

---

# TOPOGRAFIA APLICADA

---

en mediciones para obras  
de Arquitectura e Ingeniería

ADHESION:

**Benito Roggio e Hijos S.A.**

*(Empresa Constructora)*

## PROLOGO

Podemos afirmar sin temor a equivocarnos, que la Geometría y la Topografía, aparecen en el reloj de la Historia en el mismo instante que la Arquitectura, es decir entre 5000 y 6000 años antes de Cristo. Desde entonces han recorrido juntas el mismo camino. Se necesitó de la Geometría y la Topografía, para construir desde la obra más pequeña hasta las monumentales maravillas del mundo.

Al principio las mediciones estuvieron en manos de Geómetras capacitados para el difícil arte del replanteo de obras. Los algoritmos matemáticos y los métodos de medición, se transmitían oralmente y más tarde a través de papiros o tablillas cuneiformes que, en todas las épocas y cualquiera fuese la cultura, eran celosamente custodiados por sacerdotes.

Fueron los griegos quienes se encargaron de compilar y transmitir las bases de este conjunto de conocimientos, recayendo en los Agrimensores la tarea, a través de los tiempos, de ponerlos en práctica.

Sin embargo, durante años los responsables de los proyectos y de la ejecución de las obras de Arquitectura e Ingeniería, menospreciaron la importante tarea del Agrimensor; pero fueron a su vez los propios Agrimensores quienes descuidaron esta rama de su carrera, que les fue asignada por la Historia.

Como resultado de esta combinación de circunstancias, los relevamientos, replanteos y controles fueron llevados a cabo por los Topógrafos, quienes aprendieron el arte y oficio de la Geometría Práctica en la Obra misma.

Pero el avance tecnológico de las últimas décadas, en lo que se refiere a técnicas constructivas, métodos y materiales empleados, tales como elementos premoldeados, paneles prefabricados, vigas pretensadas, encofrados deslizantes, productos químicos incorporados al hormigón y montajes de estructuras metálicas, modificaron considerablemente los tiempos y las tolerancias constructivas. Frecuentemente estructuras muy grandes tienen que ensamblarse a pie de obra, a partir de piezas fabricadas en otros lugares, lo cual obliga a la obra realizada in-situ ajustarse a exigencias cada vez más estrechas. Generalmente este trabajo, que exige una elevada precisión, se lleva a cabo en un emplazamiento difícil y en tiempos muy cortos.

Este avance tecnológico también incursionó en el campo de la Topografía Aplicada, en lo referente al instrumental de medición y cálculo. Incorporando primero los taquímetros electrónicos, actualmente las estaciones totalmente automáticas, los niveles laser, micro y mini computadoras, data colectores, etc.. Es tan acelerado este proceso, que incluso a la fecha de esta edición, esta ya se encuentra desactualizada.

El gran costo que le significa al Estado un proyecto mal elaborado por culpa de un deficiente plano de relevamiento, o a la empresa constructora por un error de replanteo o exceso en los tiempos, está hablando a las claras de la necesidad de profundizar en

el estudio de métodos de medición y replanteo, en la acotación de la propagación de los errores, en el conocimiento del instrumental adecuado a emplear en cada caso, etc..

El objeto de esta publicación es cubrir una falencia que existe respecto a la bibliografía, pues en este campo, son escasas y dispersas, en su mayoría son traducciones de obras escritas originalmente en otros idiomas, sumándose su falta de actualización.

Es por ello que nos interesa llegar al alumno, los topógrafos de obra, profesionales vinculados a la construcción y como recordatorio para egresados en Agrimensura.

En particular, al alumno que cursa regularmente la materia "Mediciones Especiales", buscando hacerlo de forma tal que éste, pueda integrar los conocimientos teóricos adquiridos en otras materias anteriormente cursadas, con la actividad eminentemente práctica que implica las mediciones aplicadas en las obras de Ingeniería y Arquitectura.

Como el desarrollo de esta materia, a la fecha de la publicación, aún se dicta en el tercer año de la carrera de Ingeniero Agrimensor, de la Universidad Nacional de Córdoba, al alumno regular le falta adquirir los conocimientos de materias como Geodesia, Astronomía Práctica, Cartografía, Fotogrametría, entre otras, que se cursan en años posteriores; por tal razón, algunos temas sólo se mencionan o se desarrollan superficialmente, quedándole en consecuencia al futuro profesional, la responsabilidad de ampliarlos, ya se infiere con claridad que nuestra publicación no abarca al amplio espectro de las Mediciones Especiales.

A los fines de cumplir con nuestro propósito hemos estructurados nuestro trabajo en tres Capítulos.

En el primero de ellos, efectuamos una introducción donde comentamos cuales son las etapas en el desarrollo de una obra, desde la idea gestora que le da origen, hasta su terminación, destacando la intervención del Agrimensor en cada una de ellas. Incluimos un breve comentario acerca del empleo de los modelos matemáticos como herramienta necesaria para solucionar los problemas que más adelante se nos presentarán.

El segundo capítulo lo hemos dividido en tres partes, coincidentes cada una de ellas con los tiempos evolutivos. Las mediciones anteriores a la Obra, las mediciones para la construcción de ésta y las mediciones posteriores. En el desarrollo del replanteo, hemos hecho algunas consideraciones personales, las cuales pueden no ser compartidas por otros autores, tales como, adoptar un criterio de división para el Sistema de Apoyo en principal y secundario, y su correspondientes tratamiento diferencial en la acotación de errores; ello obedece a lo que nos ha aconsejado la experiencia.

Por último, en el tercer capítulo, desarrollamos estas etapas, relevamiento, replanteo y control para cada tipo de obra en particular. Sin embargo, en esta presentación, nos vemos limitados a publicar parte de este capítulo, describiendo el tema "Caminos" y por ende, quedando pendiente el desarrollo de otras obras, para una futura edición.

#### NOTA DE AGRADECIMIENTO

Para aquellos autores que concientes o no, permitieron que extraigamos de sus obras, conceptos, tablas o referencias.

Para el Ing. Agrimensor José Espada, quien se ofreció para revisar parte de los manuscritos originales.

Finalmente a los topógrafos de obra, quienes han hecho de la Geometría Práctica un modo de vida, para devolverlos en parte lo que de ellos hemos aprendido en esta actividad.

LOS AUTORES

# 1

## GENERALIDADES

---

## # 1. RESEÑA HISTORICA

**S**i nos imaginamos a los primeros hombres caminando sobre la tierra, algo así como 2.000.000 de años atrás, asociaremos inmediatamente a este ser débil, indefenso, luchando por su propia supervivencia contra un clima y un medio totalmente hostil, luchando contra el resto de los animales e incluso contra sus primos antropoides. Esta victoria lograda por los primeros hombres, es lo que algunos historiadores han dado en llamar "el auténtico milagro de la creación", y ello fue posible a partir de la única ventaja que poseía el hombre sobre el resto de los seres vivientes, el **INGENIO**, la habilidad para fabricar útiles, y la posibilidad de usar las manos. Debieron de pasar muchos milenios para que el hombre abandonara su etapa de animal predador, para dar el gran salto hacia la historia. Desde la primitiva economía destructiva hacia la economía de producción y conservación.

Al producirse los cambios climáticos del final del cuaternario, los grandes rebaños y por consiguiente el hombre, es empujado hacia las cuencas de los grandes ríos y allí comienza a practicar los primeros cultivos y la domesticación de animales. Esta nueva forma de vida se conoce con el nombre de economía neolítica. La actividad agrícola vincula estrechamente al hombre con la tierra, el habitat se transforma, el refugio temporal cede paso al poblado estable, la economía de producción exige una nueva industria, la de herramientas para el laboreo de las tierras y las de las armas, no ya de caza, sino de guerra, pues hay que defender los frutos. Con la revolución urbana, cambia la religión, el arte, la cultura. Cambia el hombre. Esta etapa se ubica entre 9000 y 6000 años a.C.. En sus orígenes el poblado está formado por una inmensa aglomeración de viviendas, pegadas unas a otras formando un bloque inexpugnable, plantas rectangulares, techos planos con la entrada por la azotea.

Posteriormente, en la cultura megalítica, la incorporación de la industria

---

metalúrgica cambia fundamentalmente el diseño urbano. Las casas son rectangulares, distribuidas alrededor del palacio y los templos, generalmente protegidas por robustas murallas, con torres de defensas tronco-cónicas. Aparecen en este período las construcciones en círculo y los techos en bóvedas. Incluso existen poblados como el de Alcaydús, en Menorca, construidos por múltiples recintos circulares tangentes entre sí.

La Mesopotamia fue cuna de un conjunto de civilizaciones (Sumera - Acadia - Babilonia- Asiria y Caldea). La primera cultura urbana conocida, es la de los Sumeros, llamando poderosamente la atención de los historiadores los conocimientos que poseían en matemáticas y astronomía, y las aplicaciones de la geometría práctica (topografía) en la construcción de obras de arquitectura y canales de riego.

Es de destacar las construcciones encontradas en las ciudades-estados de Lagash, Umma, Nippur y Uruk, edificadas 4000 años a.c., en ellas se construyeron los primeros diques que se conocen y se lograron sistemas de riego casi perfectos. La arquitectura era monumental y religiosa. En Uruk, por ejemplo, se encontró un templo de 55m x 22m y paralelo a éste, otro de 83m. x 253m.. La perfecta simetría de sus naves, pasillos y columnas, y el manejo de planos horizontales en distinto niveles, hace suponer el empleo de algún primitivo y rudimentario instrumento de medición.

En Babilonia, el rey Nabucodonosor fue célebre más que por sus conquistas, por la construcción de la Ciudad, en la cual levantó numerosos palacios, templos y puentes y una gran muralla de 25m. de espesor que rodeaba toda la ciudad. Llama la atención los jardines colgantes y la disposición de las manzanas, pues las calles eran rectas y se cortaban perpendicularmente. El sistema numérico era sexagesimal (el círculo graduado tenía 360°).

Los Asirios asombraron con sus construcciones sobre terrazas con escaleras, rampas, desniveles y planos inclinados.

Otros pueblos vecinos y con una cultura urbana milenaria, fueron los Persas, de quienes podemos mencionar la construcción de la ciudad de Persépolis, en la cual se observan varios ejes de simetría rigurosamente perpendiculares entre sí. También es de destacar el templo mandado a construir por Salomón, rey hebreo, 950 a.C., que tenía 450m x 300m proyectado por Arquitectos y replanteado por Geómetras Fenicios traídos expresamente para ello.

Merece una especial atención la cultura egipcia, dice el historiador J. Vercouter: "...al neolítico se remontan los primeros esfuerzos del acondicionamiento del valle del Nilo por el hombre...el cultivo de las tierras del valle sólo podía hacerse bajo una doble condición: había que proceder a desecar los terrenos cenagosos de los bordes del lecho del río una vez terminada la crecida, y, a continuación había que irrigar los campos. Se creó un sistema de drenaje, con ataguías de retención, diques y azudes niveladores y canales de riego.

Por otra parte, otros historiadores, en este caso Trevisand y Sinland dicen en su historia antigua; "...si reflexionamos acerca de las monumentales tumbas y de los grandiosos templos y palacios, que los egipcios levantaron, llegamos a la conclusión que sus conocimientos de las matemáticas y de la geometría práctica debían ser considerables.

Había tres tipos de tumbas: la mastaba, la pirámide y el hipogeo. Para dar una idea de dimensiones, la gran pirámide mide 147m de altura y tiene 227m de lado, lo

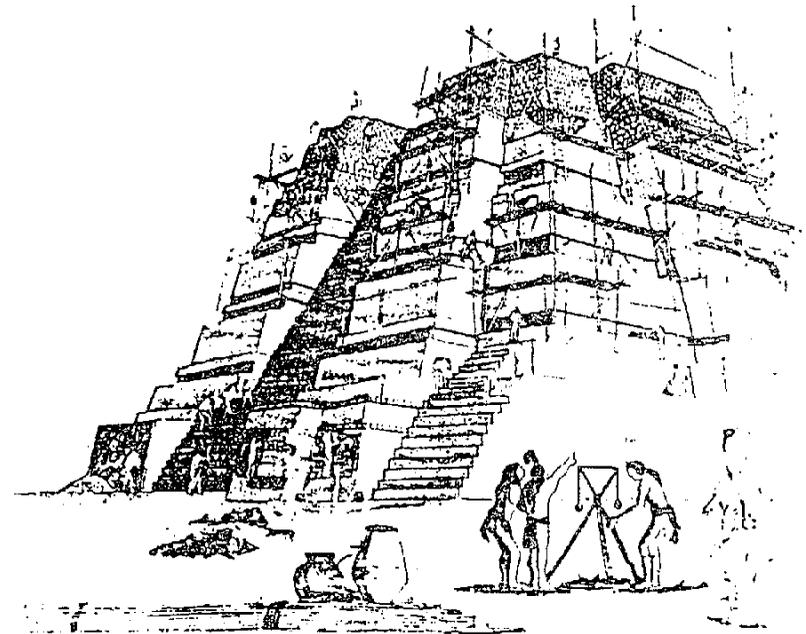
que significa 2.500.000 m<sup>3</sup> de volumen (2.500 a.C.).

Falta agregar que en la arquitectura religiosa se destacaban los grandes templos y los templos en caverna, excavados dentro de la roca. Y finalmente, las estatuas monumentales y los colosos.

Aparentemente, desde los comienzos de la historia del hombre, éste ha estado ocupado en librar batallas, primero por la subsistencia, luego para dominar y esclavizar otros pueblos, para fundar imperios, para establecer colonias o bien, en desgastadoras guerras de independencia. Sin embargo, paralelamente, otros hombres, iban desarrollando el potencial espiritual a través del arte, la arquitectura y posteriormente la literatura.

Para poder construir esas obras de INGENIO, por él imaginadas, necesitó elaborar tratados de geometría y matemáticas. Así nacieron y fueron pasando de generación en generación, primero en forma oral y luego escritas. Así se plasmaron en papiros o tablillas cuneiformes, que celosamente eran custodiadas por los sacerdotes, en todas las culturas y en todas las épocas. Por ejemplo, los papiros matemáticos (Papiros Rhind y de Moscú), escritos bajo el imperio de la V o VI dinastía, 2350-2000 a.C., son según los historiadores una verdadera enciclopedia.

Podemos decir entonces, sin temor a equivocarnos, que las Mediciones Topográficas aplicadas a las obras de Ingeniería y Arquitectura, son tan antiguas como lo es la evolución cultural del hombre, surgió mucho antes que otras ciencias y era considerada tan sagrada como la medicina o la religión.



## # 2. CLASIFICACION DE LAS OBRAS DE INGENIERIA

Las obras de Ingeniería pueden clasificarse desde diversos puntos de vista:

- Por su naturaleza técnica.
- Por los métodos constructivos.
- Por su desarrollo en planta.
- Por su desarrollo en altura.
- Por las condiciones de funcionamiento, etc.

Al agrimensor, le interesa especialmente una clasificación que tenga en cuenta las condiciones o las características de las obras relacionadas con el aspecto GEOMÉTRICO de las mismas. Tanto en lo que se relaciona a la naturaleza y precisión de los relevamientos requeridos para el proyecto, como para el posterior replanteo y control del avance de las obras.

Aún así, adoptando un único punto de vista, el geométrico, es posible concebir una amplia gama de criterios de clasificación y grados de subdivisión según sean los aspectos específicos a considerar.

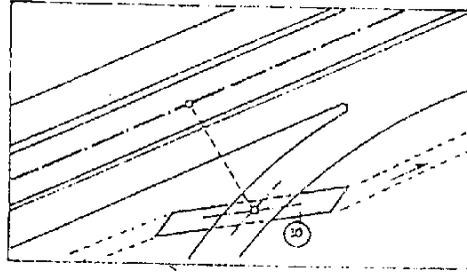
Sin pretender hacer una revisión integral de todas las posibilidades de clasificación, para este desarrollo, adoptaremos la siguiente:

I Obras de desarrollo lineal

II Obras de desarrollo superficial

Pertenecen al primer grupo, todas aquellas obras que poseen un eje longitudinal principal, sobre el cual se desarrollan las mismas.

Todas las partes componentes de esa obra, estarán referidas o vinculadas mediante una progresiva, tomada sobre el eje principal y la distancia transversal, a que se encuentra del mismo.



Obra de arte N° 30

Tipo 41211

$h = 2m$

$l = 2m$

$J = 36,80m.$

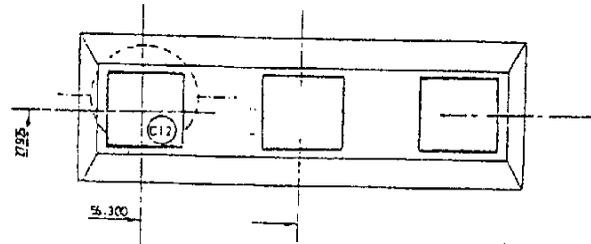
$= 30^\circ$

Progres. = 12530

dist. = 47,50m.

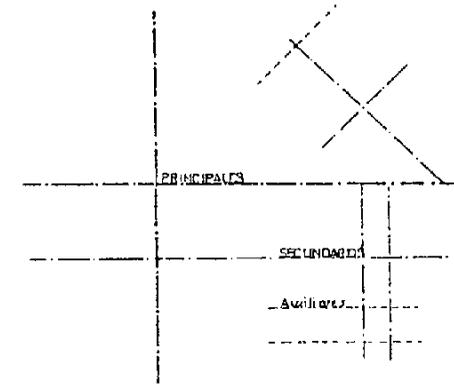
En el croquis vemos una obra de desarrollo lineal, un camino, allí el eje de referencia es el eje de la traza del camino. Observamos una alcantarilla referida al mismo.

