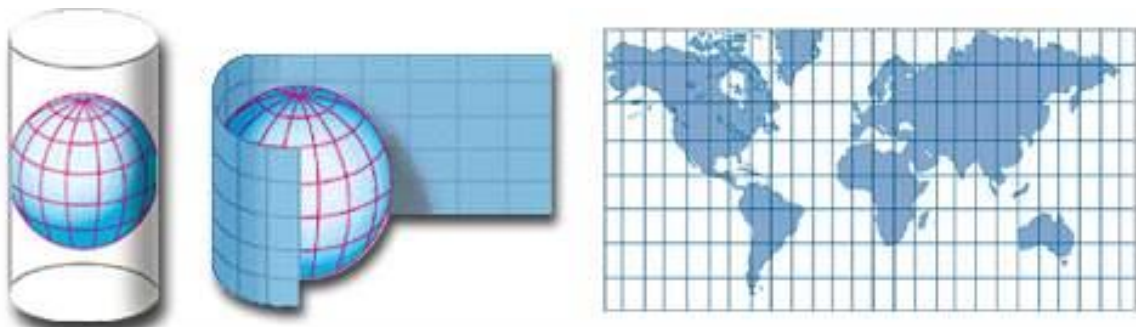
#### d. Proyección ortográfica

La superficie del globo se proyecta mediante rayos paralelos sobre un plano perpendicular a ellos. El punto de vista se encuentra en el infinito. Esta proyección no es conforme ni equivalente y está reducida a la representación del hemisferio. Las distancias quedan acortadas considerablemente hacia los bordes y sólo son verdaderas en los círculos que tienen por dentro el punto de vista de la proyección. La proyección ortográfica oblicua del globo se emplea mucho para fines artísticos y de publicidad, así como en la enseñanza escolar.



- **Cilíndricas:**

Esta proyección supone a la esfera terrestre rodeada totalmente por un cilindro que es la tangente en un círculo máximo, generalmente el ecuador. Siempre son conformes. En el plano resultante de su desarrollo, los meridianos son rectas verticales equidistantes y los paralelos perpendiculares a los meridianos. Es evidente que en este tipo de proyección no pueden estar representados los polos, ya que los meridianos son paralelos entre sí y por lo tanto no se cortan.



Según la posición del cilindro respecto del elipsoide, serán Transversales, Oblicuas, Tangentes, secantes, etc.

Existen distintos tipos de proyecciones cilíndricas (muchas de ellas son modificaciones de esta clase de representación). Entre ellas se destaca, por su empleo, la proyección Mercator.

- La **proyección Mercator** consta de paralelos horizontales y meridianos verticales. Los meridianos equidistantes entre sí están colocados de tal modo que, en el ecuador, esta equidistancia está representada en verdadera magnitud a la escala correspondiente. Los paralelos están dispuestos de tal manera que, en una zona de

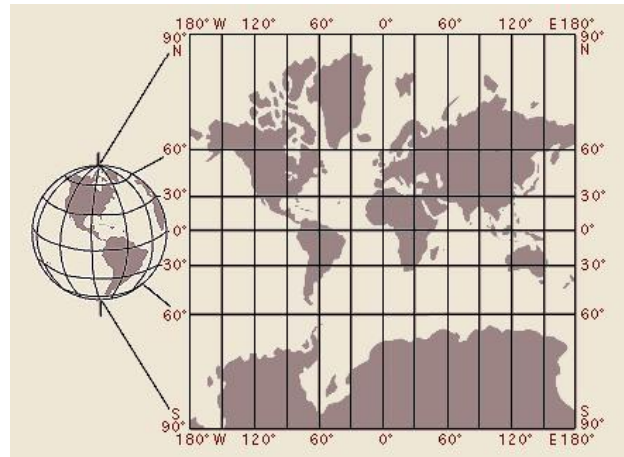
dimensiones relativamente pequeñas, la relación entre dos distancias tomadas respectivamente sobre meridianos y paralelos es igual a la relación entre las longitudes homólogas en el globo terráqueo.

Es una proyección conforme, es decir que, en extensiones reducidas la forma de la superficie representada es igual a la real sobre la Tierra.

Sin embargo, como la escala varía considerablemente, la forma de las grandes extensiones queda muy alterada.

La propiedad más importante la constituye el hecho de que es el único sistema de proyección en que todos los rumbos o loxodrómicas son líneas rectas. Esta cualidad tiene extraordinaria importancia en náutica. Las loxodrómicas son líneas que sobre el globo terráqueo tienen rumbo constante y cortan a todos los meridianos formando ángulos iguales.

La proyección Mercator deforma tanto a las superficies en las latitudes superiores que da lugar a ideas erróneas sobre extensiones y distancias, por lo cual se emplea para representar áreas comprendidas aproximadamente entre los 80° de latitud de ambos hemisferios. Con el objeto de evitar esta anamorfosis, en la representación gráfica de áreas cercanas a esas latitudes existe una variante de la proyección cilíndrica llamada proyección transversa. Dentro de



este tipo de desarrollo, se encuentran la proyección transversa Mercator y la proyección Gauss-Krüger.

- En la **proyección cilíndrica transversa**, el cilindro es tangente a un meridiano en lugar de serlo al ecuador, lográndose con ello una escala verdadera a lo largo del meridiano de tangencia. Por esta razón, mientras que la proyección cilíndrica es más apta para el cartografiado de regiones que se extienden en dirección este-oeste, la proyección cilíndrica transversa se adapta mejor como base para el cartografiado de áreas que se extienden en dirección norte-sur.

- **UTM (Mercator Transversa Universal)** - se divide en zonas con distintos cilindros y proyecciones para minimizar las distorsiones, es una modificación de la proyección transversa).

La proyección *Mercator Transversal* o *UTM* (Mercator Transversal Universal) divide a la esfera terrestre en 60 zonas o fajas, numeradas de Este a Oeste desde el meridiano de 180°, entre los 84° de latitud Norte y



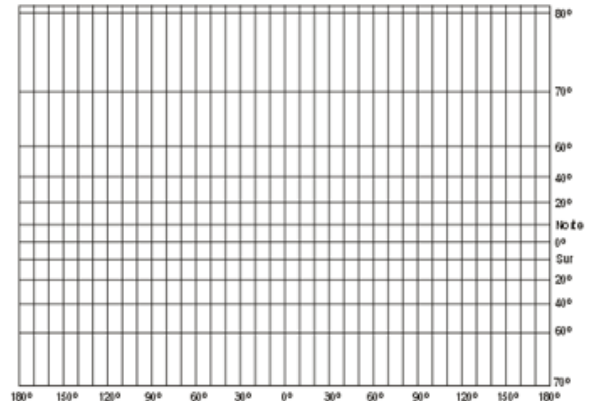
los 80° de latitud Sur.

Cada meridiano central se afecta de un factor de escala con un valor de 0.9996 (la razón de aplicar este factor, es de minimizar la deformación o distorsiones al alejarse del meridiano central).

Cada faja de la grilla UTM mide 6° de ancho (longitud) por 164° de largo (latitud) y tiene como propio origen la intersección del ecuador con el meridiano central de la faja.

Con el objeto de evitar coordenadas negativas, se le asigna al meridiano central de cada faja el valor arbitrario de 500.000 metros, en tanto se asigna al ecuador el valor de cero metros para el hemisferio Norte y 10.000.000 metros para el hemisferio Sur. La numeración de las zonas comienza con M1 para el meridiano central  $\lambda_0 = 177^\circ W$ , y continua con M2 con meridiano central =  $171^\circ$ . De esta manera el meridiano central  $\lambda_0 = 3^\circ W$  corresponde a la zona M30.

Este sistema de proyección es empleado por las fuerzas armadas norteamericanas para la confección de cartografía.<sup>21</sup>

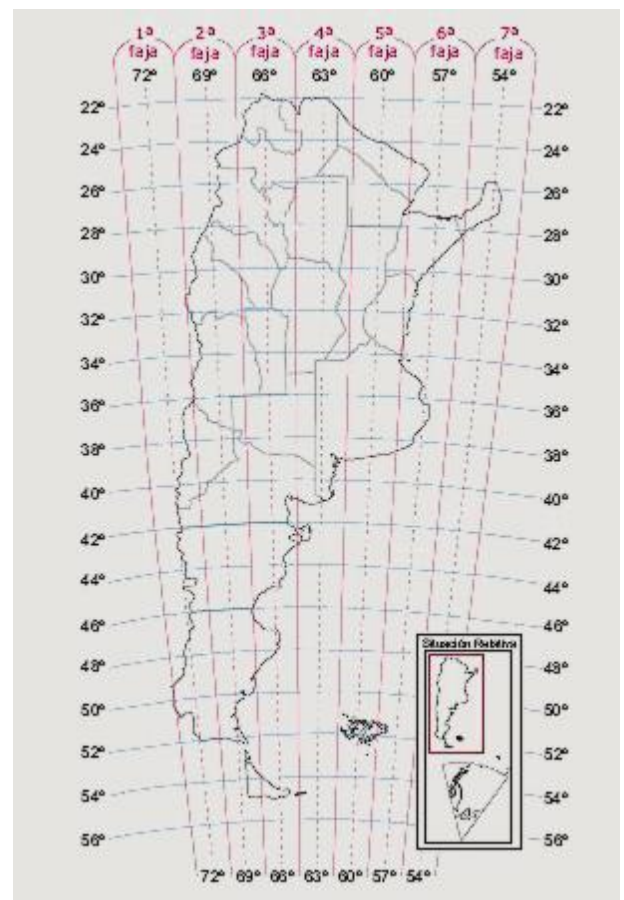


### 3.2. Gauss – Krügger

Los sistemas de proyección utilizados por nuestro país y empleado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) es la proyección GAUSS-KRÜGER para la confección de las cartas topográficas nacionales, divide a la República Argentina (sector continental e Islas Malvinas) en 7 fajas meridianas de Oeste a Este.

Cada faja de la grilla Gauss-Krüger mide 3° de ancho (longitud) por 34° de largo (latitud) y tiene como propio origen la intersección del POLO SUR con el meridiano central de cada faja. Al igual que en la proyección utilizada en otros países, la UTM (Mercator Transversal Universal), y con el objeto de evitar coordenadas negativas, se le asigna al meridiano central de cada faja el valor arbitrario de 500 000 metros y al POLO SUR el valor de cero metros.

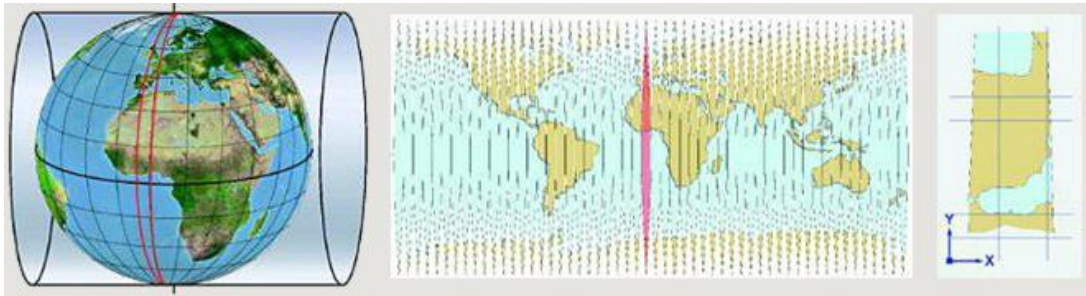
Cabe señalar que en esta proyección el origen de las ordenadas "X" es el POLO SUR y son positivas hacia el ECUADOR.



<sup>21</sup> Ref.: Atlas Geográfico de la Rep. Arg. IGM – 2000

Su valor expresa la distancia en metros del polo al punto, según la dirección del meridiano central de faja a la cual pertenece el punto. El origen de las abscisas “Y” es el meridiano central de cada faja.

Faja Meridiana	Meridiano Central de Faja	Meridiano Límite de Faja
1	-72°	-73° 30', -70° 30'
2	-69°	-70° 30', -67° 30'
3	-66°	-67° 30', -64° 30'
4	-63°	-64° 30', -61° 30'
5	-60°	-61° 30', -58° 30'
6	-57°	-58° 30', -55° 30'
7	-54°	-55° 30', -52° 30'

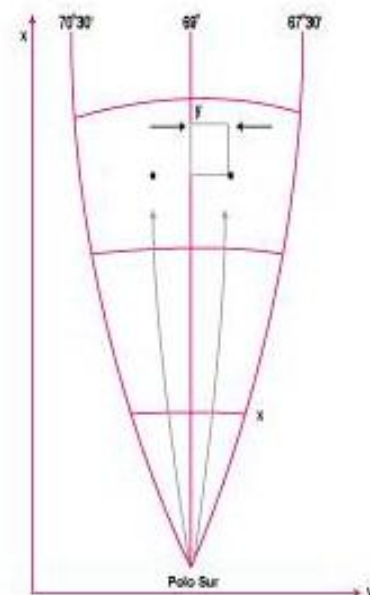


Debemos resaltar que muchos acostumbran a mal llamar Gauss-Krüger a coordenadas Latitud y Longitud geodésicas, cometiendo un error grosero. **Las únicas coordenadas Gauss-Krüger son aquellas en el formato de X e Y**, que se obtienen de transformar matemáticamente las coordenadas geodésicas Latitud y Longitud de un Datum.

Actualmente, los catastros mineros y Provinciales de nuestro país utilizan coordenadas geodésicas con Datum de la red del IGN **WGS84 que se derivan de la red POSGAR**, antiguamente en Campo Inchauspe.

Estas coordenadas son transformadas a Gauss-Krüger para su representación en el plano. Por lo tanto, para hablar con propiedad, deberíamos considerar:

1. Las coordenadas de latitud y longitud geodésicas de nuestro país se hallan en un Datum determinado (los más usados WGS84 antiguamente en Campo Inchauspe).
2. Las coordenadas Gauss-Krüger se obtienen luego de transformar coordenadas geodésicas Lat. y Long. en un Datum determinado.
3. **Solo las coordenadas X, Y pueden ser Gauss-Krüger.**



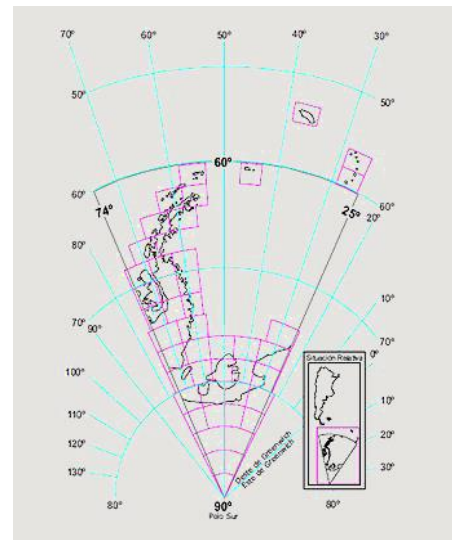
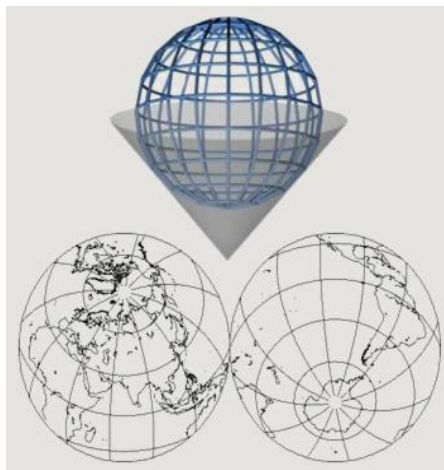


Para identificar de donde se derivan las coordenadas planas, podemos decir: Gauss-Krüger WGS84 o también se encontrarán Gauss-Kruger Campo Inchauspe.

En Gauss-Krüger el cilindro desarrollable; que se abre para formar un plano; es tangente a un meridiano central y sin factor de escala (Factor de escala = 1). Debido a que es una proyección del tipo conforme, los meridianos y paralelos que se proyectan al plano forman ángulos de 90° (ortogonales entre ellos). En el plano, el eje con dirección al norte o meridiano central se reconoce como eje **X**, mientras que el eje en sentido de los paralelos se conoce como eje **Y**.

Para la Antártida Argentina e Islas del Atlántico Sur se utiliza la proyección **Estereográfica Polar**. En este sistema la superficie del globo se proyecta sobre un plano desde el punto antípoda al centro del mapa. Una de las valiosas propiedades de ésta es que “todos los círculos del globo, cualquiera fuese su tamaño, también son círculos en el mapa; es decir que todos los paralelos y meridianos aparecen como arcos circulares”.

Esta proyección es cónica, por ser los meridianos perpendiculares a los paralelos, y la porción de las dimensiones resulta exacta para superficies de poca extensión.



### 3.3. Coordenadas Planas

En las cartas, los meridianos y paralelos están representados por líneas curvas, con excepción del Ecuador y del meridiano central, que lo son por líneas rectas (como en casi todas las proyecciones).

A medida que se alejan de estos dos últimos, el grado de curvatura de la representación aumentará, por lo que resultará difícil calcular la distancia y la dirección exacta entre dos puntos de una carta que tenga solamente dichas rectas o curvas.

En las “**CARTAS TOPOGRÁFICAS**”, de extensión limitada y cuyo valor máximo de deformación (que es despreciable) es conocido, se aplica un cuadrículado de 4 centímetros de lado a cualquier escala, mediante el cual, es fácil calcular las distancias y ángulos y fijar puntos por sus coordenadas planas X e Y.

Las cuadrículas de las cartas topográficas corresponden a distintas distancias del terreno, según sea su escala y aumentan o disminuyen en distintas progresiones a saber:

Escala 1: 50 000 = 2 Km (progresión 2)

Escala 1: 100 000 = 4 Km (progresión 4)

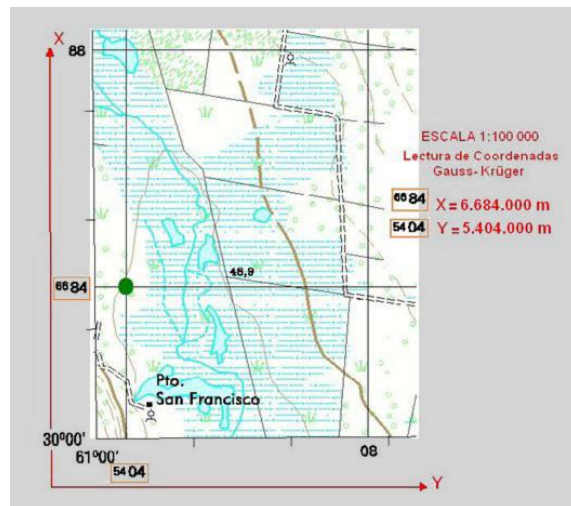
A las coordenadas Gauss-Krüger se las denomina también “**Coordenadas de Cuadrícula**”, por ser el cuadrículado el que hace mención en el párrafo anterior, la base en que se apoya el sistema de proyección plana conforme Gauss- Krüger.

Cada una de las 7 fajas meridianas de 3° de ancho que se ha dividido el país tiene como origen cero (0) de los valores de la abscisa “X” el Polo Sur y para los valores de ordenadas “Y”, el meridiano central de faja.

En forma inversa que la matemática, en topografía se llama abscisa “X” a la distancia tomada desde el origen del punto, sobre el eje vertical; y ordenada “Y” a la distancia tomada desde el origen del punto sobre el eje horizontal.

Para evitar el signo negativo de los valores “Y” situados al Oeste **del meridiano central de cada faja (MCF)** ya que las ordenadas aumentan hacia la derecha, se asigna convencionalmente se asigna a cada meridiano central el valor 500 000 en vez de la ordenada “Y”= 0, anteponiéndole el número correspondiente a cada faja . Se tendrá entonces:

Meridiano	Ordenada
72° 1ra. Faja	"Y" 1.500.000
Meridiano	Ordenada
69° 2da. Faja	"Y" 2.500.000
Meridiano	Ordenada
66° 3ra. Faja	"Y" 3.500.000
Meridiano	Ordenada
63° 4ta. Faja	"Y" 4.500.000
Meridiano	Ordenada
60° 5ta. Faja	"Y" 5.500.000
Meridiano	Ordenada
54° 7ta. Faja	"Y" 6.500.000
Meridiano	Ordenada
57° 6ta. Faja	"Y" 7.500.000



De acuerdo a lo expuesto, en los valores de las “Y” la primera cifra numérica expresa la faja a la cual pertenece el punto considerado, la cifra siguiente, la ubicación del punto. Si ésta es mayor de 500 000 el punto estará a la derecha del, meridiano, y si es menor a la izquierda. En este caso que se ejemplifica un punto ubicado la izquierda donde la coordenada plana **Y= 5.404.000 metros.**<sup>22</sup>

Otro ejemplo de localización de un punto<sup>23</sup>

**Si punto P tiene las siguientes coordenadas**

X = 6.000.053

Y = 5.500.000

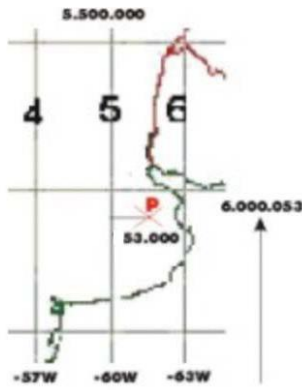
Significa que el punto P se halla a 6.000.053 metros del Polo Sur

Por otra parte, se halla sobre el eje del Meridiano central de la faja 5 que corresponde el meridiano -60°.



<sup>22</sup> IGN. Sistema de proyecciones cartográficas

<sup>23</sup> Mercedes Frassia. Entendiendo la proyección de los mapas



**Si punto P tiene las siguientes coordenadas**

$X = 6.000.053$

$Y = 5.053.000$

Significa que el punto P se halla a 53.000 (5.653.000 - 5.500.000) metros al Este de la proyección del Meridiano central de la faja 5

**Si punto P tiene las siguientes coordenadas**

$X = 6.000.053$

$Y = 5.053.000$

Significa que el punto P se halla a 40.000 (5.653.000 - 5.500.000) metros al Este de la proyección del Meridiano central de la faja 5.



### 3.4. Problema de proyección plana, o grilla

Como hemos visto siempre que se trabaje con un sistema de proyección cartográfica se sufre deformaciones de orientación y/o escala según sea la proyección utilizada. Algunas proyecciones poseen propiedades específicas que las hacen particularmente útiles para determinadas aplicaciones.

Por ejemplo, en Argentina que se utiliza la **proyección Gauss-Krüger**, que se basa en una Mercator Transversa con la propiedad de ser "conforme" (mantiene sin deformaciones las representaciones angulares; pero no las relaciones lineales y de áreas). Así, las longitudes sufren una deformación de escala a medida que se alejan del meridiano central de proyección y dependiendo de la longitud en que se encuentre. La solución a este problema para una proyección Mercator Transversa es la correcta aplicación de reducciones de arco a la cuerda.

Veamos un ejemplo muy común, en nuestro medio al momento de trabajar con GPS y métodos Topográficos convencionales.

- *Un equipo de medición, necesita dar coordenadas a una obra lineal, de 90 km. de longitud, (imaginemos una carretera o un gasoducto) que se orienta de Este a Oeste. Por tratarse de una zona desértica, no hay puntos base de control cercanos, por lo que se solicita dejar dos puntos GPS al inicio y al final del recorrido de la línea. Para ello se realizó una red GPS, que vinculada a puntos de primer orden de la región, permitió establecer coordenadas a dos puntos de arranque de la obra lineal y dos puntos de cierre. La empresa que materializó los puntos GPS, entregó las respectivas coordenadas de los puntos en el siguiente formato: Lat, Long y H elipsoidica en WGS84 - Lat, Long y H elipsoidica en el Datum local y coordenadas de Proyección (Por ejemplo, tratemos Gauss-Krüger) X e Y.*
- *Una segunda empresa, inicia una poligonal orientando su estación total topográfica (5" de precisión angular y 2 km. de alcance con 5 mm + 3 ppm) con los dos puntos GPS de arranque. Para ello, estacionó el instrumento sobre uno de los*

puntos GPS y orientó el azimut de su Estación Total con el segundo punto GPS mediante las coordenadas X, Y Gauss-Krüger provistas. Realizan una poligonal de 90 km de longitud con mas de 100 lados. Pero, al llegar a los puntos de cierre GPS se encuentran con un error de cierre de mas de 120 metros. La flecha de error de la poligonal, supera las tolerancias de una poligonal de estas características.

- Donde se encuentra el problema, de semejante error de cierre ????. Habrá que volver a medir la poligonal, antes de realizar cualquier compensación ???
- **SOLUCION:** Seguramente, un error de cierre tan grosero, se debe a no haber considerado la proyección Gauss-Krüger de los puntos de arranque. Toda la poligonal se debe ajustar y llevar a la proyección de trabajo. Para ello se deberá:
  - A) Reducir todas las distancias medidas a Nivel del Mar
  - B) Realizar la corrección lineal por agrandamiento relativo.
  - C) Corrección angular por reducción del arco a la cuerda.

Luego de realizar la corrección de la poligonal a proyección, la flecha de error o error de cierre quedo en 70 cm. Siendo un error de cierre, muy bueno para semejante longitud, cumpliendo ampliamente con las tolerancias de poligonal topográfica.

- Este problema y sus fórmulas de corrección dependerán del sistema de proyección local. Se sugiere que el operador consulte la bibliografía específica sobre el tipo de corrección que corresponde para una proyección en particular.

A continuación describimos brevemente los **pasos y cálculos a realizar para reducir correctamente las mediciones topográficas a Proyección Gauss-Krüger**, y de esta manera, poder ser compatibilizadas con observaciones GPS o GLONASS en la misma Proyección Gauss-Kruger.