Las obras encuadradas en el segundo grupo, se desarrollan alrededor de un polo o centro, abarcando una superficie más o menos amplia. Todas las partes componentes de este tipo de obras, estarán referidas por coordenadas rectangulares a un par de ejes principales, perpendiculares entre sí.



En el gráfico vemos parte de una obra de desarrollo superficial, una obra de arquitectura. Un punto cualquiera, en este caso el centro de una columna, está referida al sistema mediante dos coordenadas.

Algunas veces se adoptan otros eje, secundarios o auxiliares, paralelos o bien inclinados respecto a los principales, pero siempre referidos a los mismos. Esto ocurre frecuentemente, cuando dentro de una obra, hay otras con otro tipo de estructura y consecuentemente con otras tolerancias constructivas. Ello exige, para su posterior replanteo y control disponer de un sistema local de referencia, pero siempre vinculado al Sistema Principal de la obra.

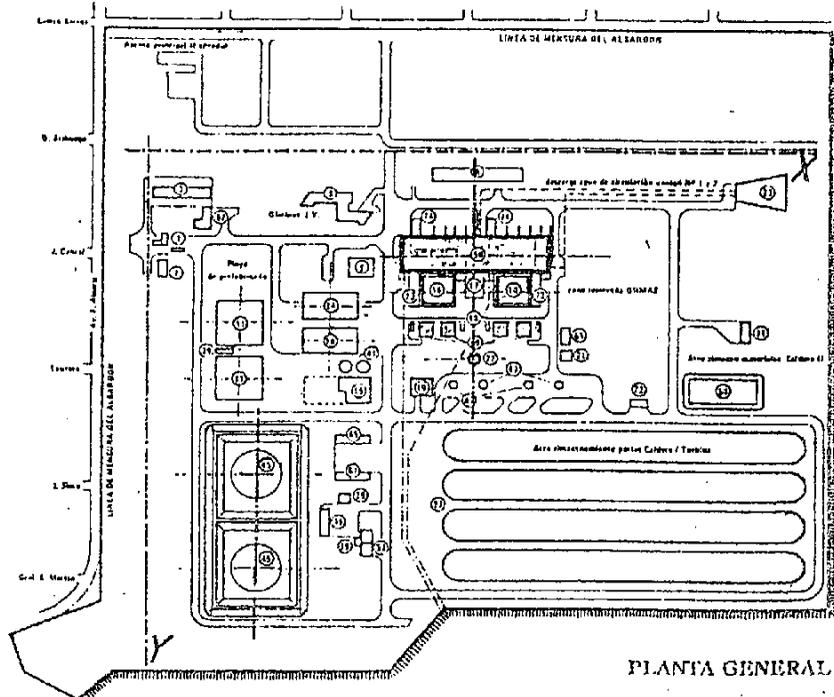


Esta clasificación, de acuerdo a las características geométricas y en especial a los sistemas de referencia, no es absoluta, pues se dan casos de obras, tales como las autopistas de penetración urbana, que si bien son de desarrollo lineal es conveniente referirlas a un sistema más amplio (si lo hubiere), luego cada parte de esta obra, un intercambiador, por ejemplo, estará referido a un sistema propio, al mismo tiempo tendrá una ubicación en la obra en general con una progresiva sobre el eje y coordenadas en el sistema general.

Obras:

CENTRAL TERMoeLECTRICA 2 x 310 MW

BAHIA BLANCA



- 1) Casa de custodia / Balanza para camiones - 2) Estacionamiento - 3) Sub-estación de alto voltaje - 7) Área para medición de S<sub>2</sub> - 8) Vestuarios y comedores - 9) Edificio administrativo - 10) Casa de alto tensión sin refrigerar - 11) Tanque de agua sin tratar - 14) Depósito - 15) Edificio de tratamiento de agua - 16) Calderas principales - 17) Edificio para eléctrico - 18) Talleres de mantenimiento - 19) Calderas auxiliares - 21) Tanque de diesel oil - 22) Distribuidor principal - 23) y motor - 27) Planta de almacenamiento de carbón - 28) Planta de tratamiento para aguas cloacales - 30) Camión de agua sin tratar - 41) Tanque de agua desmineralizada - 42) Silo de cenizas en suspensión - 43) Silo de cenizas en lodo - 45) Tanque de petróleo - 46) Unidad de perfusión y aceite calentador - 48) Prefabricados - 50) Edificio de turbinas - 53) Estanque de neutralización de desechos - 54) Estanque del agua residual proveniente del patio de almacenamiento de carbón - 57) Seguridad, control y primarios auxiliares - 58) Depósito de inflamables - 67) Garage de vehículos pesados y casa de hombres - 68) Generadores Diesel - 70) Casa de bombas - 71) Suministro de Hidrógeno y Nitrógeno - 72) Talleres de pintura y armado - 73) Planta de tratamiento de gas y fuel-oil - 74) Planta de tratamiento de condensado.

PLANTA GENERAL

OBRA DE DESARROLLO SUPERFICIAL

Sistema Principal de Referencia: ejes X e Y

Sistema Secundario: ejes x e y

Sistema Auxiliar: ejes 1 y 2 - 3 y 4 - etc.

Clasificación de las Obras de Ingeniería desde un punto de vista Geométrico

OBRAS DE DESARROLLO LINEAL	Vías de Comunicación	Caminos rurales - Carreteras - Autopistas Túneles viales - Vías férreas - Puentes
	Hidráulicas	Canales - túneles - acueductos Sistemas de riego - colectoras pluviales Colectoras de líquidos cloacales Oleoductos - gasoductos - poliductos
	Eléctricas	Redes de baja tensión - Líneas de media y alta tensión - torres de microondas
OBRAS DE DESARROLLO SUPERFICIAL	Ingeniería	Presas - Azudes - Intercambiadores Centrales de Energía (térmicas-hidráulicas) Plantas de potabilización y depuración Estaciones transformadoras - Fábricas Silos - Puertos - Aeropuertos
	Arquitectura	Hospitales - Estadios Complejos polideportivos - Ciudades Villas turísticas, residenciales - Barrios Escuelas - Cines - Edificios - Torres Hoteles - Aeropuertos
	Industriales y de montaje o instalación	Turbinas - turbogrupos - generadores Reactores - esclusas - compuertas rodillos - máquinas - cubiertas metálicas

### # 3. EL ANTEPROYECTO

Generalmente el Estado (Nacional, Provincial o Municipal), decide la construcción de una obra que es necesaria para promover el bienestar de la comunidad. Ya sea a través de sus propias oficinas de Estudios y Proyectos, o a través de una contratación especial con profesionales especialistas (Consultoras), encara el estudio de la factibilidad de la obra.

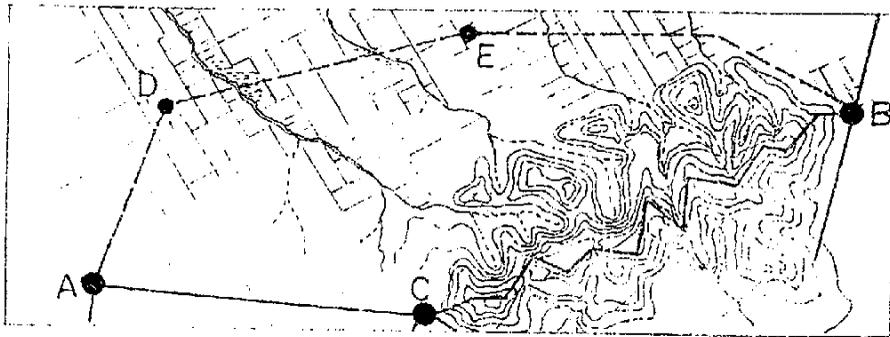
O bien puede tratarse de empresas privadas que encarguen a un grupo de profesionales independientes el estudio de factibilidades de determinada obra, por ejemplo la construcción de una fábrica, de un complejo deportivo, etc.

El anteproyecto, es entonces la primera etapa de la obra, es el estudio de factibilidad, es el análisis de tiempos y costos que insume la construcción de una determinada obra, cumpliendo fines previamente establecidos.

Analicemos un ejemplo supuesto. Se encara la tarea de realizar los estudios de factibilidad de un camino, el cual deberá unir dos polos de desarrollo, los centros urbanos A y B.

A partir de ese objetivo, la traza podrá seguir dos alternativas:

- El camino podrá pasar por otro polo de desarrollo, la ciudad "C".
- Podrá pasar por las localidades "E" y "D", que gracias al nuevo trazado podrán surgir como nuevos polos en el futuro.



Pero aquí comenzaran a sumarse nuevas variables, en primer lugar, las distintas longitudes de obra. Otra, la topografía del terreno, mientras que por "D-E" el terreno es llano; por "C" el terreno es de montaña. Esta condición, encarece las obras por "C", pues hay que realizar un mayor movimiento de suelos y más costoso (rocas). Esta es otra variable que entra en juego, el tipo de suelo. La alternativa "D-E", que en el croquis aparece en la zona llana, es a su vez baja respecto a la otra posibilidad, esto obliga a proyectar una mayor cantidad de obras de drenaje y alcantarillas. Al mismo tiempo que exigirá otro tipo de paquete estructural y se deberán levantar las cotas de la rasante, es decir habrá que construir terraplenes.

Aquí interviene otra variable, mientras que en el camino de montaña se compensan los terraplenes con los desmontes, en la llanura es necesario aportar material desde otro lado, encareciendo la obra por el elevado costo del transporte de suelos.

Otra variable, es entonces determinar la necesidad, ubicación y costos de explotación y transporte de los Yacimientos (lugar de extracción del suelo). Finalmente interviene otra variable, no menos importante, el costo de la expropiación, es decir lo que deberá invertir el Estado para liberar la zona de ocupación del camino. Es por demás obvio que los valores serán superiores en la zona llana que en la zona de montaña.

De más está decir, que los especialistas encargados de elaborar el anteproyecto, antes de encarar cualquier estudio, para poder analizar y luego combinar todas estas variables, necesitan disponer de un elevado caudal de información.

La fuente natural de incalculable valor informativo son las Cartas; es decir: Para conocer la Topografía del terreno, se emplean las cartas topográficas confeccionadas por el Instituto Geográfico Militar, en escalas pequeñas, 1:100000 y/o 1:50000 o cartas de la Dirección de Minería, Y.P.F., etc.

Para conocer el tipo de suelo, cartas geológicas, perfiles edafológicos, completados con fotointerpretación geomorfológica.

Para poder valorar el costo de la expropiación, es necesario recurrir a otro tipo de carta temática, los Registros Gráficos Catastrales y a las cartas de valuación con curvas de valores.

Con toda esta información, más las obtenidas a través de censos y/o estadísticas, se elabora el ante-proyecto, el cual, una vez aprobado, pasará a otra oficina, donde, siguiendo las pautas establecidas en el estudio preliminar, un equipo interdisciplinario de profesionales se encargará de elaborar el PROYECTO.

## # 4. EL PROYECTO

En la elaboración del mismo, intervendrán Arquitectos, Ingenieros: Civiles, Agrónomos, Agrimensores, Electricistas, Geólogos, Viales, Hidráulicos, especialistas en cálculo de estructuras de hormigón, etc.

El resultado de este trabajo será materializado en un compendio de documentos: Literales, Numéricos y Gráficos.

**Literales:** Pliego de condiciones generales y particulares.  
Pliegos de especificaciones técnicas.

**Numéricos:** Planillas de cálculo, memorias.

**Gráficos:** Los planos del Proyecto.

El plano del proyecto puede estar impreso en una sola lámina, tal es el caso de los proyectos de viviendas unifamiliares. O cientos de ellas, por ej. el proyecto de una presa.

Habrán planos temáticos por cada uno de los grupos intervinientes. Así por ej. habrá un conjunto de planos que definan la Arquitectura, otros de armadura, planeo de encofrado, de desagües pluviales, de electricidad, de iluminación, de parquización, de pavimentos, de montajes mecánico, etc.

Generalmente, todos los proyectos se elaboran a partir de un plano general, donde se expresa todo el conjunto de la obra, llamado PLANIMETRIA GENERAL. Pero para poder

elaborar dicha planimetría y consecuentemente para poder llevar a cabo todo el estudio del proyecto, los proyectistas necesitaron tener en sus manos un PLANO TOPOGRAFICO que le suministrará la información detallada que ellos necesitaban. Estos son, la infraestructura básica donde se va apoyar el proyecto. Es un modelo analógico del terreno, sobre el cual se ha volcado toda la información obtenida.

Muchas veces se comete el error de menospreciar la importancia del plano topográfico dejando la tarea del relevamiento en manos de operadores prácticos, pues existe la idea generalizada, que con la Topografía alcanza.

De nada vale que se ejecute un proyecto de una excepcional calidad, si el mismo se ha confeccionado apoyándose en un levantamiento deficiente. El resultado es que durante la ejecución de la obra, habrá que reacondicionar o modificar parte del proyecto, cuando lo que figura en el plano, no empalma o coincide con la realidad existente. Luego, la solución son "parches" que le van a costar al Estado muchas veces más, del ahorro que logró en el plano de relevamiento.

## # 5. CONSTRUCCION DE LA OBRA

**A**l iniciarse los trabajos de construcción de la obra, la primera tarea será del Agrimensor, quien será el encargado de ubicar la obra en el terreno.

El objetivo de la empresa constructora, es terminar la obra dentro de los plazos establecidos en el contrato. Buscando de lograrlo en tiempos más cortos, con la mayor economía. Para ello, se encara la obra desde muchos frentes de ataque, siguiendo un orden preestablecido, respondiendo a un PLAN DE OBRAS, que debe estar correctamente diagramado para que cumpla con este objetivo.

A medida que la obra va creciendo en dimensiones y en altura, se irán abriendo nuevos frentes de trabajo. Por ejemplo, es una gran obra de arquitectura, mientras un equipo realiza el movimiento de suelos, en un sector; por otro lado, otro grupo realiza los hormigones de fundación, mientras una tercera cuadrilla ejecuta los accesos, etc. Por supuesto, todas estas tareas, no podrán ser ejecutadas por un solo Agrimensor, sino que deberá integrarse un equipo de trabajo, formado por Agrimensores y Topógrafos.

Respecto a la forma de trabajo, hay dos criterios que pueden ser aplicados:

- a) Destinar uno de ellos en cada frente de trabajo, o a grupos de frentes que estén en la misma zona de trabajo, o que reúnan iguales características, como sería el caso de que hubiere un responsable para el movimiento de suelos, otro dedicado a los hormigones de las obras de artes menores, otro para las instalaciones, etc.

b) Si bien es más simple la forma antes vista, se necesita disponer de una mayor cantidad de instrumental y personal, que si se organiza un equipo que trabaje en conjunto, en toda la obra, de tal manera que si falta un topógrafo o agrimensor, pueda ser perfectamente cubierto por otro, o bien si un frente se detiene, el encargado pueda desempeñarse sin inconvenientes en otro lugar de trabajo. Así también, esta manera de proceder permite que dos operadores puedan trabajar en conjunto, como sería el caso de un replanteo por bisección.

En base al plan de obras, el Agrimensor planificará la cantidad de instrumentos de medición que se necesitará en obra; y la cantidad de personal necesario que integre el equipo. Previendo con suficiente anticipación la secuencia con que se van ir incorporando.

Y en base a las tolerancias constructivas que deberá respetar, proveerá disponer en el momento preciso, el instrumental de medición específico que necesitará.

También queda en sus manos, planificar, medir, calcular y compensar el SISTEMA DE APOYO, las mediciones necesarias para el REPLANTEO de la obra, el CONTROL geométrico del avance de la obra, y las mediciones y cálculos necesarios, COMPUTOS METRICOS, destinados a valorar lo construido; mediciones mensuales que se realizan con el objeto del cobro de los certificados; las cuales estarán también, dentro de las tareas del equipo.

Cada parte del proyecto, según dijimos, fue concebido por separado y en un marco ideal. Pero al ejecutarlos, a veces se observan superposiciones entre ellos, o bien errores debido al relevamiento o quizás los proyectistas partieron de un dato falso. Todos estos errores, son necesario detectarlos antes del replanteo para corregirlos oportunamente.

Estas correcciones que se introducen en el proyecto original y que en definitiva es como se van a construir, se llevan también a los planos y se elaboran los PLANOS CONFORME A OBRAS.

Muchas veces, ya terminada y en funcionamiento la obra, se hace necesario controlar o medir, las deformaciones que la misma va experimentando a medida que transcurre el tiempo. Esto se hace en aquellas obras que están expuestas a una gran carga o tensión, como son las presas, los ferrocarriles, los silos, las bases de las grandes máquinas (turbinas, generadores, etc.). Esto da a lugar a una importante rama de las mediciones especiales llamada AUSCULTACION de obras de Ingeniería.

Hemos seguido paso a paso todas las etapas del desarrollo de las obras de ingeniería, desde la idea gestadora del anteproyecto hasta el final, pasando por la construcción de la obra. Y aún después de finalizada, continúa la labor del Agrimensor.