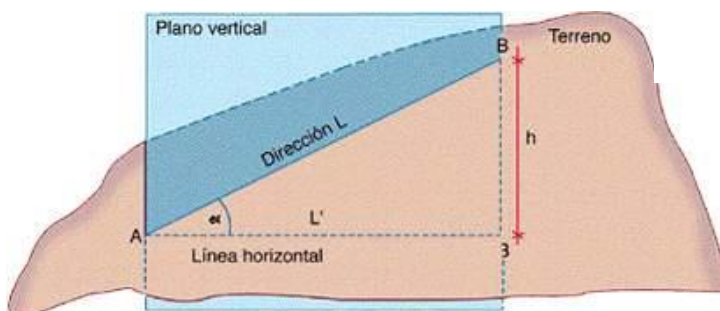
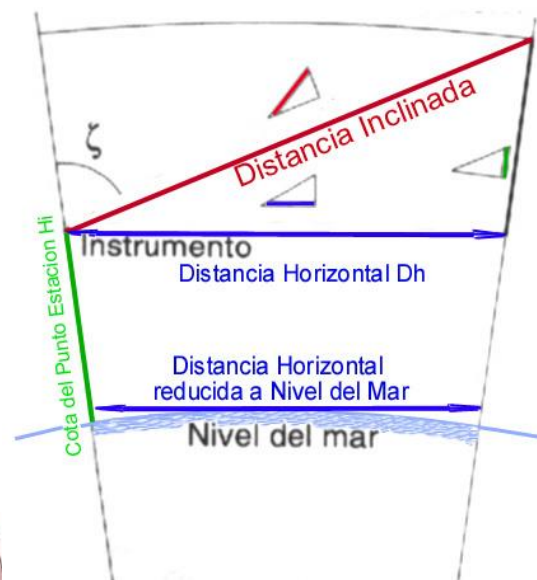
**a) Reduccion al Nivel del Mar:**

Sea:

$D_h$  = Distancia horizontal medida por electrodistanciómetro

$H_1$  = Es la altura al nivel del mar donde se estaciona el distanciómetro.

$R_T$  = Radio de la Tierra = ~ 6.378.000 metros.



**Dist. corregida a nivel del mar =  $D_H - (H_1 \cdot D_H / R_T)$**

Por todo esto, no debemos olvidar la altura o cota en la que se desarrollan nuestras mediciones topográficas y que luego se pretenden ligar o mezclar con observaciones GPS o GLONASS.

**b) Corrección Lineal por Agrandamiento Relativo**

Si tenemos los datos de observaciones topográficos (ángulo y distancia) que se pretenden unificar con observaciones y resultados de posicionamiento satelital a un sistema Gauss-Krüger, debemos ser conscientes que la distancia medida en el terreno se debe reducir según el módulo de agrandamiento lineal.

La distancia horizontal medida con una cinta o con Estación Total taquimétrica, se debe multiplicar por el factor de corrección lineal de la proyección Gauss-Krüger. Este módulo de corrección también se conoce como **agrandamiento relativo**.

$$m = 1 + [(y' ^2) / (2 \cdot R_T^2)]$$

Donde:

m = es el módulo de agrandamiento relativo.

La unidad de millones de Y en Gauss-Krüger es el número de la faja.

y' = Y- (N° Faja x 10<sup>6</sup> +MCF), es el número que resulta de quitar al valor de Y el meridiano central de faja (MCF=500.000). Por tratarse de una corrección a distancia, existen dos puntos y con ello dos valores de y', por cada uno (y''<sub>1</sub>, y''<sub>2</sub>). Se aconseja utilizar y' como el valor promedio que resulta del promedio aritmético entre y''<sub>1</sub> e y''<sub>2</sub>.

R<sub>T</sub> = Radio terrestre.

Para reducir la distancia medida a Proyección (Gauss-Krüger):

**Dist. en G-K = (Dist. Horizontal a nivel del mar) x m**

En caso de establecer una poligonal cerrada con puntos X, Y Gauss-Krüger de arranque y cierre, cada una de las distancias medidas en el terreno se deben multiplicar por el módulo m.

**c) Correccion Angular por Reduccion Arco a la Cuerda**

El ángulo elipsoidico, difiere del ángulo en G-K. La corrección para pasar de uno a otro dependerá de la ubicación a izquierda o derecha del meridiano central de tangencia en Gauss-Krüger, según se representa en el siguiente gráfico

La expresión que permite computar la reducción es:

$$\alpha_i = \rho'' \cdot [(\Delta x_i \cdot y'_i) / (2 \cdot R_T^2)]$$

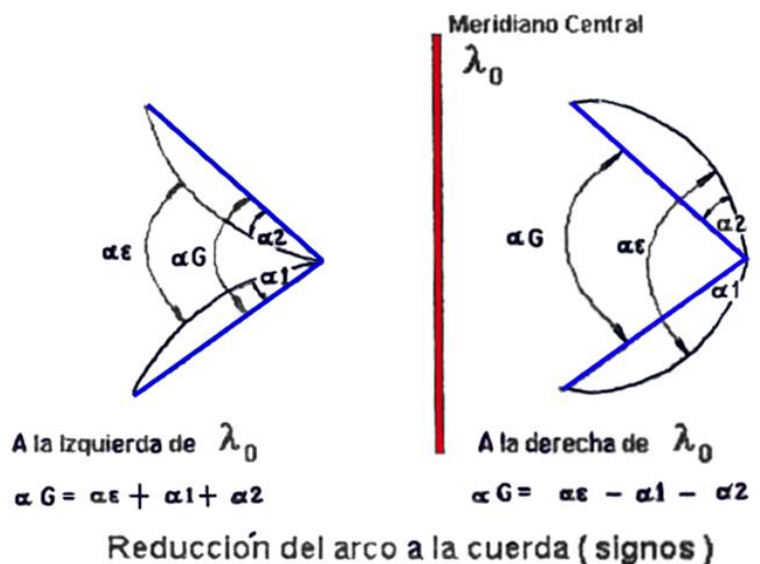
Donde:

$\rho'' = 206264,8063$

R<sub>T</sub> = Radio Terrestre

$\Delta x_i$  = Diferencia de coordenadas en X

y'<sub>i</sub> = Promedio aritmético de las coordenadas Y sin la unidad de millón y MCF  
 $(y''_1 + y''_2) / 2 - (n^\circ \text{ Faja} + \text{MCF})$



Luego de calcular  $\alpha_i$  y según la posición del ángulo a izquierda o derecha del meridiano central, se computa el ángulo en el plano, según:

A la izquierda del meridiano:

$$\alpha_G = \alpha_\varepsilon + \alpha_1 + \alpha_2$$

A la derecha del meridiano:

$$\alpha_G = \alpha_\varepsilon - \alpha_1 - \alpha_2$$

Donde:

$\alpha_\varepsilon$  = Angulo elipsoidal

$\alpha_G$  = Angulo al plano en G-K

$\alpha_1$  = Corrección angular por reducción arco a la cuerda para el lado 1.

$\alpha_2$  = Corrección angular por reducción arco a la cuerda para el lado 2.

### **Cálculo de una Poligonal en Gauss-Kruger:**

Ahora, que se han revisado los aspectos de conversión de datos topográficos a proyección para la integración de datos GPS o GLONASS, con otras fuentes en un mismo idioma (todos los datos de proyección Gauss-Kruger u otra proyección cartográfica plana), podemos ver el caso concreto de ajuste de una poligonal y su traspaso a coordenadas Gauss-Krüger.

Los pasos a seguir, son:

1. Convertir los ángulos medidos en acimutes (Recordar que se parte de puntos en X, Y Gauss-Krüger).
2. Reducir todas las distancias horizontales medidas a nivel del mar.
3. Realizar la corrección lineal por agrandamiento relativo a todas las distancias medidas de los lados de la poligonal.
4. Computar la corrección angular por reducción del arco a la cuerda.
5. Realizar el ajuste angular y cierre como en cualquier poligonal.

### **4. EL PROBLEMA DE LAS ALTURAS ELIPSÓIDICAS**

La aplicación del sistema GPS o GLONASS en la determinación de coordenadas geodésicas y su transformación a coordenadas planimétricas en topografía es una técnica que permite obtener, rápidamente, la posición de un punto (por método diferencial, con precisión de centímetros en el caso de receptores geodésicos). La determinación de la altitud ortométrica con la misma precisión, no es inmediata debido al desconocimiento de la altitud geoidal (diferencia entre elipsoide y geoide en un punto dado).

Anteriormente comentamos las diferencias entre Datums horizontales y Datums verticales. Los puntos de nivelación (ortométricos) o de cota conocida se hallan referidos a un Datum vertical (Geoide). En el idioma de todos los días decimos que un punto de cota conocida, se halla referido al nivel del mar. Esto podría ser cierto en términos generales ya que el geoide aproxima la superficie del nivel medio del mar. En Argentina las cotas ortométricas poseen su referencia o cero en el mareógrafo de la Ciudad de Mar del Plata. La línea que materializa la Normal al geoide para un punto de la corteza terrestre se denomina Vertical del Lugar. "La cota ortométrica de un punto es la distancia que posee la vertical del lugar entre dicho punto de la corteza terrestre y el geoide".

- **Modelo Geoide Argentino GEOIDE-Ar 16**

Si la Tierra fuera plana, podríamos definir la altura de un punto P, como la longitud de la línea normal a un plano de referencia que pase por el punto P. Esta definición, posee mucho de común con la determinación de cotas por método trigonométrico.

En esta definición de altura o cota, se definen tres elementos; la línea ortogonal al plano de referencia que pasa por el punto en cuestión; la superficie o plano de referencia y como tercer elemento la longitud de la línea entre el punto y el plano.

Lógicamente, la Tierra no es plana y esta definición de alturas está muy lejos de ser útil; sobre todo, si consideramos aplicaciones regionales o globales (los sistemas de posicionamiento satelital, son globales).

Dependiendo de los tres elementos que definen la altura, obtendremos distintos sistemas de altura. En particular nos interesan, el sistema adoptado por la geodesia para determinación global de cotas y el sistema utilizado desde el comienzo de la era satelital; altura ortométrica y elipsoidal, respectivamente.

La geodesia, históricamente, utilizó componentes verticales y horizontales que se determinan por métodos y formas independientes para cada punto de la corteza terrestre. Las técnicas satelitales permiten abordar la ubicación de un punto en el espacio en forma de tres coordenadas y tiempo. El posicionamiento satelital, posee la enorme ventaja de valerse de un único método e instrumental para lograr obtener componentes horizontales y verticales (coordenadas 3D).

En el pasado, para determinar alturas con precisión se utilizaba; y se seguirán utilizando niveles ópticos con miras de invar. El procesamiento de los datos entregados por el nivel óptico (nivelación geométrica), entregan como resultado alturas ortométricas. La era espacial, mediante satélites (GPS o GLONASS), incorpora un nuevo tratamiento de las cotas, mediante la altura elipsoidal.

El sistema de posicionamiento satelital nos brinda la altura del observador (antena del receptor satelital) respecto de un elipsoide (WGS84 para GPS y elipsoide PZ90 en el caso de GLONASS). **Una "cota elipsoidal, para un punto de la corteza terrestre, es la distancia entre dicho punto y el elipsoide, medida sobre la normal a este que pasa por dicho punto".**

Así, las observaciones GNSS/GPS no permiten obtener directamente diferencias de cota en el sentido corriente. Por ejemplo: **entre dos puntos de igual altura elipsoidal puede llegar a escurrir agua, desde uno de ellos hacia el otro.** Jamás ocurriría este fenómeno físico con cotas ortométricas iguales. Sin embargo, las alturas usuales, alturas sobre el nivel del mar, o alturas ortométricas, se hallan ligadas a las alturas elipsoidales por la siguiente relación:

$$N = h - H$$

Donde:

h = Altura elipsoidal de una estación GPS.

H = Altura ortométrica del mismo punto obtenida por nivelación geométrica.

N = Diferencia entre elipsoide y geoide en el punto.

Sabemos que el **geoide es una superficie del campo de gravedad de la Tierra que se puede aproximar al nivel medio del mar.** Se lo define como "una de las

**superficies equipotenciales del Potencial de Gravedad de la Tierra, de la cual la superficie (media) de los océanos forma parte"** (Hofmann-Wellenhof y Moritz 2006, p. 1). Esto significa que la superficie del geoide es perpendicular al vector de gravedad en todos los puntos. El geoide, comúnmente conocida como la figura de la Tierra, no es una superficie regular. Esta irregularidad está altamente correlacionada con la distribución no homogénea de las masas de la Tierra. La falta de uniformidad de la masa es una consecuencia de la morfología (es decir, montañas, valles, llanuras, etc.) y la composición interna de la Tierra (es decir, la variación en la densidad de la corteza interior). Por lo tanto, un geoide también se puede aplicar para inferir el grado de homogeneidad (o la falta de homogeneidad) de la distribución de masas de la Tierra desde la medición de las fluctuaciones gravitacionales.

EL **GEOIDE-Ar 16**<sup>24</sup> se ajustó al Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 2007 y al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16) a partir de la determinación de una superficie correctiva calculada mediante el método clásico de transformación de 4 parámetros (para computar la superficie de tendencia) y una colocación por mínimos cuadrados (para estimar los residuos). La precisión de GEOIDE-Ar 16 se evaluó mediante 1.904 puntos de nivelación observados con GPS doble frecuencia. Los desvíos estándar de las diferencias entre la ondulación geoidal derivada de los puntos GPS-nivelación y las ondulaciones del nuevo modelo de geoide son menores a 0,05 m. Asimismo, la exactitud estimada del modelo GEOIDE-Ar 16 es 0,25 m, mientras que su precisión relativa para las líneas base con una longitud menor a los 500 km es de aproximadamente 0,10 m (para el 91% de los casos).

Para puntos muy cercanos entre sí y en zonas muy llanas la diferencia de alturas entre dos puntos con datos elipsóidicos debería coincidir con la diferencia entre cotas ortométricas. Esto se debe a que bajo esas condiciones  $N$  debería ser constante (no así, en zonas extensas o montañosas). Así, las mediciones GPS en áreas "pequeñas" y "muy llanas" podrían brindar el dato de desnivel entre los puntos con bastante aproximación a la realidad. Por ello las cotas obtenidas con GPS, son otro punto importante a tener en cuenta en el momento de validar y reducir coordenadas a un sistema común.

## 5. NIVELACION GEOMETRICA Y COTAS ORTOMETRICAS

Para la nivelación topográfica se utiliza el nivel óptico, que basa su funcionamiento en sistema de antejo telescópico que se orienta mecánicamente sobre un plano normal (transversal) a la línea de plomada o gravedad local, mediante una burbuja o sistema compensador por prisma. Al mirar a través del telescopio, se materializa una visual sobre un plano de nivel local, para luego tomar lecturas sobre una regla de graduación de alta precisión, que se verticaliza sobre cada punto a medir. El sistema de nivel óptico, es preciso para aquellas distancias o radio de trabajo que no supere 3 veces el aumento del antejo en la distancia (radios de trabajo que no superen los 100 metros).

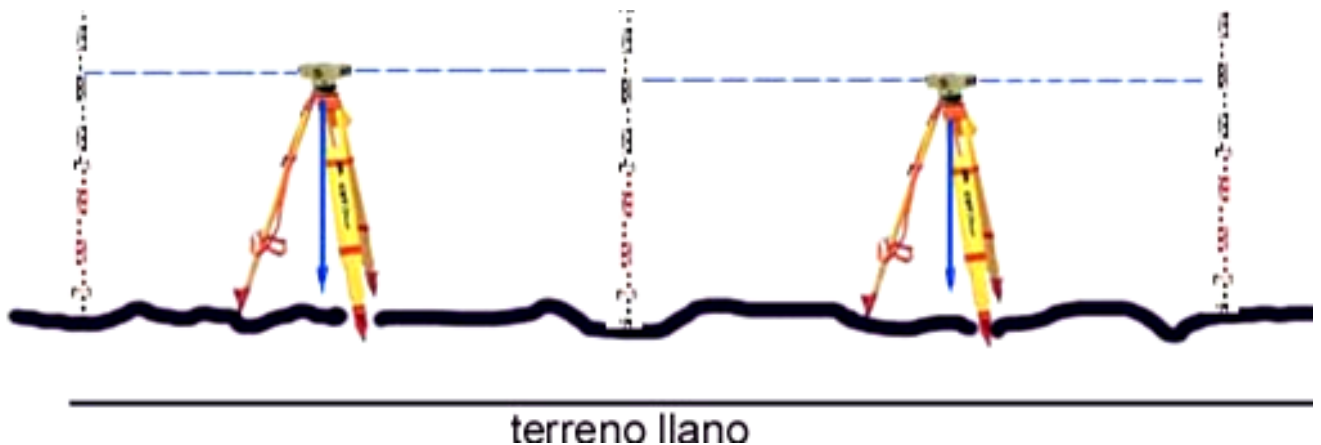
---

<sup>24</sup> IGN – Geodesia - Geoide-Ar16

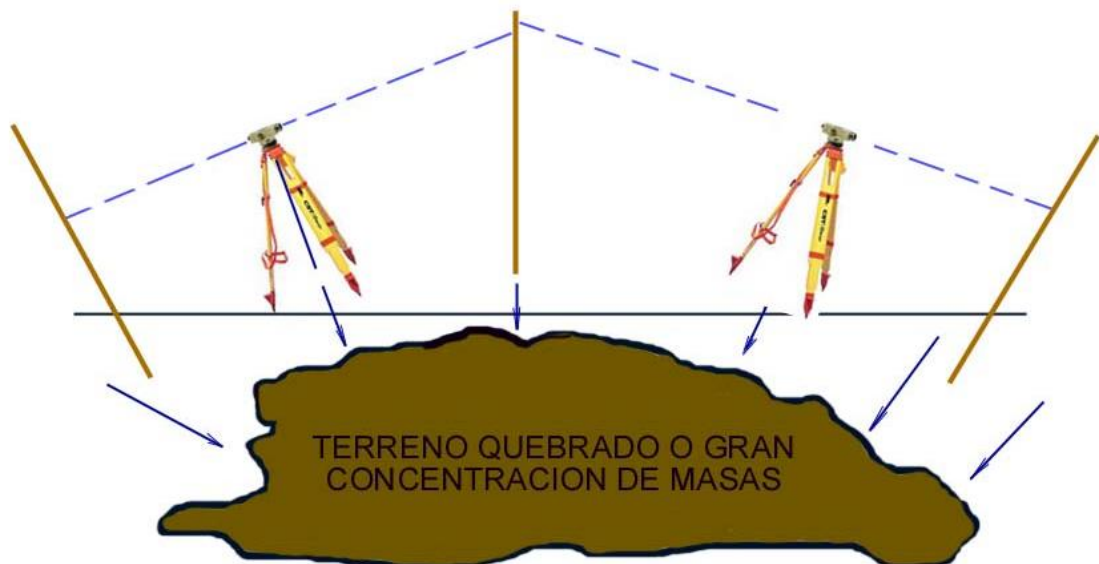


Al tomar la lectura a la mira sobre dos puntos, se pueden restar los valores leídos en cada una de ellas para obtener el desnivel entre los dos puntos de mira. Este procedimiento es conocido en topografía y geodesia como nivelación geométrica.

En el gráfico se pretende representar que la diferencia de nivel entre dos puntos, no solo depende de la relación geométrica de la superficie del terreno, sino también, de la variación local en la dirección de la línea de la plomada o gravedad. Este gráfico muestra el procedimiento de nivelación sobre una topografía de llanura.



El próximo gráfico, representa la misma nivelación geométrica, realizada sobre terreno montañoso, en la que se exagera la diferencia obtenida en la nivelación debido a la gran cantidad de masa concentrada que induce a variaciones en los valores de gravedad.



Hay que destacar, que la variación de la gravedad entre puntos muy cercanos, no solo afecta a la línea de bisección del instrumento, sino también, la verticalización de las miras graduadas para la lectura.

Las variaciones del campo gravítico terrestre se deben a dos tipos de fuentes:

- La primera es el relieve topográfico.

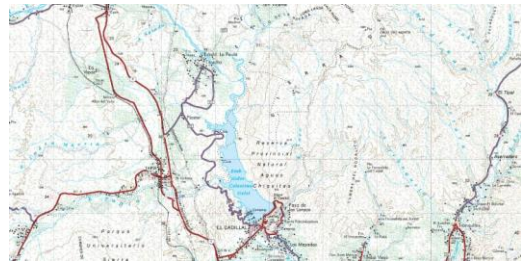
- En segundo término, la formación geológica de la corteza terrestre cercana a la superficie.

Las líneas materializadas por la bisección del anteojo de un instrumento de nivelación o nivel óptico generan sucesivos planos tangentes al campo gravítico terrestre, en el mismo lugar donde se estaciona el instrumento. Las superficies de nivel de campo de gravedad de la Tierra, se pueden describir como aquellas superficies donde los líquidos permanecen en estado de equilibrio (ver geoide), o también podríamos describirlas como, las superficies que se pueden cuantificar por el principio físico de igual potencial (equipotenciales de gravedad). Al medir diferencias de nivel, se determinan diferencias entre campos equipotenciales que se calculan junto a los valores de gravedad. Las alturas que se determinan de este modo se conocen como alturas ortométricas (H). Las alturas ortométricas, tienen su origen en una superficie equipotencial en particular, coincidente con el nivel medio del mar llamada geoide.

Hay que destacar, que el elipsoide no se necesita, en ningún momento, para obtener alturas ortométricas. Si se entiende la diferencia entre altura elipsoidal y ortométrica, podemos seguir; avanzando con la obtención de alturas con GPS o GLONASS.

## 6. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

El **IGN** es el organismo nacional responsable de elaborar y actualizar la cartografía básica del territorio argentino. Para ello produce documentos cartográficos de acuerdo a normas técnicas establecidas y mediante procesos directos de medición de la superficie terrestre. Por generalización de la información topográfica contenida en la **Cartografía** básica y/o procesos de adición de otros datos, se obtiene el "Mapa Oficial de la República Argentina, como así también distintos documentos temáticos. Es el órgano rector en materia CARTOGRÁFICA y GEODÉSICA del País.



Tiene a su cargo:

- La definición y representación de la SOBERANÍA TERRITORIAL ARGENTINA.
- La provisión de servicios geográficos.
- La obtención de la cartografía básica del Territorio Continental, Insular y Antártico y su actualización permanente.
- La fiscalización y aprobación de toda obra que represente en forma total o parcial el territorio de la República Argentina
- El establecimiento, mantenimiento, actualización y perfeccionamiento del Marco de Referencia Geodésico Nacional que constituye la base fundamental sobre la que se apoya toda la cartografía del País.

Responsabilidad Primaria: entender en la planificación, programación, ejecución, control, fiscalización y asesoramiento de la actividad geográfica, a nivel nacional, a fin de satisfacer los objetivos y políticas establecidas por el Poder Ejecutivo Nacional, contribuyendo a una eficaz definición y representación de la soberanía territorial argentina.

Funciones:

- Definir la cartografía oficial a ser editada y distribuida bajo cualquier modalidad, en el Territorio Nacional según lo establecido por Ley de la Carta, Ley N° 22.963 y sus modificatorias.
- Entender en la elaboración y actualización de las series cartográficas nacionales del Mapa Topográfico Nacional.
- Entender en la fiscalización y aprobación de toda obra literaria o gráfica, documento cartográfico, folleto, mapa o publicación de cualquier tipo, en que se describa o represente en forma total o parcial el territorio de la República Argentina según lo establecido por Ley de la Carta (Ley N° 22.963) y sus modificatorias.
- Entender en la planificación del Atlas Geográfico de la República Argentina y de la cartográfica correspondiente a los Planes Cartográficos Nacionales.
- Definir, actualizar y mantener el Marco de Referencia Geodésico Nacional en sus aspectos planimétrico, altimétrico y gravimétrico.
- Mantener y actualizar la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC), con el objeto de brindar un servicio de posicionamiento GPS de alta precisión.
- Fomentar la investigación, desarrollo y aplicación cartográfica de sistemas de teledetección y de tratamiento digital de las imágenes, con cobertura nacional.
- Desarrollar procesos y pautas geográficas que se constituyan en normas orientadoras de la actividad en el orden nacional.
- Desarrollar y perfeccionar recursos humanos en la materia y disciplinas afines.
- Fomentar la investigación, a través de estudios de campo y el acceso a los documentos y servicios de información especializados.
- Prestar un servicio público de consulta a los usuarios, tanto presenciales como remotos y entender en la formación y conservación del Registro Histórico de la Cartografía Nacional.
- Desarrollar programas de cooperación con otros organismos públicos nacionales y provinciales (Oficinas Provinciales) así como del sector privado.
- Realizar y fomentar toda actividad acorde con los objetivos de la institución.
- Participar en la construcción de las políticas nacionales en la materia con el Consejo Consultivo Geográfico y con el Consejo Federal Geográfico.

## 7. PLANO TOPOGRAFICO

Todas las mediciones realizadas en un levantamiento topográfico deben ser **representadas gráficamente** y en forma precisa. Generalmente los planos topográficos serán utilizados para la elaboración de algún proyecto, por lo que es necesario plasmar en ellos y en forma resumida la mayor información posible. Cualquier persona que desee trabajar con un plano topográfico debe ser capaz de tomar de él, mediante medición directa o analíticamente, cualquier tipo de información necesaria: coordenadas, distancias, cotas, etc.