A lo largo de este pantallazo evolutivo de una obra, vimos que es erróneo suponer que con el conocimiento de la Topografía es suficiente para llevar a cabo las tareas de relevamiento, replanteo y control. Y para aclarar aún más el panorama, diremos que en los montajes industriales, en la auscultación de las deformaciones y en algunas obras civiles muy particulares, es necesario el empleo de complicados modelos matemáticos de simulación y de resolución. Y métodos e instrumental geodésicos de medición. Esto es lo que se llama MICROGEODESIA. Ya vimos como nos valemos del CATASTRO PARCELARIO y de la CARTOGRAFIA, también nos apoyamos en la ASTRONOMIA de posición, para la determinación de coordenadas y azimutes en los relevamientos y replanteos de algunas obras de desarrollo lineal, de muchos km. de extensión, como son los poliductos o gasoductos; o del G.P.S. para determinar la posición de una plataforma submarina. Finalmente decimos que, también recurrimos a la FOTOGRAMETRIA AEREA, en el caso de carreteras, autopistas, diques y puertos; y terrestre en algunos levantamientos específicos como son las estrechas gargantas de los diques.

## # 6. MODELOS MATEMATICOS

Había una vez tres peces, que vivían en un charco. Ellos eran: un pez inteligente, uno semíinteligente y un pez tonto. La vida transcurría para ellos muy a la manera de los peces de cualquier lugar, hasta que un día llegó un hombre.

Llevaba una red, y el pez diestro lo vio a través del agua. Apelando a su experiencia, a los cuentos que había oído y a su habilidad, decidió ponerse en acción

"Hay pocos lugares para esconderse en este charco", pensó, "por lo tanto fingiré estar muerto."

Reunió sus fuerzas y saltó fuera del charco cayendo a los pies del pescador, quien quedó bastante sorprendido. Pero como el pez inteligente estaba conteniendo su respiración, el pescador supuso que estaba muerto, y lo arrojó nuevamente al agua. Entonces este pez se deslizó hacia una pequeña cavidad en la orilla.

Ahora bien, el segundo pez, el semíinteligente, no entendía del todo lo que estaba pasando. De modo que nadó hacia el pez diestro y le preguntó detalladamente acerca del asunto. "Simple", dijo el pez inteligente, "fingí estar muerto; de ese modo, él me arrojó nuevamente".

De manera que el pez semíinteligente saltó inmediatamente fuera del agua a los pies del pescador. "Extraño", pensó éste, "están saltando todos a mi alrededor". Y, como el pez semíinteligente había olvidado contener su respiración, el pescador se dio cuenta de que estaba vivo y lo puso en su bolsa.

Se dio vuelta para observar atentamente dentro del agua, y como había quedado algo confuso por los peces que saltaban a tierra junto a él, no cerró la solapa de su bolso. El pez semíinteligente, cuando se dio en cuenta de esto, aprovechó para liberarse, y moviéndose a sacudidas una y otra vez volvió al agua. Buscó al primer pez y se echó jadeante a su lado.

Mientras tanto el tercer pez, el tonto, no comprendió nada de esto, aun cuando había oído la versión del primero y del segundo pez. De manera que ellos repasaron cada detalle con él, poniendo de relieve la importancia de no respirar con el objeto de fingirse muerto.

"Muchísimas gracias. Ahora entendí", dijo el pez tonto. Diciendo estas palabras se arrojó fuera del agua y cayó junto al pescador.

Entonces el pescador habiendo perdido ya dos peces, puso a éste en su bolsa sin molestarse en mirar si estaba respirando o no. Tiró su red una y otra vez en el charco, pero el primero y el segundo pez estaban agazapados en una hondonada de la orilla, y la solapa del bolso del pescador en esta ocasión estaba bien cerrada.

Finalmente el pescador se dio por vencido. Abrió su bolso, comprobó que el pez tonto no respiraba y lo llevó a su casa para el gato.

#### MORALEJA:

El primero de los peces toma conciencia de un problema a resolver e inmediatamente plantea un modelo de resolución que le significa llegar al resultado buscado.

El segundo de ellos, en cambio imposibilitado de ver el problema por falta de conocimientos previos, aplica un modelo que no es elaborado por él y por consiguiente el resultado obtenido no es el correcto.

El tercer pez, a pesar de esforzarse por aplicar el modelo que al primero le dió resultado, cumpliendo cada paso con minucioso cuidado, los resultados obtenidos fueron con consecuencias lamentables ya que llegó tarde.

En conclusión, es tan importante que la formulación del modelo de resolución sea propio; como lo es, que el mismo sea ejecutado rápido.

En la ejecución de obras de ingeniería y arquitectura, los tiempos están muy ajustados, y un mal replanteo hecho, infiere rehacer la construcción, que es tan costoso como el tiempo perdido.

En este campo, el de las Mediciones Aplicadas, el Agrimensor se verá enfrentado a "Resolver Problemas", por tanto debemos buscar una manera eficaz de obtener una solución de los mismos. A pesar que ésta es una situación que se presenta frecuentemente, es muy poco lo que sabemos sobre métodos generales para resolver problemas. Sabemos que algunas personas los resuelven con mayor facilidad que otros, concluimos que esto es porque algunos tienen más talento que otras personas para hacerlo. Sin embargo ello se debe a que intuitivamente han ejercitado su capacidad más que otros.

Existen métodos sistemáticos para resolver problemas, es decir que cualquiera puede aprender algo de estos métodos e incrementar considerablemente su capacidad para resolver problemas.

El proceso que nos va a conducir a la solución de los mismos, se presenta en cuatro fases bien definidas, y, debemos tenerlas bien presentes a los fines de poder encararlos y resolverlos.

#### Estructura de los problemas:

1. Formulación precisa del problema
2. Desarrollo de un MODELO MATEMATICO (algoritmo)
3. Análisis matemático del modelo
4. Computación de la solución

Estas etapas no se cumplen solamente cuando nos enfrentamos con problemas a resolver en una obra, sino que responden a los problemas que se nos presentan a diario en nuestra vida de relación.

En primer lugar, tratamos de ver lo más claro posible al problema, luego hacemos varias consideraciones de causa-efecto, decimos por ejemplo:-Si hago esto, pasa esto otro-, aunque estas deducciones no sean muy científicas, sin embargo cumple el papel de elementales modelos matemáticos. Así comenzamos a manejar posibilidades y alternativas y realizamos sucesivos análisis, aunque parezca poco lógico o poco matemático. Una vez que nos hemos decidido por la alternativa más viable, computamos mentalmente todas las posibilidades que nos ofrece dicha solución.

En muchos casos el Agrimensor deberá recurrir al uso de una computadora para resolver algún problema. Si no tiene conocimientos de computación deberá buscar al especialista para solicitarle confeccione el programa que llegue a la solución buscada.

Si el agrimensor no puede comunicarse a través del lenguaje de diagrama de flujo, lo hará con los elementos que en castellano común dispone, es decir, intentará explicar que es lo que desea obtener, le mostrará los datos de que dispone, complicando aún más el entendimiento, pues en su lenguaje se incluirán tanto términos técnicos específicos, como fórmulas matemáticas que el programador desconoce su significado. Este es un riesgo grande que se corre, pues lo más lógico que suceda es que se mal interpreten las instrucciones. Si por el contrario, el agrimensor dispone de los elementos necesarios para realizar la programación, podrá además encontrar procedimientos de solución más simples, reduciendo los tiempos y costos.

Pero, considerando o no las forma de programar, resolvamos nosotros o no el problema, es necesario tener bien en claro una premisa que es fundamental:

Las computadoras requieren de instrucciones muy claras, definidas y seguras. Si nosotros no tenemos claro que debe hacerse, no podremos brindar instrucciones precisas a una computadora y mucho menos a un intermediario.

#### 1. Formulación precisa del problema

Una de las mayores causas de dificultades es que la naturaleza del problema no se conoce correctamente. No existe método alguno para obtener la solución correcta de un problema que ha sido planteado con vaguedad. Es necesario tener conciencia de esto muchas veces ante un problema de cualquier tipo, no podemos arribar a solución alguna, o bien, todas las soluciones son falsas. Es casi una certeza afirmar que la dificultad está en que faltan datos, o éstos están confundidos en la formulación.

Es preciso saber claramente que es lo que queremos, donde se quiere llegar.

## 2. Desarrollo de un modelo matemático

Comprende dos fases bien definidas:

La primera: es la identificación de las variables que intervienen

La segunda: Es la identificación de las relaciones existentes entre dichas variables y la solución.

Estas relaciones entre variables responden a leyes o bien a funciones o ecuaciones.

### Ejemplo 1

Si queremos conocer la superficie encerrada en un círculo decimos que

$$S = \pi R^2$$

aquí interviene una sola variable, el radio del círculo.

### Ejemplo 2

Si lo que deseamos es determinar el valor de una cuerda:

$$C = 2.R.\text{sen}.\alpha/2$$

Vemos que intervienen dos variables, el radio de la circunferencia y el ángulo central correspondiente a la cuerda cuyo valor queremos obtener.

### Ejemplo 3

Para determinar trigonómicamente el desnivel entre dos puntos, nos valemos del siguiente modelo:

$$H = L \text{tg}.\alpha + (1-k) \frac{L^2}{2R} + i - s$$

Observamos que en él intervienen cinco variables: la distancia entre los dos puntos, el ángulo vertical, el coeficiente de refracción, la altura del instrumento y la altura de la señal.

Un primer planteo consiste en aclarar cómo obtenemos los valores de las variables lo cual nos puede conducir a formular otros modelos auxiliares:

Por ejemplo el valor del ángulo vertical, lo hemos obtenido directamente o a partir de una medición de la distancia cenital.

La distancia, a partir de una medición directa, inclinada o reducida al horizonte. Indirecta a través de una intersección, o por diferencia de coordenadas.

Idem para el valor de "k".

## 3. Análisis matemático

Una vez que el problema se ha formulado con precisión y luego transformado en un conjunto de expresiones y relaciones matemáticas (ecuaciones), pasamos a efectuar el análisis del modelo elaborado.

Es decir que aplicamos reglas y procedimientos matemáticos con el objeto de reducir el modelo a formas más simples y comprensibles.

El análisis plantea dos objetivos:

### 1) Simplificar el problema:

Reducirlo matemáticamente, es decir, una vez encontrado el modelo buscado, se persigue simplificarlo, depurándolo, eliminando términos superfluos, etc.

2) El segundo objetivo es analizar si el modelo obtenido cumple con las exactitudes impuestas. Debemos buscar que sea armónico con los resultados deseados.

Por ejemplo, en el modelo antes obtenido de la nivelación trigonométrica, si deseamos aplicarlo en un levantamiento taquimétrico, luego de hacer una acotación de errores vemos que es factible de reducirlo despreciando el segundo término. Y si al mismo tiempo trabajamos llevando a que "s" sea igual a "i", entonces el modelo queda:

$$H = L \text{tg}.\alpha$$

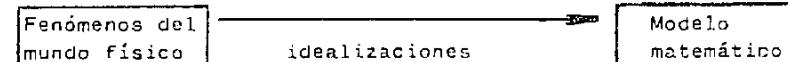
De como esté planteado el modelo, dependerá la exactitud de la solución. A veces se comete el error de pretender lograr una solución con exactitud mayor que lo que el modelo tiene por sí mismo.

### 4. Computación de una solución

Finalmente, ya depurado el modelo, realizamos el cálculo, reemplazamos las variables literales por los valores numéricos.

Una de las ventajas del enorme poder de las computadoras actuales estriba en que nos permite trabajar con modelos matemáticos muy complejos, lo cual, anteriormente escapaba de nuestras manos. A los fines de dar un ejemplo, podemos decir que antes, el laborioso cálculo de compensación a partir de mediciones de elementos supernumerarios era patrimonio exclusivo de la geodesia. Hoy en cambio introducimos esta valiosa herramienta en las mediciones topográficas y en la microgeodesia aplicada en las obras de ingeniería.

Es importante tener una idea clara de las relaciones existentes entre el modelo matemático y la realidad



El origen de los problemas está en el mundo real. Nuestros esfuerzos tienden a elaborar modelos o maquetas ideales que se le asemejen, para poderlos comprender. Los denominamos modelos matemáticos porque son abstractos y que generalmente lleva a que las relaciones se expresen mediante términos matemáticos, geométricos, trigonométricos etc.

Ejemplo:

Supongamos que un vehículo se desplaza a velocidad constante por una carretera (hecho real), el modelo matemático será el siguiente:  $E = V.t$

Es decir, que si el vehículo se desplaza a 60Km/h, en el término de una hora habrá recorrido 60Km.

Todos sabemos que este resultado es muy aproximado, pues para ser más exactos, deberíamos de haber tenido en cuenta otros factores, tales como que es imposible

mantener la aceleración constante por el término de una hora, habría, además que considerar la resistencia del aire, viento de frente o de cola, rozamiento de las gomas, estado de la ruta, neumáticos, etc.

Es decir que el primer modelo planteado presenta un error que denominamos error de modelo.

Para acercarlo más a la realidad, podemos deducir expresiones matemáticas que contemplen todos esos efectos. Podemos plantear un nuevo modelo incorporando al anterior todas las nuevas ecuaciones planteadas. Pero esto nos conducirá a resolver un nuevo problema, el de controlar todas las relaciones existentes entre la cantidad de variables contempladas llevándonos además, a una computación muy complicada.

Se puede, luego del análisis, llegar a la conclusión que muchos de los efectos pueden ser despreciados, Pero no todos lo son, pues al plantear el modelo primitivo no obtuvimos la respuesta correcta.

El primer modelo era demasiado simple, mientras que el segundo resultó demasiado complejo.

La conclusión que arribamos es la siguiente:

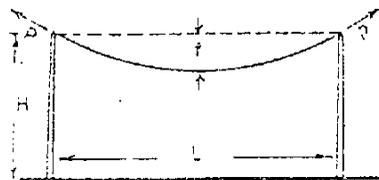
El modelo debe ser lo suficientemente aproximado, como para dar resultados útiles.

El mérito radica en obtener el modelo matemático más simple dentro de la precisión requerida.

Y esto ya es reiterativo, pero es necesario que se convierta en una norma de trabajo, en un principio; para poder comprender y valorar en su verdadera magnitud, la necesidad de la planificación y de la acotación de errores.

Ejemplos de modelos matemáticos:

1. Se está proyectando una línea de alta tensión y queremos saber si en medio de dos torres, la distancia que existe entre el cable y el suelo está dentro del margen de seguridad establecido.



Esto no lo podemos resolver si no buscamos un modelo que se aproxime a la curva física que materializa el cable. Después de muchos modelos aproximados llegaremos a la expresión de lo que denominamos catenaria, que es la relación que la experiencia demuestra como la curva geométrica que más se acerca a la realidad.

$$f = g/p \cdot L^2/8$$

Estamos acostumbrados a resolver los problemas mecánicamente, aplicando fórmulas estudiadas de memoria, sin embargo la mayoría de los problemas pueden resolverse deduciendo la fórmula, mediante razonamientos lógicos:

1) altura  $h = H$  (dato) -  $f$  (flecha)

2) Es inmediata la deducción que a mayor distancia entre postes, mayor será la flecha

$$f = f(L)$$

3) que cuanto más pesado sea el cable, mayor la flecha

$$f = f(g) \quad g: \text{peso por mm}^2$$

4) Que la longitud de la flecha será inversamente proporcional a la tensión del cable

$$f = f(1/p) \quad p: \text{tracción por mm}^2$$

5) Finalmente

$$f = f(g/p \cdot L)$$

Otro ejemplo:

2. En una carretera, cuando hay un cambio de dirección, con el fin de evitar que el automóvil se detenga por el brusco quiebre, se intercala una curva circular, cuyo modelo es la ecuación de la circunferencia. Pero esto trae aparejado que de igual modo el conductor deberá efectuar una maniobra brusca al pasar de la recta a la curva y después, nuevamente de la curva a la recta. Es por ello que se intercala una nueva curva llamada de transición, donde se busca que:

Manteniendo la velocidad y la aceleración constante, el conductor no sienta la maniobra, ya que el paso de la recta a curva es gradual. Se han intentado varios modelos para acercarse a ese ideal, podemos mencionar a la espiral de Arquímedes, la parábola cúbica, la espiral de Euler, etc.

3. Ejemplo de Topografía elemental:

Supongamos que deseamos medir la distancia entre dos mojones "A y B", (para simplificarlo convengamos que sea menor que una cintada.)

I. El primer modelo que se presenta es que:  $L = l$ .

Este modelo planteado sería el más simple y elemental, donde sólo interviene una variable, la lectura sobre la cinta. ( $l_0$ )

Pero supongamos que queremos mejorar el modelo para obtener una mayor exactitud.

1º) Identificar las variables:

- el esfuerzo tirante
- la sección de la cinta
- el material de que está hecha la cinta
- la variación de la temperatura
- el error de graduación

## 2º) Identificar las relaciones entre variables

a) A mayor esfuerzo tirante, mayor distancia

$$L = \Delta P$$

b) A mayor sección menos estiramiento

$$L = \frac{l_0}{S}$$

c) A mayor coeficiente de elasticidad "E", mayor rigidez, en consecuencia hay un menor estiramiento.

$$L = \frac{l_0}{E}$$

Combinando a, b y c:

$$L = \frac{l_0 \Delta P}{S \cdot E}$$

d) A mayor gradiente de temperatura, mayor dilatación de la cinta.  
A mayor coeficiente de dilatación, mayor estiramiento.

$$L = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t^\circ$$

e) Cualquier error que hubiere por mala graduación de la cinta, se traslada directamente a la medición:

$$L = l_0 \pm c$$

II. Estamos en condiciones de formular nuestro nuevo modelo:

$$L = l_0 \pm c \pm l_0 \cdot \frac{\Delta P}{S \cdot E} \pm l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t^\circ$$

Vemos si lo que hemos obtenido cumple con nuestras exigencias, si es razonable, si lo podemos adoptar como válido. Sino, debemos examinar nuevamente todo el proceso de reformulación.