La representación gráfica de una superficie dada, generalmente de gran extensión, se hace sobre una hoja de tamaño limitado mucho menor que la superficie en estudio, siendo indispensable hacer una reducción del tamaño real de la superficie a representar. Siendo razonable la necesidad del uso y dominio de las escalas, tanto para la elaboración de un mapa como para el manejo del mismo.

Un **plano topográfico** es una representación, generalmente parcial, del relieve de la superficie terrestre a una escala definida. A diferencia de los mapas topográficos, que representan amplias áreas del territorio: una zona provincial, una región, un país o el mundo. En ellos se incluyen curvas de nivel, que permiten reflejar la forma de la superficie de la Tierra.

Son dibujos que muestran las principales características físicas del terreno, tales como edificios, cercas, caminos, ríos, lagos, bosques, así como las diferencias de altura que existen entre los accidentes de la tierra tales como valles y colinas (llamadas también relieves verticales). Los planos topográficos se basan en los datos que se recogen durante los levantamientos topográficos.

Los planos normalmente son dibujos a gran escala; los mapas en cambio son dibujos a pequeña escala. Dependiendo de la escala que se usa para dibujar:

- se trata de un **plano** si la escala es **mayor** de 1 cm por 100 m (1:10.000), por ejemplo 1 cm por 25 m (1:2.500);
- se trata de un **mapa** si la escala es **igual** o **inferior** a 1 cm por 100 m (1:10.000), por ejemplo 1 cm por 200 m (1:20.000) o 1 cm por 1.000 m (1:100.000).

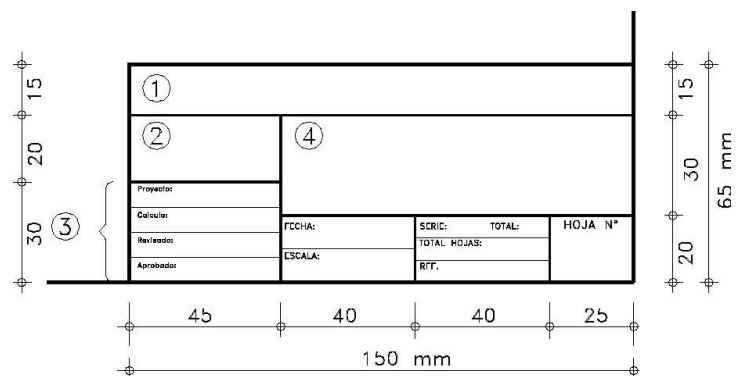
mapa topográfico < Escala 1:10.000 < plano topográfico

**Elaboración de Planos.** En la representación gráfica, conviene para una mejor referencia y guía trazar una **cuadrícula** a intervalos iguales y enteros, de los ejes de coordenadas utilizados en el plano, teniendo en cuenta que algunas medidas son tomadas directamente del plano. En la mayoría de los casos se hace mediante el trazado de líneas finas continuas; sin embargo, en aquellos planos muy densos, y con el objeto de despejar un poco el dibujo, es aconsejable trazar líneas cortas alrededor del marco del dibujo en lugar de las líneas continuas, o marcar cada uno de los vértices de la cuadrícula con una pequeña cruz en los puntos de intersección. En la intersección de las líneas de la cuadrícula con el borde del plano es necesario rotular la coordenada correspondiente.

Generalmente, la cuadrícula se dibuja con lados de 5 x 5 cm o de 10 x 10 cm.

El símbolo de **orientación del Norte** es un importante elemento del plano topográfico, por lo que se recomienda se coloque en un lugar visible ubicado en la parte superior del plano cuya orientación debe ser siempre en elevación o lo sumo horizontal, nunca en depresión, con un tamaño de no menos de 10 cm de largo, indicando si se trata del norte geográfico o del norte magnético.

Se debe plasmar toda información posible, debemos recurrir, sobre todo en aquellos elaborados en escalas pequeñas, al uso de símbolos convencionales para representar las características más importantes del terreno. La descripción de los símbolos convencionales (IGN) empleados constituye la leyenda del plano.



- 1 ORGANISMO CONTRATANTE
- 2 FMPRFSa CONTRATISTA
- 3 PERSONAL TECNICO
- 4 NOMBRE DEL PROYECTO

La **carátula** o recuadro de identificación, se conoce también como sello, tarjeta o; generalmente colocado en la esquina inferior derecha del plano, y destinado a dar información del profesional, la empresa y organismo que realiza el proyecto, y del contenido o identificación del trabajo. Por lo general es un recuadro de 15 x 6,5 cm, o de 10 x 4,5 cm. Se recomienda que el recuadro de información sea lo más sencillo posible a fin de no emplear demasiado tiempo en el dibujo de las mismas: comitente, lugar/obra, objeto, N° de plano, cantidad de planos, identificación del archivo magnético, operadores de campaña, gabinete, proyecto, dibujo, escalas, firmas de los responsables, vº bº o aprobación, fechas, reserva de la propiedad del documento. Un **recuadro para las correcciones o modificaciones**, es destinado para dejar el registro de las correcciones o modificaciones de los dibujos (revisión, descripción, fecha y firma). Generalmente se dibuja contiguo al lado izquierdo del recuadro de identificación o arriba de la carátula

**Formato o tamaño de la hoja.** Es el recuadro dentro del cual se realiza el plano. El tamaño de la hoja ha sido normalizado por diferentes organismos oficiales y organismos internacionales. Entre las normas más conocidas tenemos las normas DIN de la Deutsche Industrie-Normen (Normas Industriales Alemanas), la International Federation of the National Standardizing Associations (ISA) y la International Standards Organization (ISO)

Normas ISO	Longitud del papel	Longitud del borde
Denominacion	(mm)	(mm)
A4	210 x 297	195 x 282
A3	297 x 420	277 x 400
A2	420 x 594	400 x 574
A1	594 x 841	574 x 821
A0	841 x 1.189	811 x 1.159

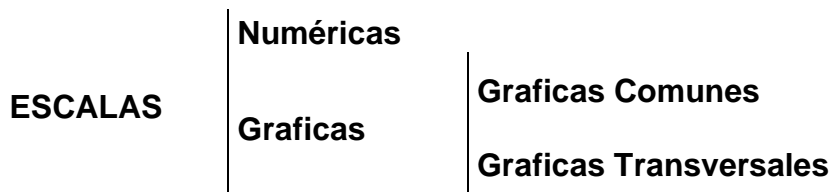
El formato A0 corresponde a una lámina de tamaño 1.189 x 841 mm, con un área aproximada de 1 m<sup>2</sup> y una relación de lados de 1: 2 . A partir del formato A0 se obtienen los restantes formatos A1, A2, A3 y A4, dividiendo por mitades.

## 8. ESCALAS

La escala puede ser definida como el factor de reducción que nos da la relación existente entre la medida real en el terreno y la medida representada en el plano.

Toda representación, ya sea dibujada, o una imagen fotográfica, está en una cierta relación de tamaño o proporción con el objeto representado. Esta proporción o relación de semejanza es lo que se llama ESCALA o vulgarmente podemos decir “DI / RE” (el dibujo divido la realidad).

Las escalas pueden ser numéricas o gráficas. (comunes o transversales):



### 8.1. Escalas numéricas.

Se expresan en forma de fracción como por ejemplo:

#### Escala 1:200

indicando que una unidad en el dibujo equivalente a 200 unidades en el terreno. En otras palabras, indicamos con ello que el dibujo es 200 veces más pequeño que el terreno.

Se las puede definir también de la siguiente manera:

**D**= la distancia entre 2 puntos del terreno (realidad)

**d**= la dimensión homóloga que la va a representar en el plano (dibujo)

**U**= unidad de medida que utilizamos para medir en el terreno

**u**= unidad de medida para el plano

Entonces la relación:  **$E = \text{dibujo}/\text{realidad} = d/D = u/U$  es la ESCALA**

En general se considera a "u" igual a la unidad en la práctica ( **$u = 1$** )

$$E = d/D = u/U = 1/U$$

Puede representarse de dos maneras:

Aparece representada mediante una fracción, en cuyo numerador aparece un 1, y en el denominador la proporción de realidad que a esa unidad medida en el mapa corresponde, por ejemplo, una escala 1/50.000, se traduce con que una unidad representada en el mapa son 50.000 de la realidad, así 1 cm. medido en el mapa sería igual a 50.000 cm. de la realidad, es decir, a 500 m.

**Por tanto, cuanto menor es el denominador mayor es la escala y mayor es el espacio representado en el mapa.** O también mientras mayor sea el denominador de la escala, más pequeña será la representación: una escala 1:200 es mayor que una escala 1:1.000.

Ejemplo: 1/10.000 ó 01:10.000

Las escalas pueden ser de ampliación, natural o de reducción, generalmente en nuestra especialidad la que usaremos es la de reducción.

En cuanto al valor de U, para los trabajos que se realizan son fijados en: 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75 y todos sus múltiplos

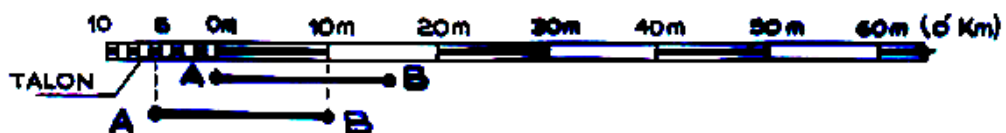
La **escala de una carta** es la representación gráfica de una porción de la superficie terrestre, realizada de tal manera que guarda relación uniforme y proporcional. Esta relación entre la distancia en el mapa y la correspondiente dirección sobre el terreno se conoce con esta definición.

Algunos ejemplos de escalas y las distancias y superficies que representan:

Escala		Distancia: 1 cm representa (m)	Superficie 1 cm <sup>2</sup> representa: (metros cuadrados)
1:	300	3	9
	500	5	25
	750	7,5	56,25
	1000	10	100
	1200	12	144
	1500	15	225
	2000	20	400
	2500	25	750
	5000	50	2500 (0.25 ha)
1:	10000	100	10000 (1 ha)
	25000	250	62500 (6.25 ha)
	50000	500	250000 (25 ha)
	100000	1000 (1 km)	1000000 (100 ha) (1 km <sup>2</sup> )
	125000	1250	1562500 (156.25 ha)
	200000	2000	4000000 (400 ha)
	250000	2500	6250000 (625 ha)

### 8.2. Escalas gráficas comunes

Consisten en representar sobre el plano una línea dividida en distancias o unidades en correspondencia con la escala escogida. La escala gráfica debe ser tan larga como sea posible, y debe estar colocada en un lugar visible, por lo general cerca del recuadro de información del mapa. Podemos decir también, que consisten es una reglilla dibujada y graduada en la cual se indican las divisiones -los kilómetros o metros de la realidad-, colocando en correspondencia con ellas las medidas que las mismas representan, facilitando con ello la lectura. De forma que permite obtener directamente con cada distancia medida, en el mapa o plano, qué distancia corresponde sobre el terreno.

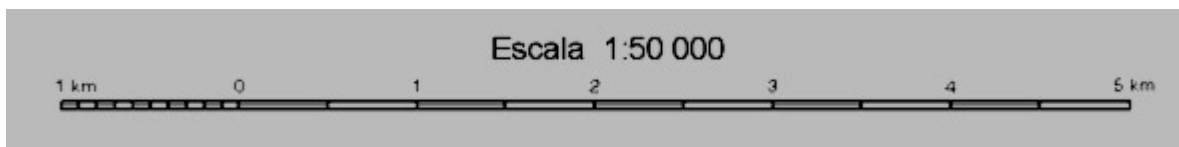


Para medir algún segmento o distancia la transportamos a un papel, por ejemplo el AB, hacemos coincidir el punto A en el origen 0 de la escala y leemos la parte gruesa de la lectura, por ejemplo 10m. Luego, como la escala está provista de un talón a la izquierda del origen en forma decreciente y dividido en 10 partes, hacemos coincidir el extremo B

en la última lectura gruesa, es decir en 10 y leemos la parte fina en el talón, donde coincide el punto A, por ejemplo 5,5 m., por lo tanto la distancia AB es de 15,5 m.

La escala gráfica común tiene más ventaja que la numérica, pues es más comprensible para cualquier persona, aunque no tenga conocimientos técnicos ni matemáticos y además cuando se hace alguna ampliación o reducción del plano o mapa, no se pierde la escala ya que ella es dibujada siempre en el borde del plano.

Las escalas gráficas son indispensables en aquellos planos en donde no se represente el sistema de coordenadas mediante retículas igualmente espaciadas, ya que los planos por lo general son sometidos a procesos de copiado a diversos tamaños, quedando sin valor la escala numérica original, teniendo que recurrirse así a la escala gráfica.



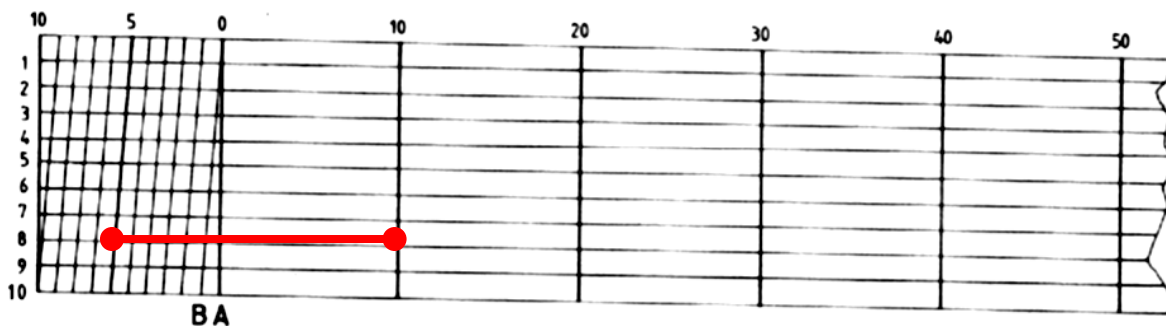
Se debe destacar que la "**ESCALA**" es uno de los elementos fundamentales de un mapa y está directamente relacionada con el contenido del mismo. La correcta elección es un factor importante para representar con éxito la información deseada.<sup>25</sup>

La escala debe guardar relación con la precisión que se desee obtener, recomendándose utilizar la mayor escala posible.

### 8.3. Escalas Graficas Transversales

Para poder leer una cifra más, se ha ideado esta escala, aunque es engorrosa para alguna persona que no sea técnica. La forma de dibujarla es la siguiente: se trazan rectas horizontales paralelas entre sí, de tal modo que dividan en 10 partes iguales a la vertical que pasa por la décima división del talón, luego unimos con una recta la novena división horizontal con la décima división vertical y trazamos paralelas a ellas por las siguientes divisiones horizontales hasta llegar al 0 de la escala.

Si representamos el mismo segmento AB del ejemplo anterior y lo deslizamos hacia abajo, siempre haciendo coincidir el extremo B con el 10 de la escala horizontal, hasta que corte a una de las paralelas transversales, leemos la parte fina en la escala vertical, por ejemplo 7. Por lo tanto la lectura nos indica que la medida del segmento AB es de 15,7 m. Podemos estimar un centesimal si así lo deseamos, por ej. 5; sería entonces 15,75

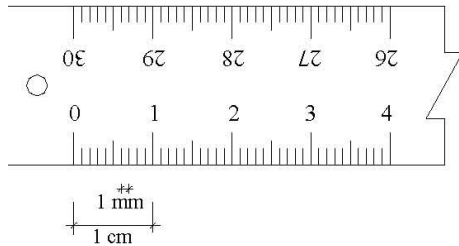


<sup>25</sup> IGN

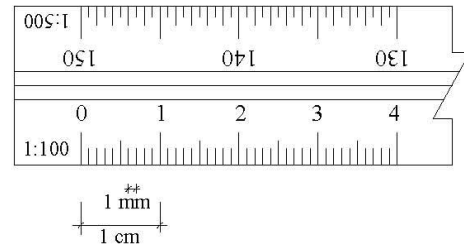


## 8.4. Regla graduada y escalímetros

Es el instrumento necesario para pasar las medidas reales a la escala escogida para la elaboración del plano. Generalmente la regla graduada viene dividida en centímetros y milímetros



a.- Regla graduada



b.- Escalímetro

Encontrándose también en el mercado un instrumento llamado **escalímetro**, el cual contiene seis diferentes graduaciones, correspondientes a las escalas de uso más común.

## 8.5. Error Gráfico. Límite en la Percepción Visual. Tolerancia

Es indispensable conocer la menor medida exacta o apreciación de los instrumentos de medición. La mínima lectura apreciable en una medición con regla graduada es de 0,25 mm, es decir que la vista humana normal puede percibir sobre el papel magnitudes de hasta 1/4 de milímetro, con un error en dicha percepción menor o igual a 1/5 de milímetro.

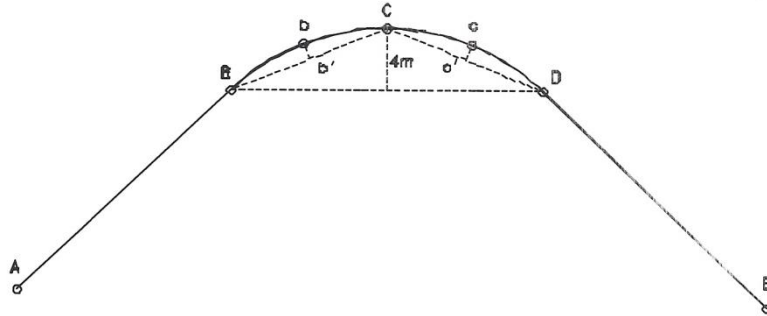
Es muy importante tener esto en cuenta en la práctica, pues dependiendo de la escala a la que estemos trabajando, deberemos adaptar los trabajos de campo a la misma. Por lo que la máxima precisión en metros que se puede obtener al medir sobre un plano o mapa topográfico dependerá de la escala utilizada y puede calcularse mediante la siguiente expresión: **Precisión = 0,25 x escala/1.000**

En base a esta expresión, y utilizando las escalas más comunes en ingeniería, se elabora la siguiente tabla que da **la máxima precisión en metros** que se puede obtener al medir sobre un plano a una escala dada.

Escala		Precisión lograda (en m)
Escala grandes	1:50	0,0125
	1:100	0,025
	1:200	0,05
	1:500	0,125
	1:1.000	0,25
Escala intermedias	1:2.000	0,50
	1:2.500	0,625
	1:4.000	1,00
	1:5.000	1,25
	1:10.000	2,50
Escala pequeñas	1:20.000	5,00
	1:25.000	6,25

Por ejemplo: si estamos trabajando a escala 1/1.000 los 0,25 mm del plano (1/4 de mm) de error inevitable estarían representados en el plano en 0,25 metros o sea 25 centímetros en el terreno, debiendo adaptar las medidas tomadas en campo a esta última magnitud. Está claro, por tanto, que debe evitarse un excesivo nivel detalle en los trabajos de campo, ya que luego no tendrán una representación en el plano final.

Este hecho es de considerable importancia a la hora tomar los datos de un tramo curvo. Supongamos que vamos a realizar un determinado trabajo a escala 1/4.000. El producto del denominador de la escala (4.000) por la agudeza visual (0,25 mm) nos da una longitud de 1 metro, que será la magnitud que podremos despreciar en el terreno. Si, como es el caso de la figura, tenemos una curva con una flecha de 4 m., será suficiente con tomar los puntos B, C y D.



La explicación es sencilla: las distancias b-b' y c-c' son de 1 m., como se deduce a través del cuarto de flecha. Por tanto, los puntos b-b' y c-c' se confundirán en el plano a escala 1/4.000, razón la cual no deberíamos tomados en campo.

Todo lo que hemos dicho se verificará siempre que nuestro objetivo sea plasmar la información en un plano a una determinada escala. Por el contrario, si lo que deseamos es efectuar cálculos con los datos tomados en campo (determinación de las coordenadas cartesianas, medición exacta de superficies, etc.), siempre nos convendrá tomarlos con la precisión necesaria. Si posteriormente generamos salidas gráficas, la precisión será la de la escala, pero tendremos una serie de datos precisos que nos permitirán generar planos con mayor detalle (a escalas mayores).<sup>26</sup>

En topografía, las operaciones básicas que se realizan en el manejo de escalas son las siguientes:

- Representar una distancia medida en el terreno, sobre un mapa a escala conocida.
- Calcular el valor real representado en un mapa a escala conocida.
- Cambio de escala.
- Calcular el valor de la escala de un mapa cuyas medidas han sido acotadas (calcular el valor de una escala a partir de la escala gráfica).

## 9. SISTEMAS DE UNIDADES

Cuadro de las medidas más usuales en topografía, así como sus equivalencias y unidades de medidas usadas en el pasado pero que se presentan en escritura y documentos de tipo legal, en relación con terrenos, deslindes, etc.<sup>27</sup>

<sup>26</sup> L .Casanova M. Presentación de planos

<sup>27</sup> Wolf/Brinker Topografía. 9ª edición

## Conversión métrica

1 milímetro (mm)	= 1 000 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) ó micras ( $\mu$ )
1 centímetro (cm)	= 10 mm
1 metro (m)	= 100 cm
1 m	= 3.2808 pie = *39.37 plg (pie estadounidense para topografía)
1 kilómetro (km)	= 1 000 m
1 km	= 0.62137 milla
1 pulgada (plg)	= *25.400 mm
1 pie	= *304.80 mm } pie internacional
1 milímetro cuadrado ( $\text{mm}^2$ )	= 0.00155 plg <sup>2</sup>
1 m <sup>2</sup>	= 10.76 pie <sup>2</sup>
1 km <sup>2</sup>	= 247.1 acres
1 hectárea (ha)	= 2.471 acres
1 m <sup>3</sup>	= 35.3 pie <sup>3</sup>
1 litro	= 0.264 galón (E.U.)
1 gramo (g)	= 0.035 onzas
1 kilogramo (kg)	= 2.20 lb
1 ton	= 907 kg = 2.00 kips (kilo libras o kilopounds)
1 m/s	= 3.28 pie/s
1 km/h	= 0.911 pie/s = 0.621 mi/h
1 kg/m <sup>3</sup>	= 0.0624 lb/pie <sup>3</sup>
1 ton/m <sup>3</sup>	= 0.0328 lb/plg <sup>3</sup>

## Algunos valores importantes en topografía

0.000 000 1 (o 2)	= coeficiente de expansión, cinta Invar, por 1°F
0.000 004 848	= sen 1" = tan 1"
0.000 006 45	= coeficiente de expansión, cinta de acero, por 1°F
0.000 290 89	= aproximadamente sen 1' = tan 1' (0.000 29 o 0.00 3, según convenga)
{ 0.017 452 51 sen	= aprox. sen 1° = tan 1° = aprox. 0.01 ¾ = radianes en 1°
{ 0.017 455 06 tan	
0.574	= coeficiente combinado por curvatura y refracción (pie/milla <sup>2</sup> )
0.6745	= coeficiente para una desviación estándar del 50% (error probable)
1.6449	= coeficiente para una desviación estándar del 90%
1.9599	= coeficiente para una desviación estándar del 95%
1 plg	= *0.0254 m (pie internacional)

\* Denota valor exacto. Los demás valores son correctos con el número de cifras mostradas.

1 pie	= *0.3048 m (pie internacional)
1.15 millas	≅ 1 minuto (1') de latitud ≅ 1 milla náutica
3.141 592 654	= $\pi$
6 milla	= longitud y ancho de una demarcación normal
* 10 cadenas cuadradas	= 1 acre (de cadenas Gunter)
* 15° de longitud	= ancho de una zona de tiempo = 360°/24 horas
15°F,	cambia la longitud de una cinta de acero de 100 pie en 0.01 pie
* 16 1/2 pie	= una pértiga = 1/4 cadena de Gunter = una percha o varal
* 20°C	= temperatura estándar (celsius) en cadenamientos = 68°F
23° 26 1/2'	= declinación máxima del sol durante los solsticios
23 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 04.091 <sup>s</sup>	= duración del día sidéreo en tiempo solar medio y 3 <sup>m</sup> 55.909 <sup>s</sup> de tiempo solar más corto del día solar medio; también 3 <sup>m</sup> 56.555 <sup>s</sup> de tiempo sidéreo más corto del día solar medio
* 24 horas	= 360° de longitud
* 25.4 mm	= 1 plg.
* 36	= número de secciones en una demarcación normal
57° 17' 44.8"	= 1 radián = 57.295 779 51°
* 66 pie	= longitud de la cadena de Gunter = 100 eslabones
69.1 milla	≅ 1° de latitud
* 80 cadenas	= 1 milla (de Gunter)
100	= relación usual de estadia
101 pie	≅ 1 segundo (1") de latitud
* 400 grados antiguos	= 360°
480 cadenas	= ancho y largo de una demarcación normal
490 lb/pie <sup>3</sup>	= densidad del acero para cálculos con cinta
640 acres	= una sección normal de 1 milla <sup>2</sup>
6 076.10 pie	= 1 milla náutica
4 046.9 m <sup>2</sup>	= 1 acre
* 6 400 milla	= 360°
206 264.806 segundo	= 1 radián = cot 1 segundo = 180°/π en segundos
299 792.5 km/segundo	= velocidad de la luz y otras ondas electromagnéticas en el vacío
6 356 752.3 m	= semieje polar de la Tierra (elipsoide GRS80)
6 378 137.0 m	= semieje ecuatorial de la Tierra (elipsoide GRS80)
6 356 583.8 m	= semieje polar de la Tierra (elipsoide de Clarke, 1866)
6 378 206.4 m	= semieje ecuatorial de la Tierra (elipsoide de Clarke, 1866)
6 371 000 m	= radio medio de la Tierra = 20 902 000 pie
29 000 000 lb/plg <sup>2</sup>	= módulo de elasticidad de Young para el acero = 2 000 000 kg/cm <sup>2</sup>