Este proceso de estructurar modelos matemáticos, comprobar resultados en función de la realidad y luego redefinir al modelo, es el análisis matemático.

Finalmente estamos en condiciones de computar para obtener el resultado, reemplazando las variables por sus valores:

$$\begin{aligned} l_0 &= 30.565 \text{ m} & c &= + 2 \text{ mm} \\ \alpha &= 11 \times 10 \text{ mm/C}^\circ & E &= 21 \text{ T/mm} \\ S &= 2 \text{ mm} & t &= 35^\circ \text{C} \implies \Delta t^\circ = 15^\circ \text{C} \\ & & P &= 2 \text{ Kg} \implies \Delta P = -3 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$L = 30.560 \text{ m}$$

## 6 -1. ALGORITMOS

La palabra "algoritmo" se deriva del nombre de un matemático árabe del siglo IX, llamado Al-khuwarizmi quien describió varios métodos para resolver problemas de aritmética. Estos métodos fueron presentados como una lista de instrucciones específicas (como una receta), de allí que empleamos dicho nombre.

Un algoritmo es, en forma intuitiva, una receta, un conjunto de instrucciones o de especificaciones sobre un proceso para hacer algo. Ese "algo", generalmente es la solución de un problema. Una definición más acertada sería: Un algoritmo es un conjunto de instrucciones efectivas y explícitas para llevar a cabo un procedimiento de cómputo (no necesariamente numérico) que pueda usarse para encontrar la respuesta de cualquier pregunta, entre las de una clase determinada.

Surgen así, algoritmos apropiados para cada clase de preguntas.

Se hicieron intentos para hacer más precisa la noción de algoritmo:

- Máquinas computadoras abstractas
- Construcciones formales de procedimientos de cómputos
- Construcciones formales de productoras de clases-funciones

Pero la definición más didáctica es sin dudas la de receta (sucesión correlativa de instrucciones)

Son algoritmos: la receta de una comida, la receta de un médico, la coreografía de una danza, las instrucciones de un director técnico de fútbol, etc. .

### ALGORITMO PARA ELABORAR UN "PURE DUQUESA"

Algoritmo para elaborar un "puré duquesa"

Cocinar dos papas grandes cortadas en rodajas, en agua con sal.  
Cuando estén cocidas, escurrirlas y pisarlas, agregar una yema y 30g de manteca, condimentar con sal, pimienta y nuez moscada, y una cucharadita de jugo de limón.

Es evidente que para llegar a un buen resultado habrá que seguir estas instrucciones en la secuencia indicada. Si se lo alterara, por ejemplo, si se agregara la manteca antes de cocinar las papas, el resultado sería un verdadero fracaso.

### Algoritmo para calcular la superficie de un polígono

medimos los ángulos  
medimos los lados  
corregimos los lados  
compensamos los ángulos  
calculamos los rumbos  
calculamos las coordenadas de los vértices  
compensamos las coordenadas  
calculamos la superficie

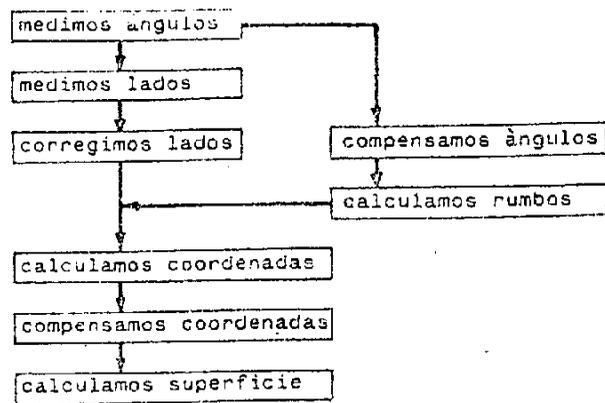
Necesitaremos otra forma, otro lenguaje más eficaz de expresar y describir algoritmos.

6-2. LENGUAJE DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO

Buscamos una manera más clara de expresar los algoritmos, hasta aquí los hemos descrito en castellano común. Una manera clara y simple de transmitir informaciones es el empleo de diagramas. Un diagrama de flujo, es en esencia un diagrama de líneas que unen cajas, las cuales contienen las instrucciones a seguir.

Las cajas representan pasos elementales y las líneas indican las relaciones existentes entre ellas. Deben resolverse de arriba hacia abajo, las líneas indican el orden a seguir. Si seguimos el camino que indican las flechas, seguiremos el flujo del algoritmo. De allí el nombre de los diagramas.

Expresamos ahora el algoritmo que elaboramos para el cálculo de superficie empleando el diagrama de flujos:

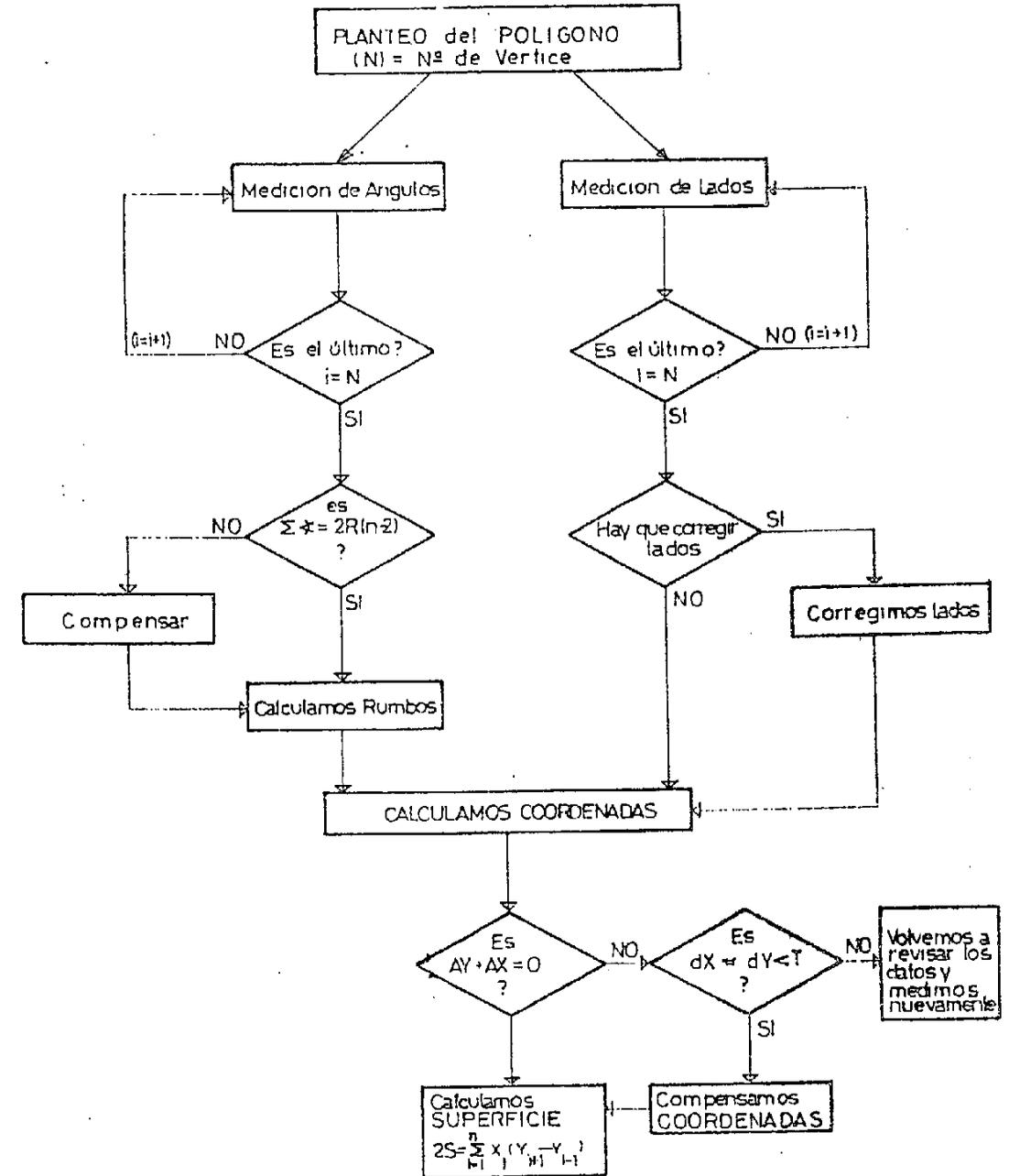
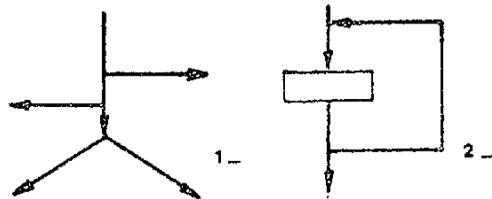


Una característica de los diagramas de flujo es que pueden hacerse preguntas en las cajas. Las líneas que salen de las cajas se señalan con "SI" o "NO" y el flujo va según la dirección que corresponda a la respuesta.1-

En las ramificaciones de algoritmo se observa una de las principales diferencias con el lenguaje natural. Mientras que el segundo es secuencial, el diagrama de flujos nos permite ramificar.

Los diagramas ofrecen una expresión bidimensional, mientras que el natural es unidimensional o lineal.

Otra propiedad del diagrama, la iteración o bucle. El empleo de esta instrucción nos ahorra el tener que expresar reiteradas veces el mismo razonamiento. Para salir del bucle hace falta introducir una instrucción de pasada.2-



## # 7. EL PLAN DE OBRAS

### PROGRAMACION POR CAMINO CRITICO

La programación por camino crítico es el mejor recurso que dispone el equipo de conducción de una obra para obtener y compilar información, para planificar la ejecución pero fundamentalmente para la toma de decisiones.

Surge como método en el año 1957 con el nombre de CPM o método del camino crítico. Simultáneamente, se emplea en los Estados Unidos un método similar, para la programación de los submarinos atómicos "Polaris", conocidos con el nombre de P.E.R.T. (técnicas de evaluación y control de programa).

### Elementos del diagrama

Todo proyecto, programa o trabajo puede ser descompuesto en tareas elementales. Donde a cada una de ellas la representamos como una flecha de un diagrama de flujos. Por ejemplo grafiquemos el trabajo realizado por un operador que mide un ángulo.

apunta al rumbo izquierdo (A) y toma lectura  
apunta al rumbo derecho (B) y toma lectura  
efectúa la operación (B - A) - resta-

(1) lectura en A (2) lectura en B (3) resta (4)

El orden de la secuencia de los trabajos, está basada en el conocimiento que el operador dispone de la tarea a realizar. De esta forma, se garantiza que no puede iniciarse la operación resta sin antes haber medido los rumbos A Y B.

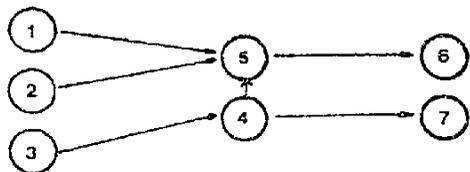
Se observan aquí, dos elementos básicos del diagrama que son:

1. Sucesos o acontecimientos:

Representados por las cajas del diagrama, perfectamente definidos en el tiempo y que indican el comienzo y el final de una tarea, ocupando sólo un instante de tiempo, por lo tanto no supone gasto de tiempo ni de recursos.

2. Actividades o tareas:

Son las tareas a realizar en que se descompuso el todo y que hay que ejecutarlas para que pueda verificarse el próximo suceso. Estas actividades pueden ser una operación, un suministro o una espera. En cualesquiera de los casos siempre consumen tiempo.



NOTA: las dimensiones de las longitudes de las flechas no representan magnitud alguna. No es un vector.

Observemos ahora el esquema, aparece una actividad 5-6, cuya ejecución depende de otras tres: la 1-5, 2-5, y la 3-4.

Para representar esta situación, es decir que para que pueda comenzar la actividad 5-6 se necesita que antes se haya cumplido con la 3-4, se introduce un artificio que consiste en una flecha como la 4-5, que se dibuja en trazos con la dirección que corresponde y que se llaman actividad ficticia o virtual. Que en general implican restricciones y dependencias entre ciertos sucesos. La característica fundamental de estas actividades es que no demandan tiempo ni recursos.

Pasos a seguir para la confección del diagrama

1. Listado de tareas

El proyecto deberá descomponerse en tantas tareas como se considere necesario, comenzando con la que le da origen al proyecto y continuando hasta el suceso final que es el Objetivo.

- 1.a. Todos los factores que la condicionan ya sea técnicos, de prioridad, de suministros, etc.
- 1.b. Las tareas que deben precederlas.
- 1.c. Las que dependen de ellas
- 1.d. Las que pueden ser ejecutadas simultáneamente

Una diferencia de estos diagramas de flujos, con los anteriormente vistos, está en el hecho en que estos diagramas no admiten ciclos o bucles, porque la variable es el tiempo.

2. Numeración de la red

Si a cada suceso o nodo se le asigna un N°, cada actividad podrá designarse por el número de su nodo origen y su nodo final.

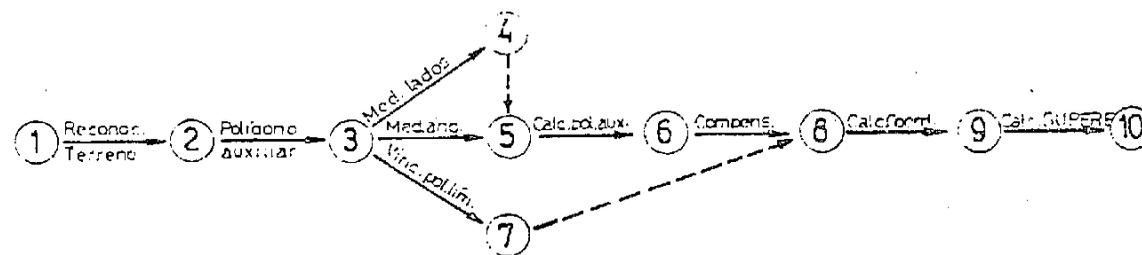
Se le asigna al nodo inicial del programa el N° 1 y se trata de numerar de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Colocándolos siempre consecutivos, es decir al N° 12 no puede precederlo el nodo con N° 13.

Ejemplo de aplicación:

Confección de un programa para obtener la superficie de un polígono

1. Descripción de las tareas (algoritmo)

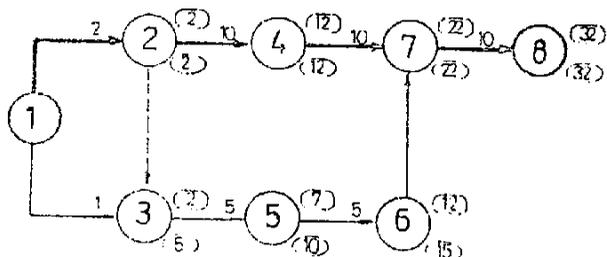
- reconocimiento del terreno
- materialización de un polígono auxiliar
- medición de los lados del polígono
- medición de los ángulos del polígono
- vinculación al polígono límite
- cálculo del polígono auxiliar
- compensación
- cálculo de las coordenadas de los vértices
- cálculo de la superficie



4. Duración del programa - Estimación de tiempos

Una vez finalizada la diagramación del programa, se hace necesario darle tiempo a cada actividad, el que es indispensable para ejecutarla.

tarea	descripción de la tarea	duración probable
1-2	búsqueda de planos, anteced.	2 días
2-4	replanteo de la obra	10 días
4-7		10 días
1-3		1 día
etc.		



En el esquema se observa que el tiempo necesario para llegar de 1 a 8, puede hacerse siguiendo tres caminos distintos: 1-2-4-7 ó 1-3-5-6-7- ó 1-2-3-5-6-7

#### Fecha más próxima

Como es sabido, una actividad no puede iniciarse si no están terminadas todas las que llegan, la fecha más próxima de realización de un acontecimiento, será la que correspondá según el camino más largo que se pueda seguir para llegar a él.

Es decir, el acontecimiento 7 del ejemplo, por un camino se verifica a 19 días, y por el otro camino a los 22 días. Por lo tanto, se deduce que dicho suceso, no podrá alcanzarse antes de 22 días.

El mismo razonamiento se sigue para determinar la fecha más próxima de todos los nodos del diagrama, así la correspondiente al nodo 8 será de 32 días.

Están dadas entonces, las condiciones para determinar la "FP" de cada suceso, o lo que es lo mismo el menor tiempo en que es posible dar término a todas las actividades que llegan a un nodo, e iniciar las que salen de él. Esas fechas son las que figuran en el cuadro.

#### Fecha más lejana

(Se adoptan las expresiones de "fecha más próxima" y "fecha más lejana", aunque se trate de períodos de tiempo y no de fechas, porque el uso de ellas se ha generalizado).

Otro dato de interés es la "fecha más lejana", FL, significa el tiempo límite en que pueda verificarse un suceso sin que éste provoque un atraso en todo el programa.

Para determinar la fecha más lejana de un suceso, se parte del evento final, en que se han igualado las dos fechas y en sentido inverso se recorre todos los caminos hasta llegar al suceso en cuestión, restando del valor FL de cada nodo, la duración de la actividad que llega a él, la fecha buscada será el menor de los valores resultantes.

Las fechas encontradas, se dibujan en el diagrama encerradas en una elipse

#### Holguras o márgenes

Conocidos los valores de FP y FL de todos los sucesos del programa, se puede definir para cada uno de ellos el intervalo de flotamiento o margen de tiempo, que es el lapso dentro del cual puede ubicarse el acontecimiento sin provocar un atraso en la ejecución del proyecto.

En el esquema dibujado, puede observarse que el suceso (6) puede verificarse hasta el día 15 sin que se produzca un atraso en el proyecto. Hay entonces un margen u holgura de tres días en dicha actividad.

En cambio el suceso (4) debe verificarse sí o sí a los 12 días, no hay margen.

#### Camino Crítico:

De la observación de la red, resulta que hay un conjunto de nodos que tienen la particularidad de tener iguales valores de FP y FL, lo que quieren decir que carecen de intervalos de flotamientos y por lo tanto esos acontecimientos deben verificarse en las fechas indicadas o el objetivo del programa sufrirá un atraso.

A este camino formado por actividades sin márgenes de flotamiento, se lo llama **camino crítico**, ya que cualquier atraso que se produzca en las tareas que componen este camino, indefectiblemente produce un atraso en la fecha del objetivo final. Los nodos que forman parte de ese camino, son los eventos críticos y las tareas, actividades críticas. En la red se dibujan remarcadas.

#### DIAGRAMA DE GANTT

De mucho interés, porque se obtiene una visión más objetiva del plan de trabajos y permite un mejor estudio con relación a la distribución de equipos y mano de obra, es la representación del programa elaborado mediante el clásico diagrama de barras o de Gantt.

Es un método de control visual de dirección, ideado durante la primera guerra mundial. El Gantt sirve para análisis de conjunto, de orientación global, es de destacar que el margen de error varía fundamentalmente con la experiencia y/o la visión del analista o el grado de profundidad del análisis efectuado. Es decir, que puede ser elaborado en forma muy precisa, partiendo del camino crítico o bien puede ser una programación independiente más bien intuitiva.

El diagrama consiste en un calendario lineal, donde el tiempo (que es la variable más importante, como en el CPM) figura en las abscisas y los trabajos a realizar en el eje de ordenadas. El intervalo temporal se puede dividir y subdividir en la forma que se desee, adaptándolo al tipo de trabajo o al grado de exactitud empleada. (meses, semanas, días, horas)

A su vez, las tareas también admiten divisiones en items, o subdivisiones en subtareas que componen el item.

Se puede decir que existe dos tipos de diagramas de Gantt, aunque básicamente responden al mismo concepto, varían algo en su forma.

a. Diagrama de planificación:

Las actividades se representan por símbolos



La barra de progreso no guarda necesariamente relación alguna con la cantidad de tiempo efectivamente empleado ni con el momento en que la actividad ha sido finalizada.

Es decir, la medición del comienzo y el fin de la ejecución de la actividad no sale de los límites de la barra. Por ende, este tipo de diagrama, no tiene utilidad como registro histórico.

b. Diagramas de progreso:

Se utilizan en control de producción, para mostrar el trabajo realizado en relación con el tiempo previsto.

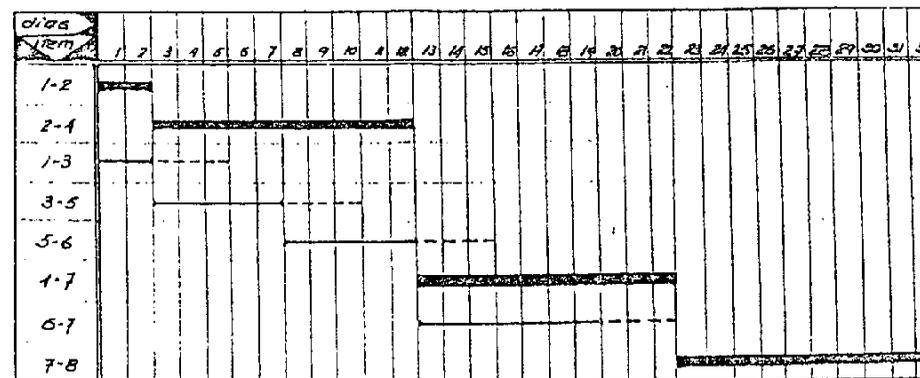
	SEMANA del 7 al 14		SEMANA del 15 al 22		SEMANA del 23 al 30	
Producción estimada mensual	100	100	125	225	150	375
avance acumulado (real)	[Barra de progreso que muestra el avance real acumulado]					

Producción acumulada (estim.)

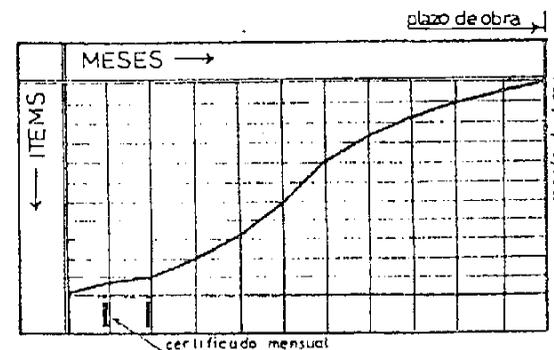
Registro del avance parcial (real)

En lugar de emplear dos trazos distintos, suele reemplazárselos por colores.

Lo más común en una obra de Ingeniería, es que el diagrama de Gantt se elabora a partir del camino crítico, en cuyo caso, la división temporal será frecuentemente mensual o quincenal, y de tareas coincidentes con los items del contrato. El diagrama de Gantt permite visualizar rápidamente las holguras de los tiempos flotantes pues la barra correspondiente se dibuja en líneas de trazo. Y del camino crítico que, en cualquier caso queda representado por un conjunto de barras (dibujada en negro, trazo grueso) sin solución de continuidad entre ellas.



Si a cada barra, se le adiciona el valor monetario equivalente al ítem, la suma de la columna correspondiente al mes, arrojaría el valor del monto invertido. Representado este valor sobre las ordenadas y uniendo todos estos puntos, establecerían la curva de inversiones.



2

**MEDICIONES EN OBRA**

# I. RELEVAMIENTOS

## RELEVAMIENTO PREVIO

(Mediciones previas)

Un plano topográfico tiene muchas aplicaciones, pero su objetivo principal es el de proporcionar información, datos ciertos de la manera más conveniente para llevar a cabo un proyecto de una obra de ingeniería.

A menos que se elabore un proyecto que se adapte muy de cerca a la topografía existente, puede ocurrir que los resultados no sean los correctos y más aún que el costo final escape a los presupuestos preestablecidos.

El costo de los movimientos de suelos depende fundamentalmente de la relación proyecto - topografía; por esta razón, es necesario prever con el mayor detalle posible los movimientos de tierra antes de decidirse por un plan determinado.

Pero no solo afecta al movimiento de suelos, la ubicación planialtimétrica de los puentes y obras de arte del proyecto, deben coincidir exactamente con los hechos existentes. El eje de un puente del proyecto, debe coincidir con el eje de la avenida actual.

La cota proyectada de un puente canal, debe coincidir con la cota del canal actual.

La falta de esta estrecha relación trae como resultado un altísimo costo adicional para la corrección y readecuación del proyecto a la realidad, durante la etapa constructiva.

## I. 1 EL PLANO TOPOGRAFICO

Existen dos grandes clases de mapas que proporcionan información cuantitativa e información sobre su distribución espacial.

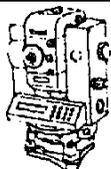
1. El primer grupo, son los planos, cuya información proviene de una base estadística se la representa sobre el plano con símbolos proporcionales o con diagramas.

2. El segundo grupo lo constituyen los planos donde, la información se trasmite directamente. Ya sea a través de curvas o a través de notas y leyendas.

Pertencen a este grupo las cartas climáticas, geológicas, fitomorfológicas y los planos y cartas topográficas.

Aparece el plano topográfico como un instrumento, pero en realidad se trata de un conjunto de instrumentos. Los cuales serán utilizados por distintos profesionales de distintas disciplinas, es muy común que suceda que estos usuarios saquen deducciones contradictorias, pues no es simple interpretar correctamente las curvas de nivel y la simbología empleada.

La información contenida en el plano topográfico debe estar estrechamente vinculada a la realidad, además debe estar expresada en forma clara, exacta y precisa. No puede ser nunca, incierta, dudosa o ambigua.



## I. 2 ELEMENTO QUE DEBE CONTENER EL PLANO DE RELEVAMIENTO

1. La forma del terreno (el relieve la pendiente).

2. La información (general y específica)

Un plano de relieve, es una representación del terreno en tres dimensiones. Es un modelo geométrico, sobre el cual se asienta la información.

Algunos levantamientos topográficos abarcan sólo un par de Ha., que es el caso de las obras de Arquitectura (barrios, villas, grupos comunitarios, etc). Otros en cambio cubren centenares de Ha., que es el caso de los levantamientos para la elaboración del proyecto de una presa. Los levantamientos para los proyectos de gasoductos, por ejemplo cubren cientos de Km.

Generalmente la zona a relevar, cubre áreas mayores que las estrictamente necesarias, extendiéndose fuera de los límites de la zona de ocupación de la futura obra para facilitar el proyecto de caminos auxiliares, lugar donde puede ubicarse el obrador, o para futuras obras de ampliación del proyecto.

### 1. Representación de la forma del terreno

Desde los primeros tiempos de la construcción de mapas, la representación del relieve ha constituido uno de los mayores problemas de los cartógrafos, ya que implica la representación de tres dimensiones sobre una superficie plana.

#### a) Cotas de altitud

Este método consiste en distribuir sobre el plano, lo más uniformemente posible, cotas relativas o alturas sobre el nivel del mar. Su mayor mérito es que proporciona una información precisa y definida, (en tal punto, la cota es tal); y su mayor defecto es que distribuidos sobre el plano, brindan una información dispersa y no una impresión conjunta del relieve. Para mejorarlo, se combina esta técnica con sombreado, esfumado y/o rayado.

#### b. Curvas de nivel

Son líneas equipotenciales, unen puntos de igual altura, los cuales se encuentran por arriba o por debajo del plano de referencia elegido.

Las curvas de nivel se construyen a partir de puntos relevados en el terreno, efectuando entre ellos una interpolación lineal. La exactitud con la cual queda definida una curva de nivel, depende de la exactitud del relevamiento, de la equidistancia elegida y de la densidad del muestreo (Nº de observaciones).

A menudo, para determinados fines, una sola curva, por sí sola, resulta muy significativa, como por ejemplo, la curva que define el pie de una barranca, la curva que define el pelo de agua de una laguna y las curvas representativas de la alta y baja mar en el relevamiento de una costa para el proyecto de un puerto.

#### b.1) Características principales de la curva de nivel

Este tema se desarrolla en la Topografía, lo que a continuación se enumera, es a los efectos de hacer un breve repaso.

1. la distancia horizontal entre curvas es inversamente proporcional a las pendientes
2. Si la pendiente es uniforme, las curvas están a igual distancia horizontal.
3. En superficies planas, tales como los taludes de una carretera, las curvas se transforman en líneas rectas.
4. Las curvas de nivel son perpendiculares a las líneas de máxima pendiente, igual que las colectoras y las dorsales.
5. Todas las curvas de nivel son cerradas.
6. Las curvas de nivel no se cruzan, ni se cortan. Sí, puede ocurrir que se junten en un barranco o en un acantilado o corte de cantera.

7. No puede suceder que una curva de nivel esté entre otras de menor o mayor cota. Siempre la precede una curva de menor valor y sigue otra de mayor cuantía, lo que si pueda suceder es que siga una de igual valor (es decir la misma curva).

#### b.2) Equidistancia

Ya se vio también en Topografía como se puede determinar la equidistancia entre curvas de nivel. Utilizamos un modelo que depende de la Escala de la carta y de las pendientes medias del terreno:

$$e_m = d_{mm} \frac{M}{1000} .tg\alpha$$

Se trata de buscar la distancia horizontal entre curvas se encuentre comprendida entre 2mm y 2cm, para que el dibujo sea claro y esté convenientemente distribuido sobre la carta.

En nuestro caso, este modelo lo aplicamos como un punto de partida, pero seguramente a medida que vamos planificando el relevamiento irán cambiando las pautas, pues aquí interviene otra variable que es el fin a que será destinada la carta.

Así por ejemplo, será muy distinta la equidistancia a emplear si en la obra se va a realizar un movimiento de suelo en una zona de roca, o si lo que se va a mover es suelo vegetal. Si se trata de hacer un relevamiento en una zona densamente poblada, por ejemplo una autopista que cruza el centro de una ciudad o si se trata de una carretera rural. Si se nos encarga el relevamiento topo-batimétrico de un río, seguramente deduciremos la equidistancia a partir del modelo antes mencionado, pero será más estrecha a medida que nos acerquemos a la zona donde será emplazada la fundación del puente, o las obras de defensa del puerto.

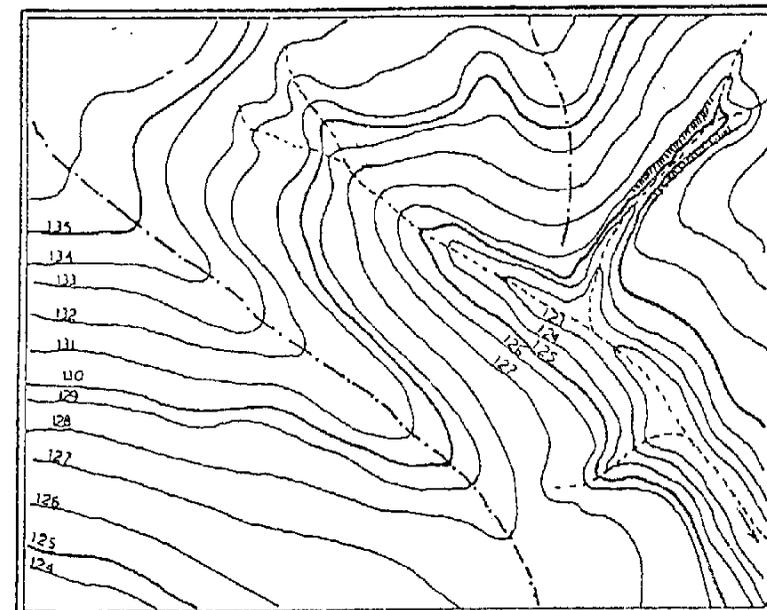
## 2. Información

La selección de la información que se va a volcar sobre la carta, va a depender del objetivo de la misma, es decir de las características de la obra a proyectar. Por ejemplo, si en una zona se va a proyectar una avenida, nada importa que en la faja de ocupación haya o no árboles, pues a efectuar los trabajos de limpieza y movimientos de tierra, muy poco es lo que incide la presencia de árboles. Por lo tanto no tiene sentido incluir el levantamiento de ellos en el plano de relevamiento, sin embargo, si en la zona fuese a construirse un grupo edilicio, en lugar de la avenida, y el proyecto incluyera una zona parqueada con espacios verdes; en este caso sería muy importante conservar las especies existentes y habría que relevar no sólo la ubicación de cada árbol, sino que habría que hacer mención de las características de los mismos.

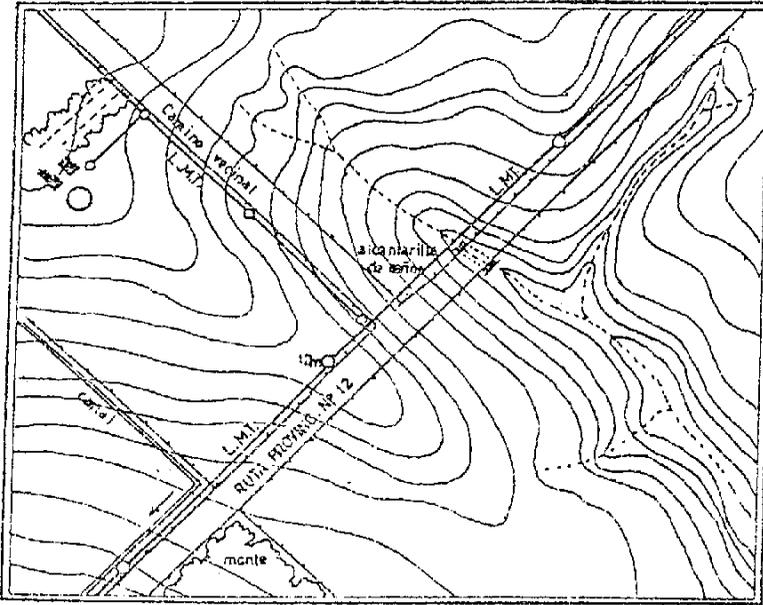
En general, se levantan las calles, caminos vecinales, rutas y el desagüe de las mismas: cunetas, alcantarillas, disipadores, etc. Los elementos que materializan los límites de las calles: alambrados - muros - edificios -. Los alambrados que pudieren revestir importancia: límites de propiedad, de posesión. Muros: muros medianeros, muros contiguos. Líneas municipales, líneas de edificación, etc.