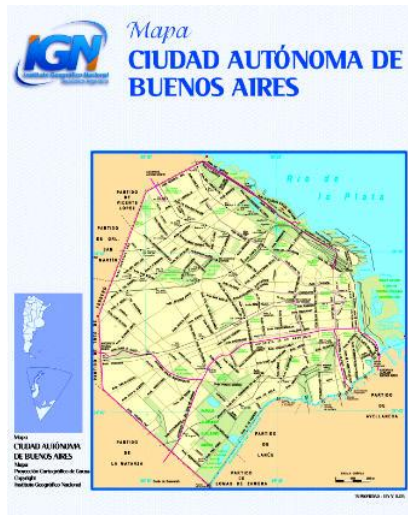
Medidas de longitud	Sistema inglés	Sistema Internacional de Unidades (en metros)	Áreas	Sistema inglés	Sistema Internacional (m²)
milímetro	0.03937 pulg	0.001	metro cuadrado	1.196 yard cuadr. 10.764 pies cuadr.	
centímetro	0.39370 pulg	0.010		1 550.000 pulg cuadr.	1.000
decímetro	3.93700 pulg	0.100	área	119.600 yard cuadr.	100.000
metro	1.09360 yard 3.28080 pies		hectárea	100.000 áreas 2.471 acres	1 000.000
decámetro	10.93600 yard	10.000	kilómetro cuadrado	100.000 hectáreas 0.386 mill. cuadr.	1 000 000.000
hectómetro	109.36100 yard	100.000	pulgada cuadrada	0.007 pies cuadr.	0.000542
kilómetro	0.62137 millas	1000.000	pie cuadrado	144.000 pulg cuadr.	0.078027
pulgada	0.08330 pies	0.0254	yarda cuadrada	9.000 pies cuadr.	
pie	12.00000 pulg	0.3048		1 296.000 pulg cuadr.	0.836130
yarda	3.00000 pies		acre	4 840.000 yard cuadr. 43 560.000 pies cuadr.	4 046.870
milla	1 760.00000 yard 5 280.00000 pies	1609.3410	varas cuadradas	0.405 hectáreas	0.7072
vara		0.8380			
legua		4019.0000			

Volumen	Sistema inglés	Sistema Internacional (m³)
metro cúbico	1.308 yarda cúbica 35.315 pies cúbicos 264.189 galones	1.000
pie cúbico	0.037 yarda cúbica 1 728.000 pulg cúbica 7.473 galones	0.0217956
pulgada cúbica	0.000579 pies cúbicos	0.00001261
galón	231.000 pulg cúbica	0.0037853
<b>Otras equivalencias útiles</b>		
360°	= 400°	
0.9°	= 1° = 0.0157097 rad	
0.01°	= 1" = 0.009° = 00°00'32.4"	
0.0001°	= 1" = 0.00009° = 00°00'00.324"	
en los que:		
° ' "	= grados, minutos y segundos de arco, sexagesimales	
° C CC	= grados, minutos y segundos de arco, centesimales	
rad	= radianes	
π	= 3.141592654	
°F	= (9/5)(°C + 32)	
°C	= (5/9)(°F - 32)	
g	= 9.81 m/s² = 32.16 pies/s²	

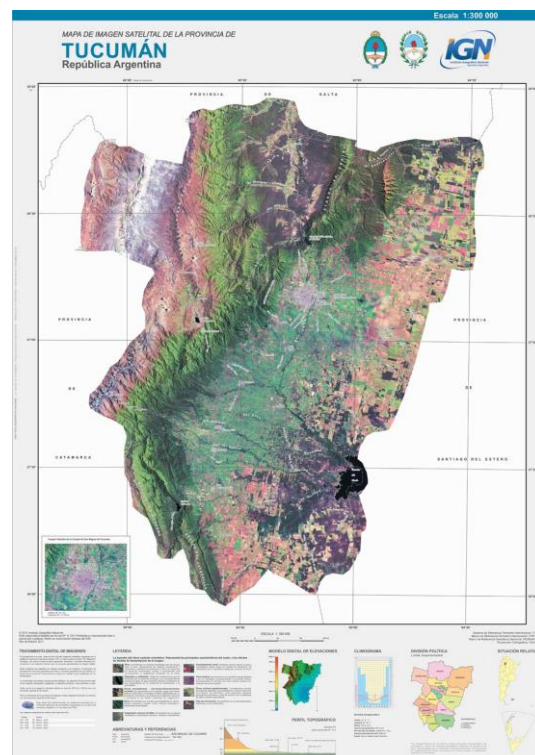
## 10. NOCIONES DE: CARTAS.

### 10.1. Mapas

Es la representación geográfica en una superficie plana, de un amplio sector de la superficie terrestre -país, provincia, ciudad-, a un escala inferior a 1:500.000 Para los detalles planimétricos y altimétricos hay que recurrir a los signos o símbolos convencionales. En su formación predominan los métodos geodésicos sobre los topográficos.



Edición cartográfica de mapas provinciales del IGN. A partir de imágenes del satélite Landsat 7, se producen mosaicos, el cual se han formado distintas series cartográficas a distintas escalas, las cuales se incorpora información de interés de cada una de las provincias.<sup>29</sup>

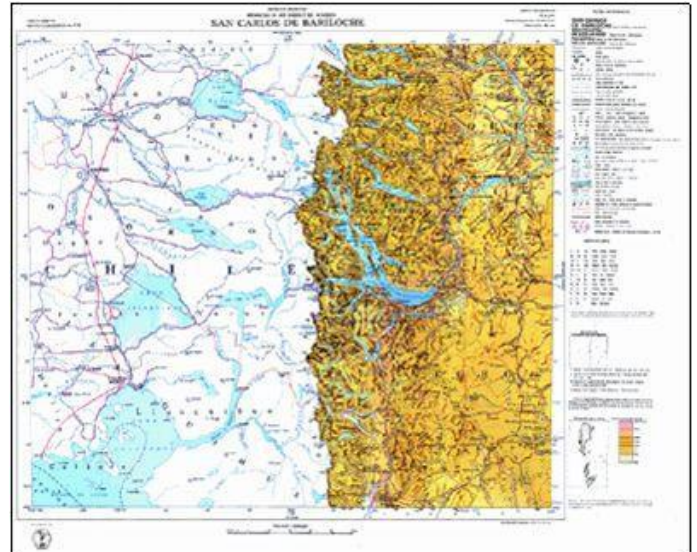


<sup>29</sup> IGN  
70

## 10.2 Carta Topográfica

Es la denominación genérica de las representaciones gráficas, impresa o digital, en ella se representa una parte de la superficie terrestre, que incluye detalles naturales, relieves (costas, islas, elevaciones, canales, etc.), artificiales y/o intervenciones del hombre (presas, carreteras, acueductos, oleoductos, etc.) ubicados con exactitud por sus coordenadas geográficas a una escala superior a 1:500.000.

En escalas de 1:500.000 expresan, con cierto detalle, la configuración del terreno y los elementos culturales más importantes.. Ejemplo, Carta N° 4172 Escala 1:500.000 "SAN CARLOS DE BARILOCHE". Ref.; Atlas Geografico de la Rep. Arg. IGM



Una **carta topográfica** es una carta básica o derivada que incluye los elementos naturales y artificiales del terreno. Permite efectuar mediciones planimétricas y altimétricas dentro de tolerancias conocidas. Es el resultado de trabajos topográficos regulares. Muestra en forma detallada y precisa elementos planialtimétricos de superficies menores. En la República Argentina el Instituto Geográfico Nacional publica cartas topográficas a escalas: 1:500.000; 1:250.000; 1:100.000 y 1:50.000, en soportes papel y digital. Esta edición consiste en colocar todos los patrones de las líneas, de las áreas y los signos o símbolos que corresponda según su posición geográfica. Todos los topónimos que corresponda de la altimetría, hidrografía y planimetría incluyendo los centros poblados según su importancia y cantidad de habitantes según la escala de trabajo. Dicha edición se realiza con los parámetros establecidos en el Manual de Signos Cartográficos.

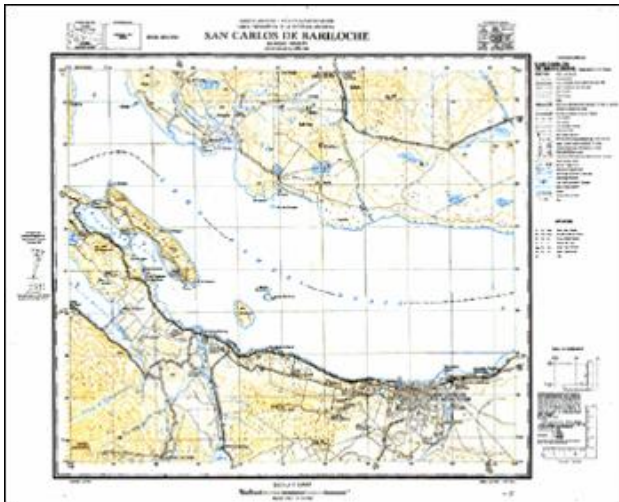
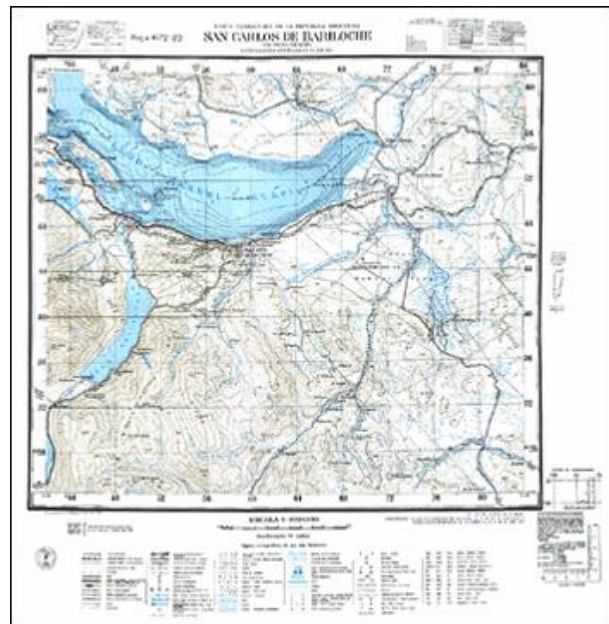
En escalas de 1: 250.000 y mayores (Ej: 1: 100.000 y 1: 50.000) , muestran en forma detallada y precisa elementos planialtimétricos de superficies menores. Se considera la cartografía básica para la realización de estudios esenciales. Son el resultado de trabajos topográficos regulares.<sup>30</sup>

Ejemplo, Carta N° 4172-IV Escala 1:250.000  
'SAN CARLOS DE BARILOCHE'



<sup>30</sup> IGN:

Ejemplo: Carta N° 4172-23, Escala 1:100.000 "SAN CARLOS DE BARILOCHE"



Ejemplo: Carta N° 4172-23-1, Escala 1:50.000 "SAN CARLOS DE BARILOCHE"

### 10.2. Cartas de Imagen Satelitaria

Se obtiene de una imagen satelitaria que ha sido corregida de las deformaciones producidas por la rotación de la Tierra y además, ha sido relacionada con el terreno mediante puntos identificados en ella y cuyas coordenadas han sido medidas. Sobre ella es posible medir distancias y calcular perímetros y/o superficies. Es de utilidad para múltiples usuarios y satisface requerimientos de actualización de información cartográfica.