*Esquematación de los elementos esenciales que deberá contener un plano de relevamiento para la elaboración del proyecto de una determinada obra.*

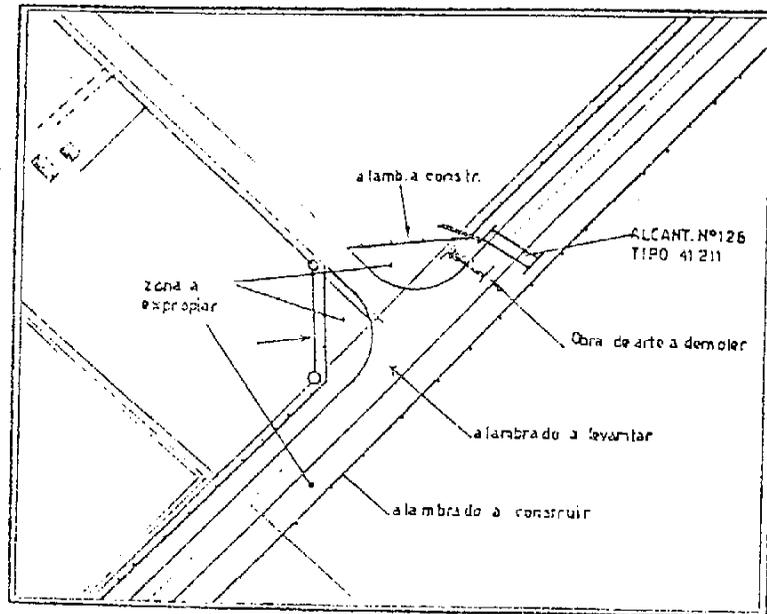
Forma del terreno



## Información



## PROYECTO



Acequias de riego, canales, acueductos. Líneas eléctricas de baja, media y alta tensión. La ubicación de los postes, de las torres, cotas de las bases. Ríos, arroyos, cauces secos, barrancos, mallines. Grupos de árboles, edificios, construcciones, galpones, molinos, tanques cisternas, etc.

Pero la información más importante, es detectar y relevar aquella que es invisible a nuestros ojos, es decir los conductos subterráneos. Redes de distribución de agua, de gas, sistemas de riego entubados, desagües pluviales, desagües cloacales, cables subterráneos, Etc.

La importancia de estos relevamientos, estriba en el hecho de que no son visibles por lo tanto son extremadamente peligrosos. Existen casos en que por no disponer de dicha información, ocurrieron accidentes con graves consecuencias.

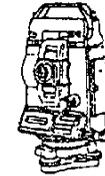
Hay obras, tales como los túneles para trenes subterráneos o túneles para desagües cloacales o pluviales, donde los planos de relevamiento son casi exclusivamente elaborados con este tipo de información-no visible.(1)

¿Cómo se hace para levantarlos y dibujarlos, si no se los ve?

Los que se releva, son los signos visibles de estas obras, válvulas, bocas de registro, bocas de tormenta, cámaras de inspección, etc.

Con estos datos, y los obtenidos de los respectivos planos conforme a obras, con las normas constructivas de cada repartición, completamos el plano.

(1) Ver catastro de conductos Subterráneos

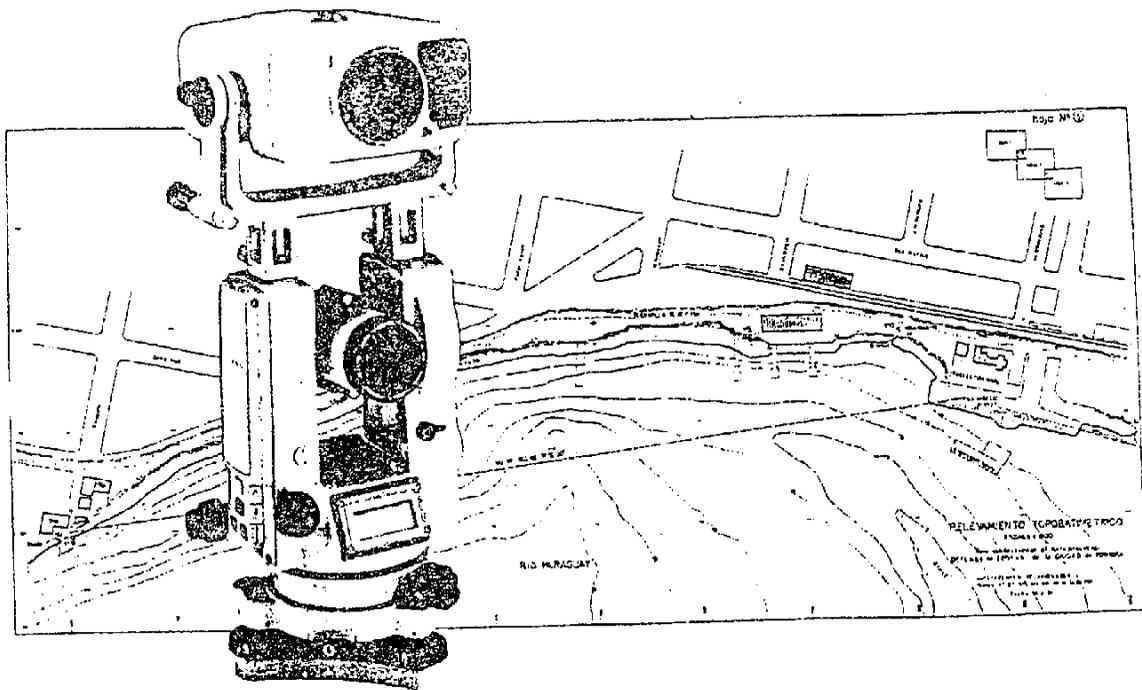


## 1.3 METODOS DE RELEVAMIENTO

### 1.3a TAQUIMETRIA ELECTRONICA

Quando se piensa realizar el relevamiento destinado al proyecto de una obra de desarrollo superficial, dejando de lado los métodos fotogramétricos, lo más empleado por ser más ventajoso es la taquimetría electrónica.

El distanciómetro es el instrumento ideal para levantamientos polares, pues nos permite relevar una gran cantidad de puntos con elevada rapidez, lo que con otros métodos sería lento y agobiante. Estos instrumentos poseen incorporado una calculadora que permite se introduzca el ángulo vertical apareciendo en el display directamente la distancia reducida al horizonte y el desnivel del punto respecto a la estación. por lo tanto, en la libreta de campo se anota rumbo - distancia reducida y desnivel lo cual significa un considerable ahorro en las tareas posteriores de gabinete.

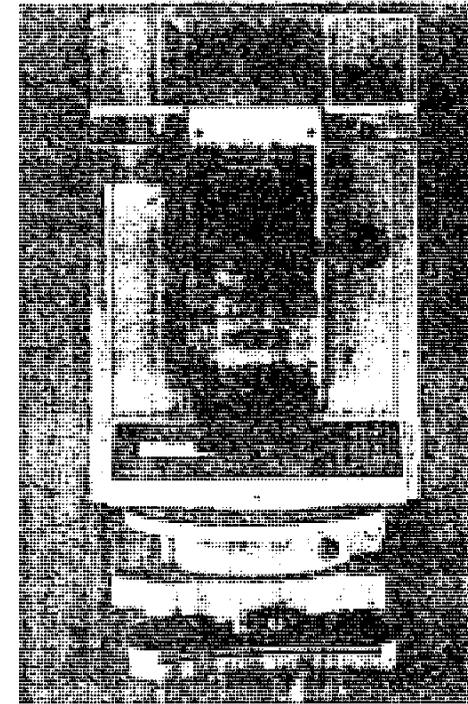


Mientras que se digitaliza el ángulo vertical y se toma nota en las libretas de campo, es el tiempo que se aprovecha para que el mirero que tiene los prismas, se desplace a otra posición. Toda esta operación puede insumir entre 10 y 20 seg. ya que dichos aparatos efectúan la medición en tiempos que oscilan entre 2 y 8 segundos. Por tal motivo, un operador práctico, puede levantar, según las complicaciones de los distintos trabajos más de 100 puntos por hora.

Todo indica que el avance tecnológico logrado no se va a detener y que por el contrario tiende a reducir más los tiempos de estacionamiento, de verticalidad, de apunte, de cálculo, de anotación, etc.

De estacionamiento: Casi todas las fábricas incluyen ahora entre su listado de instrumentos, estaciones totales, es decir aparatos donde el distanciómetro se incorpora al teodolito cumpliendo el anteojo la función de emisor y receptor al mismo tiempo.

Evitando de esa forma el tiempo que se pierde en montar el distanciómetro sobre el teodolito.

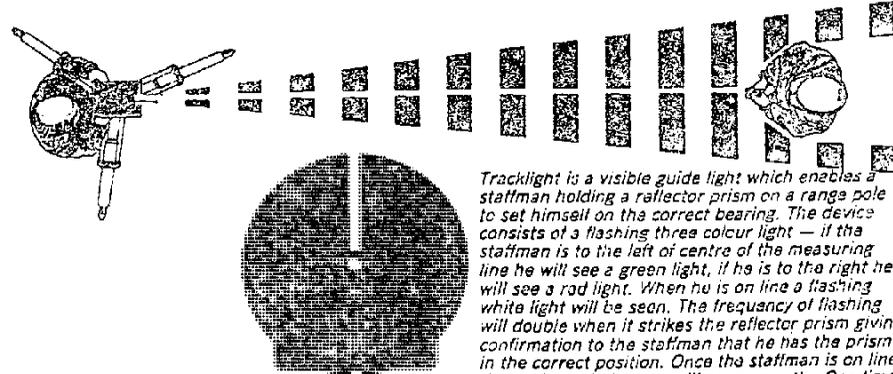


De cálculo:

Los modernos aparatos, estaciones totales automáticas, introduciendo las coordenadas X, Y y Z de la estación permiten obtener directamente las coordenadas del punto relevado.

De verticalidad: Algunas estaciones totales como la fabricada por Hewlett Packard se horizontalizan como los niveles automáticos, sólo el nivel esférico, permitiendo un ahorro de tiempo en la verticalidad del aparato.

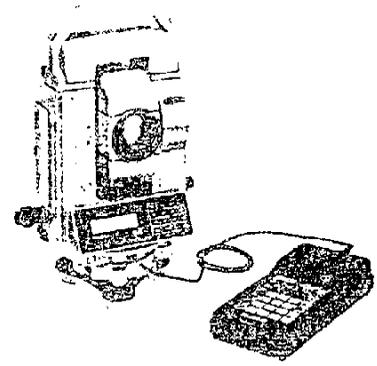
De apunte: La mayoría de los taquímetros disponen de una pantalla de controles que informan al operador visualmente y de una forma muy rápida cuál es la operación que se está ejecutando. Para reducir los tiempos en el apunte a los prismas, en dicha pantalla aparecen indicadores visuales y acústicos que informan donde la recepción de la onda de retorno es óptima. Es decir ayudan al operador a dirigir la visual. Otras fábricas incluyen, como en el esquema de abajo la emisión de un cono de luz, de tres colores (rojo a la derecha, verde a la izquierda y amarillo en el eje) para facilitar la rápida puesta en posición del mirero, el cual a su vez, puede escuchar la voz del operador a través de un receptor ubicado en el prisma. Ya que la emisión del cono de luz, sirve también para transportar la voz, transformada en pulsos lumínicos.



Tracklight is a visible guide light which enables a staffman holding a reflector prism on a range pole to set himself on the correct bearing. The device consists of a flashing three colour light — if the staffman is to the left of centre of the measuring line he will see a green light, if he is to the right he will see a red light. When he is on line a flashing white light will be seen. The frequency of flashing will double when it strikes the reflector prism giving confirmation to the staffman that he has the prism in the correct position. Once the staffman is on line the horizontal distance will appear on the Geodimeter display immediately.

De anotación:

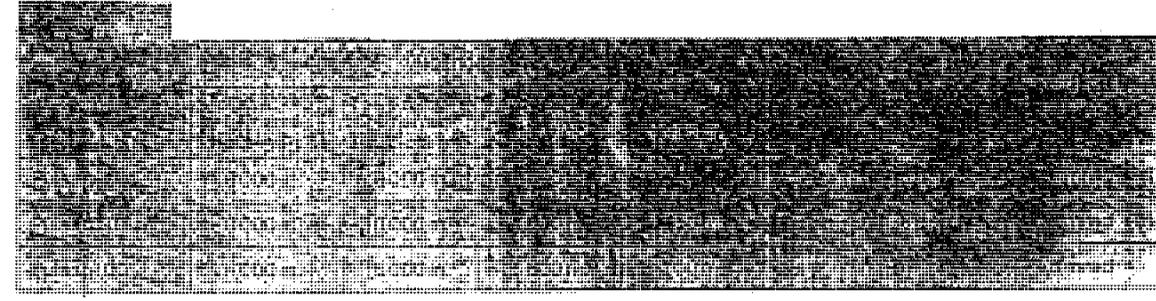
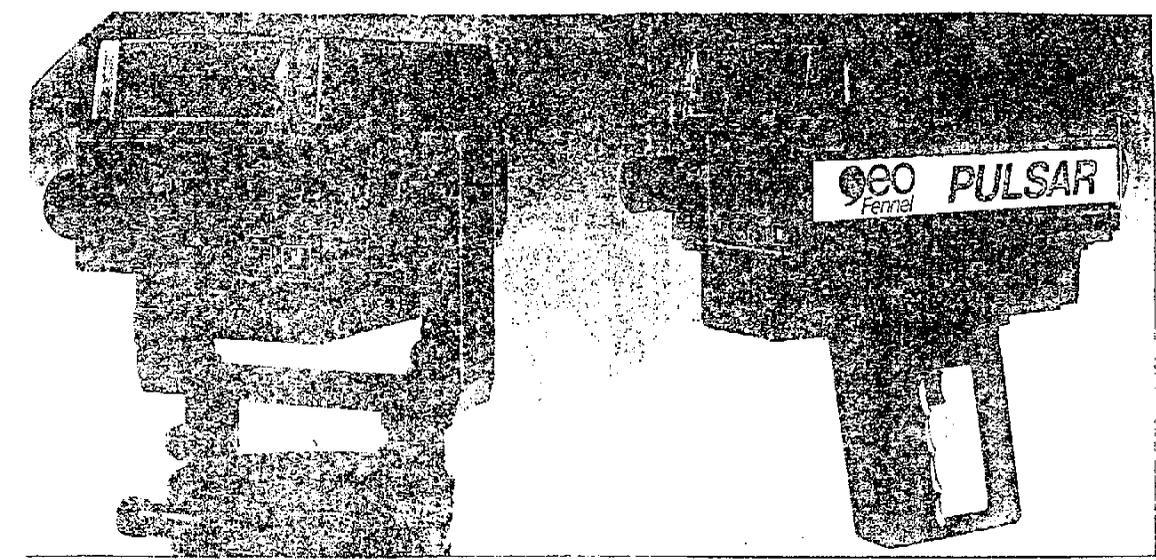
Con la incorporación de un data collector, los datos de la observación se guardan directamente en la memoria, evitando el trabajo de transcribirlos en la libreta de campo (gran fuente de error).



Si no se dispone de un taquímetro electrónico, debemos remitirnos al método clásico de teodolito y mira o bien la plancheta.

En la taquimetría común tenemos una limitación que es la distancia máxima a que nos podemos alejar con la mira (hasta 150m, contando con los dos hilos) aquí radica otra ventaja de los distanciómetros, que podemos trabajar prácticamente sin límites. Esto trae aparejado una gran reducción de tiempo, pues necesitamos un menor número de estaciones.

Los límites vendrían impuestos, por la dificultad de hacer un buen apunte, en los límites naturales que impongan la topografía del terreno y en la exactitud que busquemos en la determinación del desnivel.



La exactitud declarada más arriba, ±5mm., es cierto, siempre y cuando, la señal de puntería (prisma) se encuentra montado sobre un trípode y centrado con plomada óptica. En la taquimetría, el prisma se encuentra montado sobre un bastón centrador o un jalón. Cuando éste se verticaliza con un nivel esférico, el punto queda determinado con un error de ± 2 ó 3 cm. Sino entre 10 ó 15 cm. generalmente despreciable cuando se levantan puntos cuya exactitud es la gráfica.

El límite puede estar en la altimetría. Si levantamos puntos a 3000m.

$$dh_k = \pm 1'' \cdot k / 2R$$

$$dh_k = 1'' \cdot d\alpha / \rho''$$

$$9 \times 0.13 / 12740 = \pm 10cm$$

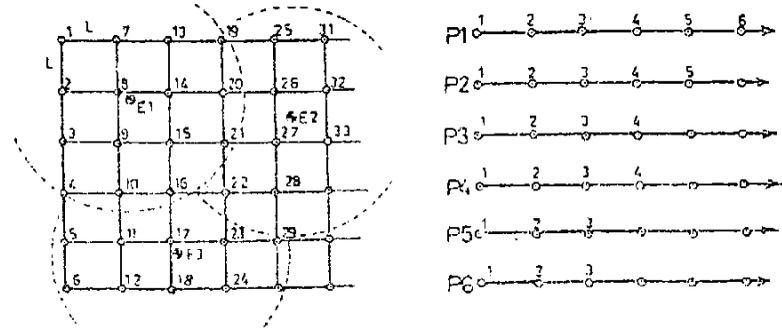
$$3000 \times 20'' / 206265 = \pm 29cm$$

I.3b CUADRICULA

Otro método de levantamiento, quizás el más empleado por la topografía tradicional en los relevamientos para obras de desarrollo superficial consiste en materializar en el terreno una cuadrícula. No es necesario calcular coordenadas, ya que la

posición de los puntos a relevar se conocen de antemano. Para el replanteo de la cuadrícula o cánevas, se colocan estacas alineadas con teodolito a distancia constante medidas con cinta, estas estacas se numeran y luego se acotan con una nivelación geométrica.

Los vértices de cada cuadrado pueden nivelarse abarcando sectores desde una sola estación, cuando el terreno es llano o apenas ondulado. En cambio, si el terreno es movido, cada línea de la cuadrícula se nivela como si fuesen perfiles.

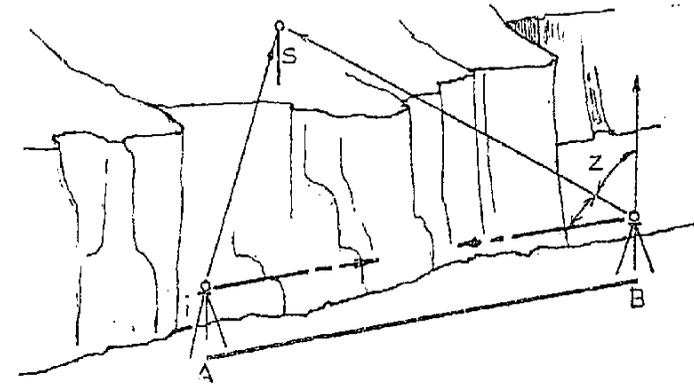


Este método es muy simple, no exige cálculos y brinda puntos uniformemente distribuidos sobre toda la superficie a relevar. Sin embargo, al generalizar para obtener curvas de nivel, se cometen errores groseros, pues este método nada nos dice con lo que ocurre entre puntos y mucho menos, dentro del cuadrado. Si hay cambios de pendientes, elevaciones o depresiones, no aparecen en el relevamiento. Para evitar este problema, habría que densificar el muestreo, es decir achicar las dimensiones del lado del cuadrado, pero esto significaría aumentar en demasía los costos.

### I.3c BISECCION

Otra forma de efectuar los levantamientos es trabajando simultáneamente con dos teodolitos, es decir, desde los extremos de una base cuya longitud se conoce, efectuar una intersección hacia delante o BISECCION. Una vez ubicado el mirero en posición, desde los dos aparatos se miden los rumbos horizontales a los fines de poder calcular las distancias y uno de ellos, el ángulo vertical para poder calcular el desnivel. Es un método rápido, pocos datos de anotar y no es necesario que el mirero transporte una mira, basta con un jalón con una señal de puntería, de la cual se conoce su altura (s).

La distancia que se obtiene por cálculo está ya referida al plano, pues se han medido ángulos horizontales. La mayor desventaja del método está en que es muy difícil, poder materializar una base que permita ver todos los puntos a relevar al mismo tiempo. Es por ello que es ideal para levantar puntos de un río o la ladera escarpada de un cerro, por ejemplo la garganta de una cuenca, donde se va a empiazar el paramento de un dique.



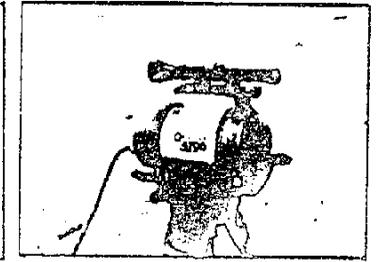
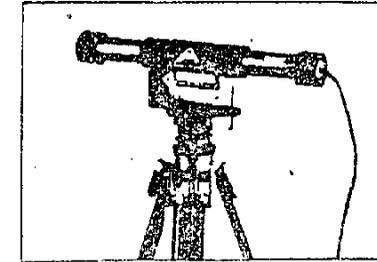
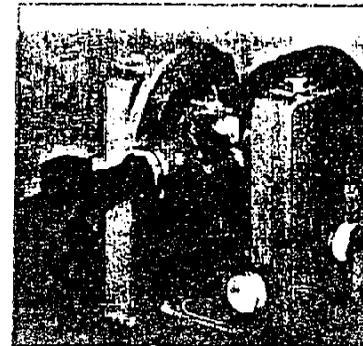
Si la zona es demasiado escarpada, que no permita la posibilidad del desplazamiento de un mirero, aplicamos el mismo principio, pero reemplazamos los teodolitos por un foto teodolito y resolvemos con fotogrametría terrestre.

Pero acceder a un fototeodolito es bastante costoso, por ello, es más práctico aplicar el método antes visto y reemplazamos al mirero por un punto luminoso.

Es decir, al equipo antes mencionado, dos teodolitos, dos operadores, sumamos otro operador que maneje un colimador laser.

Este, irá marcando en el cerro los puntos a relevar, mientras los dos teodolitos dirigen las visuales a esos puntos.

### Ocular Laser



Más económico que disponer de un colimador es acoplar al ocular de alguno de los dos teodolitos, un ocular laser; y el equipo ahora es de dos teodolitos y dos operadores. El que "marca" la posición del punto, lee sólo el rumbo, el otro rumbo y ángulo vertical.



## I.4 EL SISTEMA DE APOYO DEL RELEVAMIENTO

**Y**a vimos en las Topografías, que para llevar a cabo un levantamiento era menester apoyarse en un sistema de puntos fijos. En las obras de desarrollo superficial, podemos apoyarnos en Mallas de Triángulación, en Trilateraciones, o en Redes Poligonales. Si la topografía del terreno es adecuada, es muy ventajoso trazar un sistema de apoyo enmarcando la zona a relevar y utilizar el libre estacionamiento para densificar los puntos de apoyo y efectuar simultáneamente el levantamiento de detalles, de esta manera nos ubicamos en los puntos más convenientes (Puntos dominantes del terreno). El método, nos asegura una buena precisión, y es más rápido y cómodo.

*En el*  
Debe existir un nexo de unión entre el modelo ideal surgido del relevamiento, con la futura construcción de la obra en el terreno (real).

Ese nexo, se logra mediante la construcción y permanencia de un sistema de apoyo, por ende, al planificar el sistema de apoyo del relevamiento, es necesario tener presente dos cosas:

1. Exactitud
2. Permanencia en el tiempo

1) La exactitud requerida para un relevamiento es en muchos casos inferior a la que vamos a necesitar al ejecutar la obra, por ejemplo, tal vez la exactitud requerida para un relevamiento sea de 1 : 500 y que más adelante, en la construcción de la obra, necesitemos 1:10000 ó 1:5000, es decir 10 ó 20 veces más.

El primitivo sistema, no tiene porqué ser el mismo que se usará después, pues a llí se ubicará y diseñará conforme a la planificación del replanteo, pero sí deberán estar atados y coincidir algunos puntos. Lo correcto es entonces, planificar, construir y medir un sistema de apoyo cuya exactitud sea la misma que la del replanteo, es decir que, aunque la acotación de errores nos informe que la exactitud necesaria para el relevamiento es de 1:2000; el sistema de puntos fijos, podrá requerir de una exactitud de 1:10000, si el estudio de la acotación del replanteo así lo determinó.

*En general*  
El problema que se plantea, es que en la generalidad de los casos el Agrimensor que lleva a cabo el relevamiento desconoce las tolerancias que va a exigir el replanteo de la obra, ya que en esta etapa ésta, aún no ha sido proyectada.

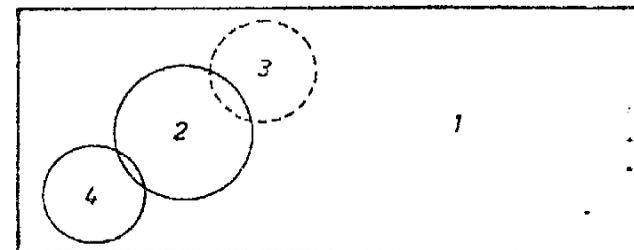
Pero hay pautas que nos conducen a deducir las exactitudes necesarias. En principio conocemos cual será la obra que se piensa proyectar, sabemos que se trata de una obra de Arquitectura e Ingeniería y las características generales de la misma.

Conocemos la zona donde se va a emplazar la futura obra y las posibles variantes que se pueden presentar, es decir que podemos prever (dentro de un entorno más amplio) las zonas donde se hará necesario que se densifique el levantamiento.

Sabemos también que todo hecho existente, toda obra presente en la zona (visible y no visible) debe ser relevada con una exactitud tal que cuando se construya el proyecto, los empalmes entre ellos y la nueva obra coincidan planialtimétricamente.

Todas las consideraciones anteriores apuntan a que se hace obligatorio que al planificar el relevamiento dividamos el área del trabajo en distintas sub-zonas.

- (1) Levantamiento de puntos para determinar la forma del terreno
- (2) Mayor densificación de puntos para determinar la forma del terreno en la zona donde se emplazará la obra.
- (3) Levantamientos de puntos que definan obras existentes
- (4) Levantamiento de puntos que definan obras existentes y que requieran una mayor exactitud.



### Acotación de errores (indicativo)

Sub-zona 1

$T_{x,y}$  (exact, gráfica) = 0.5/ESCALA

$E = 1:500 - T_{x,y} = 0.25m$

$E = 1:1000 - T_{x,y} = 0.50m$

$E = 1:2500 - T_{x,y} = 1.25m$

$T_z$  1/3 e (equidistancia)

$e = 0.50 - T_z = 0.15m$

$e = 1.00 - T_z = 0.30m$

Sub-zona 2

Tolerancia en x e y, igual al anterior

$T_z$  1/5 e

$e = 0.50m - T_z = 0.10m$

$e = 1.00m - T_z = 0.20m$

Postes de alumbrado, de teléfonos, de líneas de baja, media y alta tensión. Sub-estaciones transformadoras de energía eléctrica. Construcciones, viviendas, muros, tanques, cisternas, cercos, alambrados. Caminos vecinales, etc.

$$0.10 < T_{x,y} < 0.30$$

$$0.05 < T_z < 0.20$$

## Sub-zona 4

Canales de riego, de desagües, de drenajes. Conductos subterráneos, cloacales, pluviales, de conducción de agua, de electricidad, de telefonía. Calles urbanas, avenidas, autopistas, vías férreas, etc.

$$0.03 < T_{x,y} < 0.10$$

$$0.01 < T_z < 0.05$$

Buscando la mayor economía en el trabajo, no tiene sentido medir, calcular y compensar un sistema de apoyo que cumpla con la exactitud más rigurosa, evidentemente que lo que más conviene es planificar un sistema que se ajuste a las tolerancias antes deducidas, de manera diferencial.

*Permanencia en el tiempo*

② Entre que se pone en marcha un proyecto, hasta su ejecución, pasa a veces bastante tiempo, tiempo suficiente para que en algunos casos el modelo pierda vigencia debido a los cambios transcurridos, tiempo que trae como consecuencia que las señales que se colocaron, cuando el relevamiento, hayan sido destruidas.

Para que esto no ocurra, es necesario darle al sistema de apoyo del relevamiento la importancia que debe tener, y para que duren en el tiempo, deberán amojonarse, con con mojoneros de hormigón, abalizarlos, pintarlos y protegerlos. Aún esto en ocasiones no es suficiente, es por ello que sería muy conveniente que estuviesen atados a un sistema mayor. Cuando sea posible conviene vincularlo al sistema general del país.

Red Altimétrica

La red de puntos altimétricos deberán estar convenientemente espaciados sobre el terreno y correctamente materializados, recordando las advertencias hechas para el sistema planimétrico, pues servirán no solo como puntos de arranque y cierre de los itinerarios del relevamiento, sino como puntos de referencia de los trabajos posteriores.

Respecto a las exactitudes, valen los conceptos vertidos anteriormente, es decir a pesar que la acotación de errores nos diga que para el levantamiento es suficiente emplear la nivelación trigonométrica (taquimetría), es muy posible que para el sistema de apoyo necesitemos hacer un rodeo geométrico.

1.5 ELECCION DE LOS PUNTOS (Cantidad de puntos a relevar)

En varias oportunidades, el Agrimensor, se encuentra ante la dificultad que significa tener que manejar una cantidad agobiante de datos estadísticos, o con la incertidumbre de decidir la forma de realizar observaciones representativas y al mismo tiempo selectivas. Por otra parte, siempre queda la duda o el riesgo: si la elección selectiva puede ser generalizada.

Por ello, siempre es conveniente adoptar un muestreo estadístico adecuado, pues de esa forma estamos asegurados, a la vez que ahorramos tiempo, personal, esfuerzo y reducimos los costos.

MUESTREO:

Existen tres métodos importantes para realizar estudios selectivos:

- a. Muestreo aleatorio simple
- b. Muestreo aleatorio sistemático
- c. Muestreo estratificado

a. El método más directo, es de muestreo aleatorio simple, que consiste en censar puntos al azar. Sólo puede ser empleado cuando el levantamiento tiene carácter de expeditivo; si no es así, en la generalización pueden cometerse graves errores.

b. El segundo método, al igual que el anterior, no precisa disponer de información previa, la región a censar, se divide en unidades de igual superficie y se toma un muestreo a intervalos regulares.

Este método generalmente el más usado en los censos de población, quizá sea el más antiguo de los métodos aplicados en topografía, conocido con el nombre de "cuadrícula", del cual ya hemos hecho referencia.

Si lo que se busca es construir un modelo que refleje una imagen correcta de la realidad, entonces se debe descartar este método, no es fiable cuando se trata de generalizar. Para solucionar este problema, los proyectistas encomiendan a sus topógrafos densificar más la red, reducir la cuadrícula, pero esto trae aparejado un aumento desmesurado de trabajo y tiempo, en consecuencia costo.

La más de las veces, cuando se encara un relevamiento de una zona para el proyecto de una obra de ingeniería, esa zona se encuentra en estado virgen, con árboles y cubierto de malezas. Replantear una cuadrícula significa generalmente, tener que abrir picadas.

c. Por lo antes expuesto, cuando el Agrimensor tiene que emplear un método de muestreo, adopta como más correcto el muestreo estratificado.

Los objetos a representar, se agrupan por áreas o en clases (estratos), tomando en cuenta las características más relevantes. Por ejemplo, en las valuaciones catastrales demarcamos primero las zonas de distintos valores, separamos los barrios residenciales de los barrios industriales, de los barrios comerciales, de los barrios periféricos, etc., luego el censo lo hacemos buscando los puntos más característicos de cada zona. La gran ventaja es que la generalización queda reducida o encerrada entre los límites de cada zona.

Está claro que este método requiere de una considerable información previa sobre el objeto de estudio (lo cual no era necesario en los otros métodos).

En el relevamiento topográfico, la información previa consiste en efectuar un buen reconocimiento del terreno, a medida que se va confeccionando un croquis que que represente los accidentes topográficos con la máxima fidelidad.

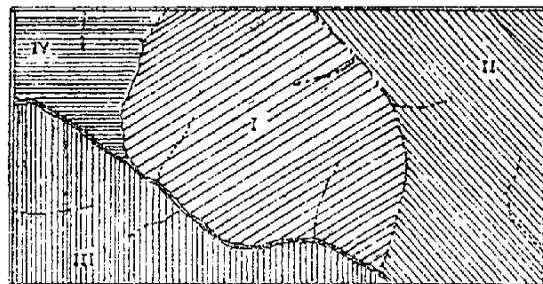
En primer lugar, separamos las crestas de los valles, en las zonas altas, dibujamos las divisorias de aguas principales, luego las dorsales secundarias, las sillias, los puntos bajos de las lomas, las partes superiores de las grandes pendientes y barrancas. Hacemos lo mismo en los valles, primero las colectoras de agua principales, luego las secundarias, el pie de las grandes pendientes y de las barrancas, los puntos más elevados de los valles y las depresiones cerradas.

Al igual que en la valuación, donde se hace una carta temática, con la división en áreas, aquí en el croquis, separamos la superficie a relevar en bloque.

Al hablar de curvas de nivel, ya mencionamos que <sup>sabemos</sup> estas eran perpendiculares a las dorsales y colectoras, luego, definiendo correctamente estas líneas ya habremos dado un gran paso en la deducción de la forma del terreno.

Estas son las líneas que van a separar las áreas, pues ya se sabe, de la Topografía, que no se deben interpolar dos puntos que estén separados por una dorsal o colectoras.

Luego del dibujo de ellas, procedemos al levantamiento de las mismas, y lo hacemos recorriéndolas como si levantáramos un perfil. Una vez que hemos definido el límite de cada área, hacemos el relevamiento dentro de ella, tomando los puntos característicos mencionados y todos los quiebres de pendientes significativos, a medida que se van levantando puntos del terreno, vamos también relevando los detalles que complementan la información.



El arte de los levantamientos topográficos, puede perfeccionarse únicamente a través de una larga práctica de campo, analizando permanentemente su propia experiencia, cotejando criterios adoptados con los resultados obtenidos. Debe tender a la formación de un criterio tal que le permita elegir, cual son aquellos puntos a observar que le proporcionen la máxima información posible. Tiene que asegurarse de no omitir ningún punto necesario.

Los puntos que se omiten con mayor frecuencia, son aquellos cambios de pendientes que se encuentran alineados con el observador, o cuando ellos se encuentran sobre la

ladera de un cerro enfrentada, por eso, la condición de todo buen levantamiento, es que el Agrimensor acompañe al mirero, para ir seleccionando los puntos al mismo tiempo que elabora el croquis, mientras otro operador realiza las mediciones; y no que confeccione el croquis desde el aparato.

Con mayor razón cuando se trabaja con taquimetría electrónica, pues al haber distancias más largas aumentan las probabilidades de cometer omisiones.



## 1.5 COMPROBACIÓN DE PLANOS

Si a un Agrimensor, se le entregará un nivel, o teodolito, lo primero que haría antes de comenzar a trabajar, sería verificar y conocer sus errores, para tenerlos en cuenta en el método de medición a aplicar, o bien para corregirlos. Con igual criterio, si decimos que el plano es un instrumento, habría que verificarlos antes de utilizarlos.