Ejemplo, Carta N° 4172-IV Escala 1:250.000 "SAN CARLOS DE BARILOCHE"



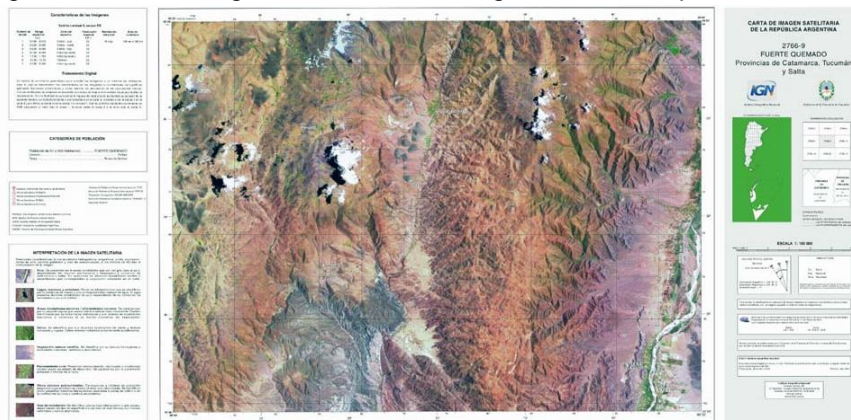
Para la elaboración de la cartografía de imagen, se utilizan las imágenes captadas por la cámara digital Ultracam Xp de alta resolución a bordo de un avión y las imágenes de los satélites SAC-C, Landsat 5, Landsat 7 y Spot 5. El área que cubre cada carta está directamente relacionada con las cartas topográficas a distintas escalas que es también la base cartográfica para la georeferenciación de las imágenes.<sup>31</sup>

<sup>31</sup> IGN  
72





Carta Imagen 1: 50 000 .Imágenes de la cámara digital Ultracam Xp. Tamaño de Píxel 40cm

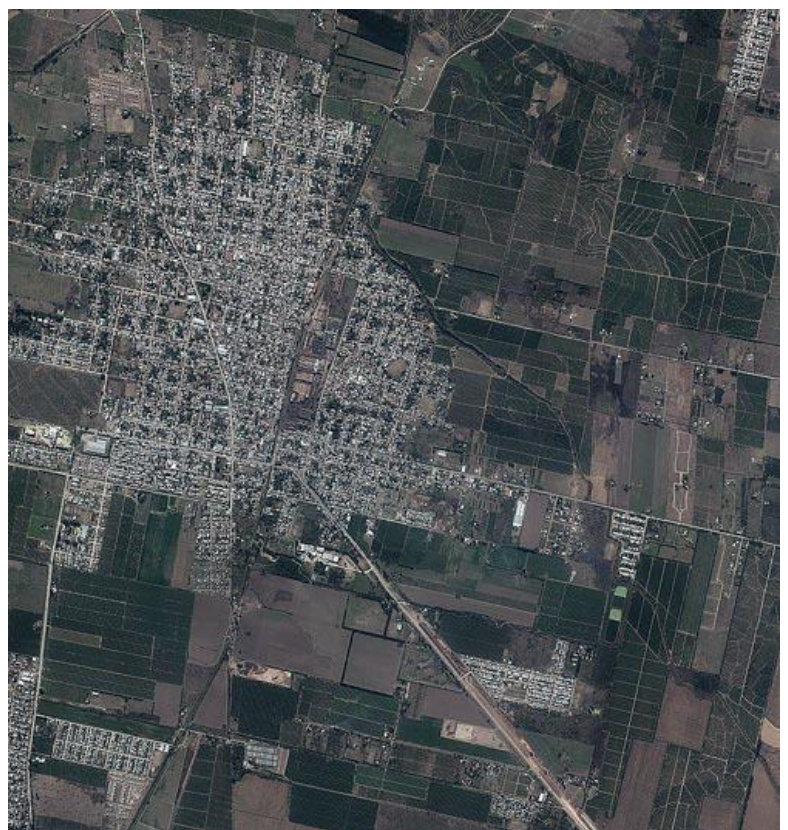


Carta Imagen 1: 100 000 .Imágenes del satélites Landsat 7

### 10.3. Ortofotos.

A partir de los fotogramas, las posiciones de los centros de toma, los ángulos de orientación espacial y el modelo digital de superficie.<sup>32</sup>

Ortofoto . Tamaño Píxel 50 cm Tafí Viejo - Tucumán



<sup>32</sup> IGN

#### 10.4. Confección de los mosaicos ortorrectificados

A partir de dichas ortofotos.<sup>33</sup>

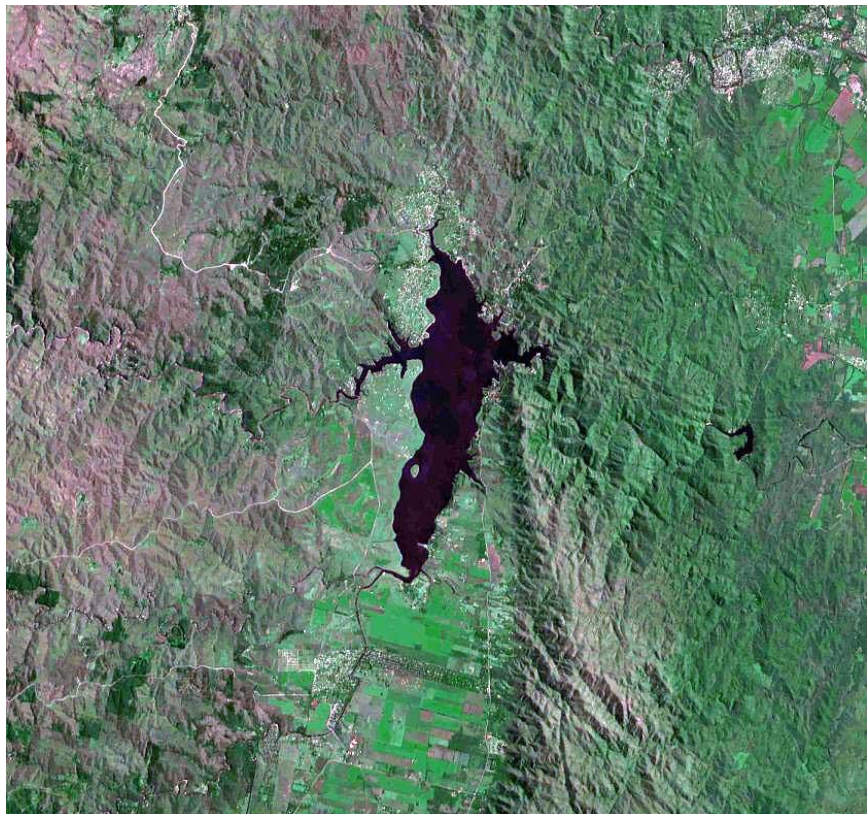
*Lules - Tucumán  
Tamaño Píxel 50  
cm*



#### 10.5. Fusiones con imágenes.

Se fusionan las imágenes pancromática y multiespectral de tomas simultáneas para aprovechar la resolución geométrica de la primera y la espectral de la segunda, obteniéndose una imagen final de 2.5 metros de tamaño de píxel con 4 bandas.<sup>34</sup>

*Spot 5 -Lago San  
Roque -Córdoba.*



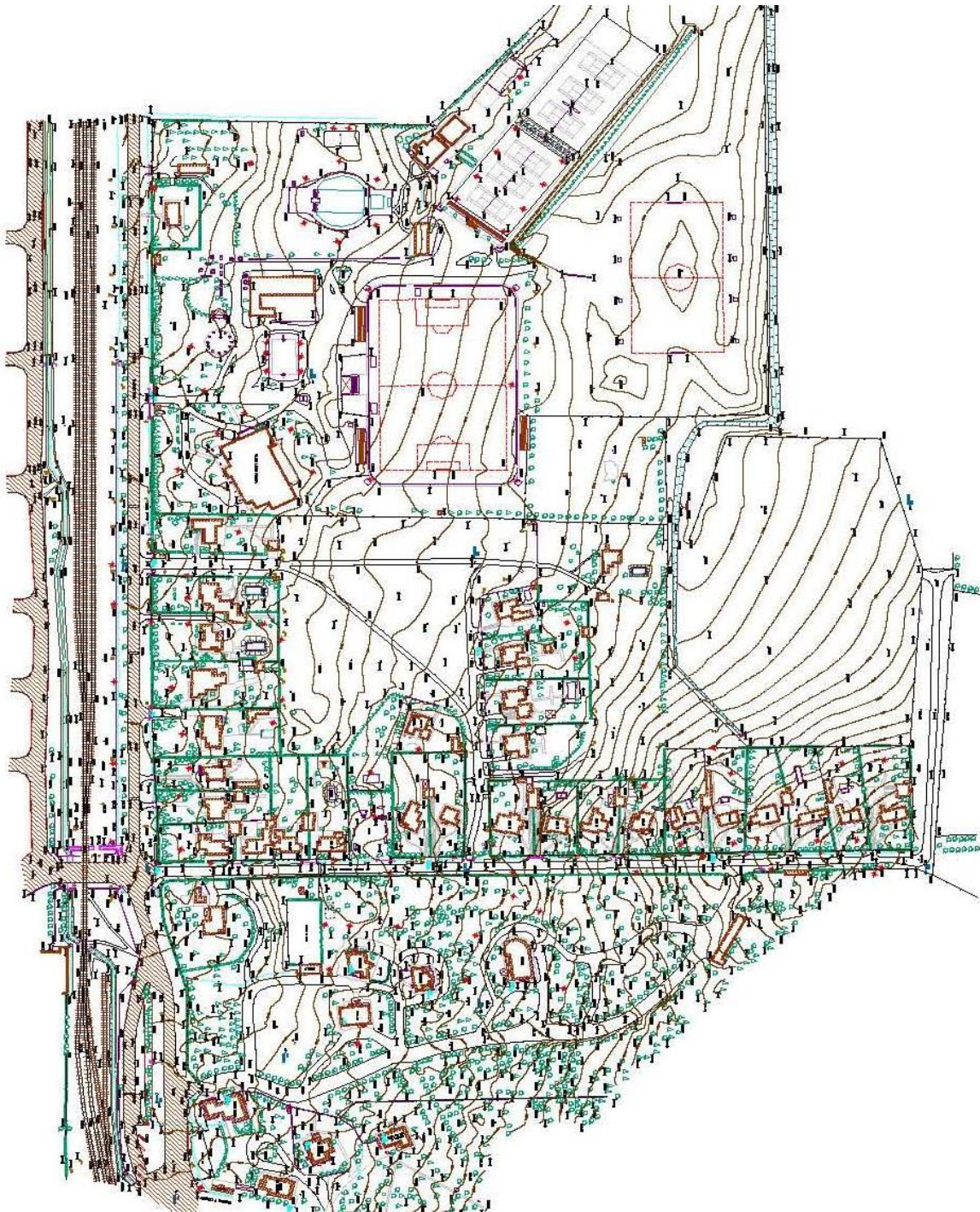
---

<sup>33</sup> IGN

<sup>34</sup> IGN



**Planos Topográficos.** Son representaciones de superficies pequeñas y donde se dibujan los detalles de la planimetría. Aunque también se utilizan signos convencionales, éstos reproducen en cuanto sea posible la verdadera forma de la proyección horizontal de los detalles representados y sus dimensiones, dentro de la proporcionalidad general del terreno al plano. Las altimetrías se las representa con líneas de nivel y puntos acotados. Permiten realizar sobre ellos operaciones métricas

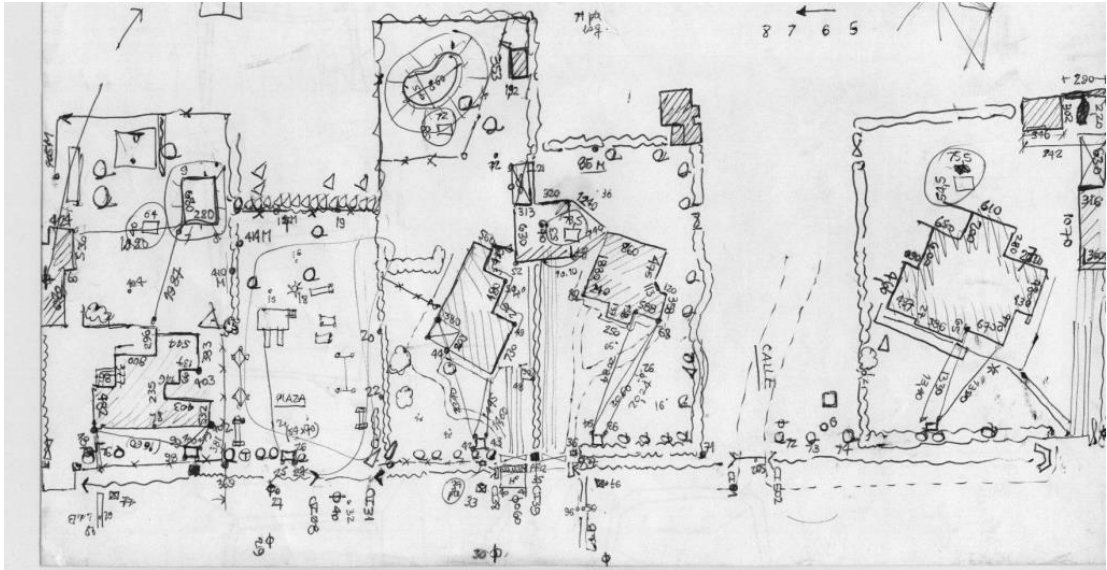


Plano topográfico de un relevamiento planialtimétrico. Escala del original 1:750.<sup>36</sup>

<sup>36</sup> Topcant Asistencia Técnica SRL

### Croquis.

Son representaciones del terreno realizadas a ojo, sin fundarlas en mediciones efectuadas sobre el mismo; tienen gran fuerza expresiva si se posee la técnica del dibujo topográfico. No se pueden realizar sobre el croquis determinaciones métricas.



**Continúa TEMA 1- CONCEPTOS Y OBJETIVOS DE LA TOPOGRAFÍA – 2º PARTE**  
**ELEMENTOS DE GEOMETRÍA Y TRIGONOMETRÍA** (Leonardo Casanova M. Elementos de Geometría)