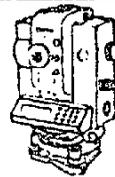
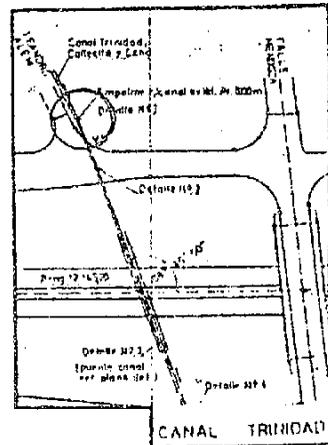
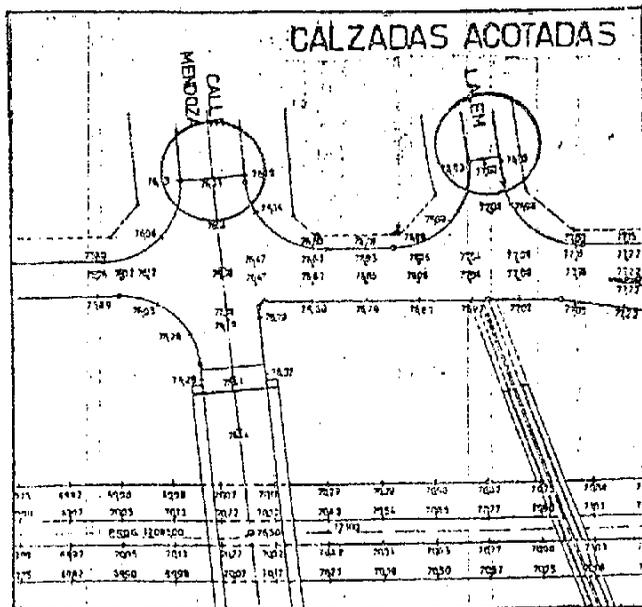
Conjuntamente con todo el paquete de proyecto, generalmente se adjunta el plano de relevamiento que sirvió de base para la elaboración del proyecto.

Ya conocemos cuales son las consecuencias si en este plano hubo errores, entonces, mucho antes de comenzar las obras, podemos evitar de que se cometa un costoso error verificando aquellos puntos donde el proyecto toma contacto con los hechos existentes, por ejemplo, una rama de enlace de un intercambiador vial, con un camino existente o los niveles de pavimento de las calles vecinas en una obra de arquitectura. Es decir que efectuamos un muestreo aleatorio simple, en las zonas donde puede haber conflicto y obtenemos puntos con valores plani-altimétricos, (X - Y - Z), que los comparamos con los obtenidos a través del plano de relevamiento.

$$\begin{aligned} X_i & \text{ _____ valor medido} \\ \bar{X}_i & \text{ _____ valor de plano} \\ d_i & = X_i - \bar{X}_i \text{ _____ diferencia} \\ \sigma & = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i \cdot d_i)}{n}} \text{ _____ dispersión} \end{aligned}$$

Si este valor, está dentro de la tolerancia, es decir que planimétricamente responde a un error de escala o está dentro de las lógicas deformaciones del papel, y altimétricamente es inferior a 1/3 de la equidistancia, en general; y en particular en los puntos de empalme es inferior a las tolerancias constructivas, en ese caso, podemos descartar que el plano de proyecto vaya a presentar problemas de replanteo.

Si no es así, realizaremos un muestreo más riguroso, determinando zonas donde habrá que ordenar, se rehaga el relevamiento y se corrija el proyecto.



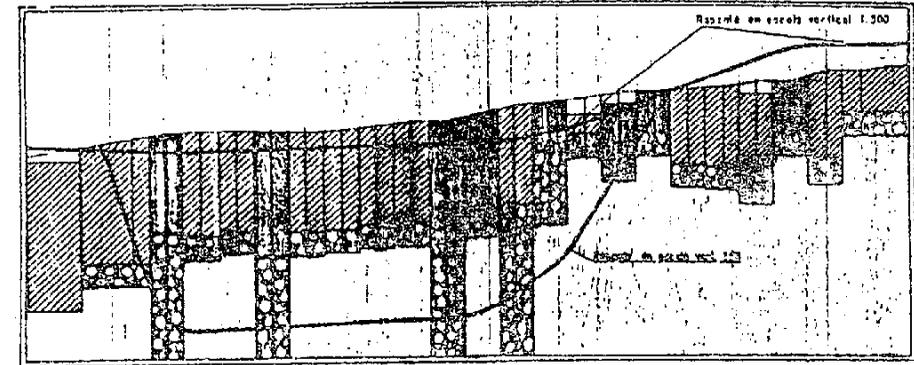
## 1.7 PERFILES

En las obras de desarrollo lineal, se emplea otro tipo de RELEVAMIENTO, en lugar de planos con curvas de nivel, se hace una planimetría general abarcando el ancho de la faja de la zona de ocupación, y el relieve se representa en planos separados, dibujando perfiles perpendiculares al eje de la obra. (fig.1)

En algunas obras de desarrollo superficial, se representa el relieve con curvas de nivel pero se agregan perfiles como datos complementarios a los efectos de visualizar los cambios de pendientes. El dibujo de un perfil, a partir de un plano de curvas de nivel, puede ser de gran ayuda en la descripción y explicación de la forma del terreno.

Paralelo a las tareas de relevamiento, se hace un estudio de suelos, que va a servir a los proyectistas para calcular el paquete estructural de la obra, para disponer de estos datos, es necesario que se confeccione el Perfil Geomorfológico o perfil edafológico, el cual se hace sobre un perfil longitudinal trazado sobre el eje. Con este perfil, con el reconocimiento del terreno y la fotointerpretación, un equipo de Geólogos, realizan sondeos en los lugares que creen más convenientes.

Finalmente, con los datos obtenidos de las muestras de las perforaciones, se completa el trabajo.



Los términos "sección" y "perfil", se emplean con poca precisión y frecuentemente se los utiliza como sinónimos, confundiendo sus conceptos.

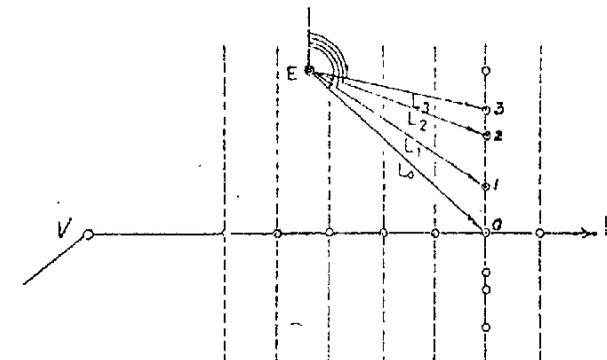
En el sentido literal, una sección es un corte; o mejor dicho, la superficie visible debido a dicho corte.

En otras palabras, el término perfil edafológico está mal empleado, pues es una sección en realidad, y debería designárselo como "Sección edafológica", ya que muestra las capas o zonas sucesivas desde la superficie hacia abajo.

Se dibuja una columna a escala vertical y las distintas capas se somborean y clasifican, según los distintos tipos de suelo.

Un perfil en cambio, es solamente una línea. La línea de intersección entre la superficie del terreno y un plano vertical.

Los perfiles, se toman, uno longitudinalmente siguiendo la línea o la dirección de la traza de la obra (o futura traza), y a intervalos regulares se toman perfiles transversales, perpendiculares al primero, en toda la faja que ocupa o ocupará la obra. No vamos a detenernos a explicar el método de medición, ya que ello se ve con detalle en la Topografía, pero podemos agregar que éstos, además de relevarlos con alfileres y cinta pueden ser levantados con taquimetría electrónica, empleando un método polar, trabajando desde estaciones ubicadas convenientemente, sobre puntos visualmente dominantes.



Para calcular las distancias al eje, empleamos la fórmula del coseno, si se dispone de una calculadora programable, al mismo tiempo que se van realizando las mediciones, vamos ejecutando el programa y obteniendo directamente las cotas y distancia al eje de los puntos relevados.

Si en lugar de un taquímetro electrónico se utiliza una estación total automática, introduciendo las coordenadas de la estación, podemos obtener las coordenadas de los puntos levantados o bien directamente las distancias y los desniveles que entre ellos existe.

Esta forma de trabajar es aconsejable cuando la obra está emplazada en zona de sierras o de montaña; cuando hay que levantar perfiles finales donde los terraplenes son altos.

### SECUENCIA OPERATIVA

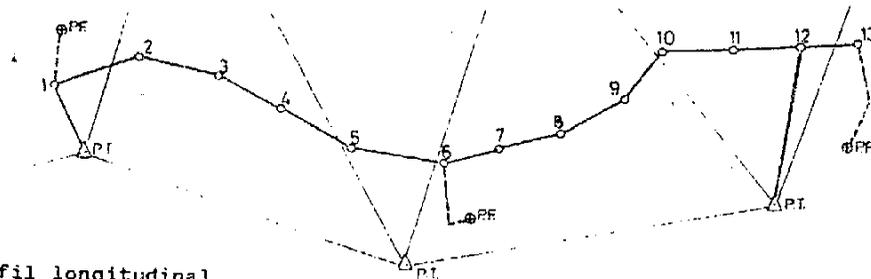
(Sistema de apoyo - Levantamiento de perfiles y detalles)

Para estos tipo de obras de desarrollo lineal, lo más conveniente es emplear una poligonal de apoyo, que siga los lineamientos establecidos por la alternativa elegida.

Esta poligonal, será medida con la exactitud necesaria, conforme al criterio establecido anteriormente, y sería aconsejable que fuese doblemente atada y orientada respecto al sistema general del país, si está en zona urbana, o pasa por una ciudad, también podrá relacionarse al sistema local del municipio.

1. Reconocimiento: Deberá buscarse en la medida de lo posible, que los lados sean aproximadamente de igual dimensión y lo más largo que se pueda, definido el sistema, se amojonan los vértices.
2. Medición: de la poligonal, vinculación y compensación
3. Nivelación: geométrica de los vértices de la poligonal, haciendo intercalaciones entre puntos fijos de orden superior. Compensación.

En ambos casos, emplearemos el instrumental y métodos que nos aseguren estar dentro de las exactitudes obtenidas en la acotación de errores.



#### 4. Perfil longitudinal

Desde esos vértices, piqueteamos o estaqueamos, sobre la línea materializada por ellos, los puntos donde se produce un cambio de pendiente, o aquellos puntos donde, a uno u otro lado de la línea se observan cambios en la forma del relieve, o para

levantar algún detalle, (pues aquí, el método de levantamiento de detalles empleado es el que en la topografía se ve con el nombre de "coordenadas rectangulares"). Si no ocurre nada de esto, se piqueta a distancias regulares, cada 50m o cada 25m, por ejemplo.

### 5. Transversales

Piqueteada una línea, estamos en condiciones de levantar los perfiles transversales. Los que se harán por cuadratura de las dos formas antes mencionadas, para la construcción de arcos, cambiando siempre de un corto fijo, según (figura 1) en cada cada control.

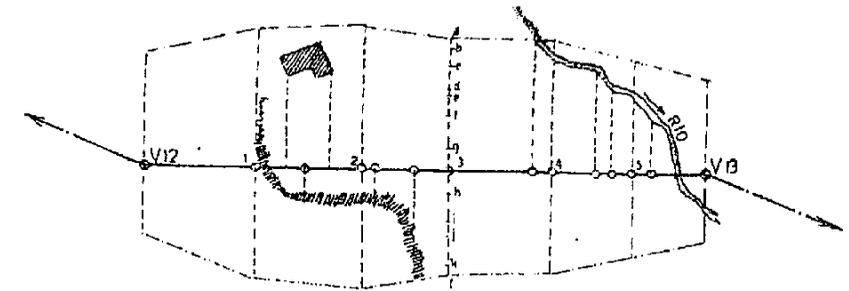
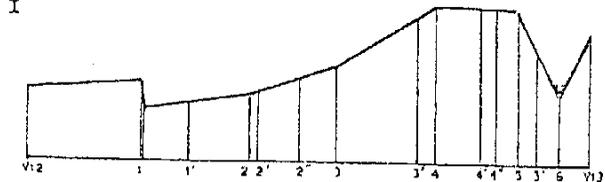


Figura 1



#### I.7a DIBUJO DEL PERFIL

Lo primero a definir son las escalas, como las variaciones altimétricas son varias veces inferiores a las planimétricas, usualmente se emplean dos escalas en el dibujo, una horizontal y otra vertical, exagerada respecto a la primera.

Esta relación de escalas, se denomina "exageración vertical" y en la práctica, la relaciones más usadas son 1:5 y 1:10, estas escalas deben quedar expresadas en el dibujo del perfil.

Una columna, en el costado izquierdo, nos indicará una escala gráfica de la altimetría, estas alturas, ubicadas sobre el eje de las ordenadas, varían regularmente y por valores enteros a partir de una cota tomada como origen, a la cual llamamos "P.C." (plano de comparación). Todas las cotas del perfil serán mayores respecto a ésta, es decir, la línea del P.C. será el límite inferior del perfil.

Inmediatamente por debajo de la línea del P.C., dibujaremos un renglón donde indicaremos las progresivas de los puntos observados, referidas al eje de relevamiento, en otro renglón, se colocan las distancias parciales entre los puntos y en una tercera fila, bajo el título "Cotas del Terreno Natural", se colocarán las cotas según se tomaron del terreno.

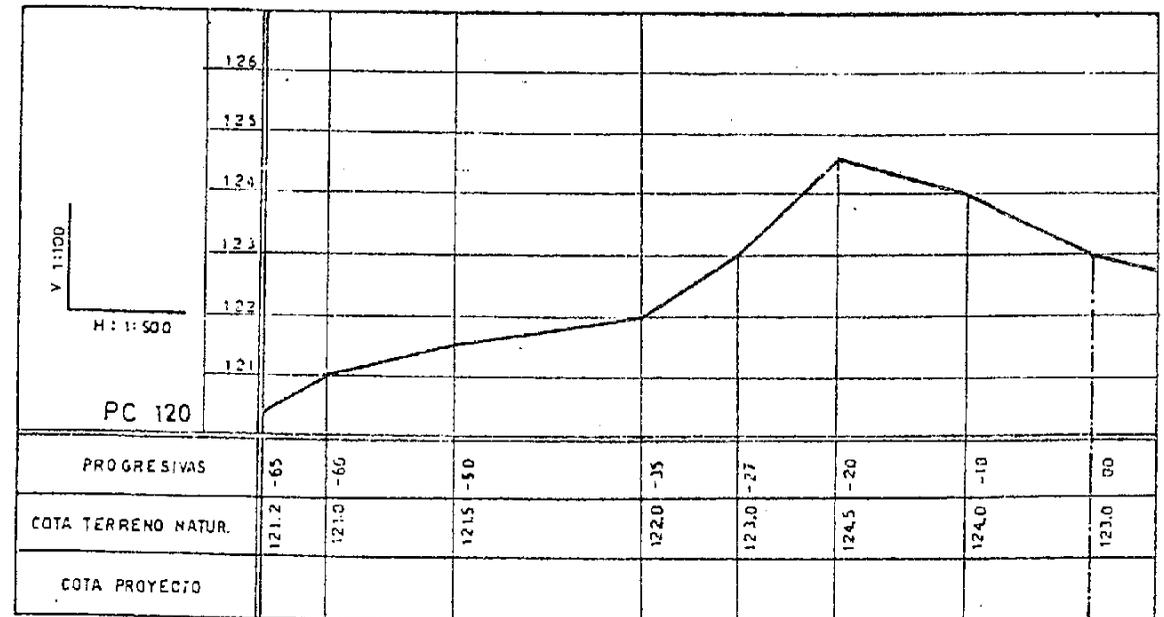
De esta forma, hemos creado una gráfica que responde a un sistema de representación cartesiano, donde cada punto va a estar definido por dos coordenadas.

En las abscisas por un valor planimétrico que es la progresiva al eje y en las ordenadas, un valor altimétrico que es la cota del punto; en definitiva el perfil buscado del terreno, será la línea que una esos puntos.

Debajo de los renglones mencionados, se dejan dibujados dos renglones más, que se completarán a posteriori. Uno con el título "Progresivas de Proyecto" y otro "Cotas de Proyecto". (fig.II)

Usualmente dejamos otra fila donde se consignarán las "diferencias" de altura entre uno y otro perfil (el del terreno natural con el del proyecto), el cual resulta útil para el cálculo manual de la superficie de la sección encerrada entre ellos.

Agregamos otro renglón, en aquellos casos en que queremos hacer indicaciones literales.



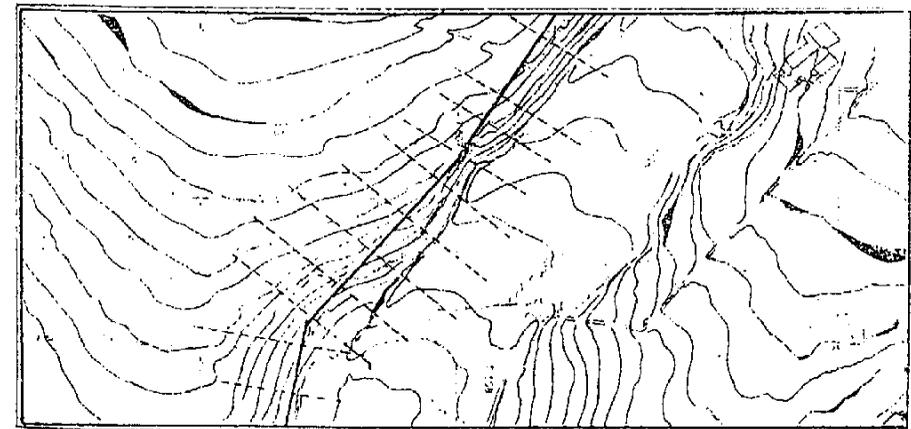
Acotaciones finales: Si lo que se persigue es hacer un relevamiento de una superficie para otro tipo de obra, empleando perfiles, sea por ejemplo la ladera de un cerro, en ese caso, tomamos una serie de perfiles a intervalos que van a depender de la forma del terreno, serán espaciados si la variación del relieve es uniforme, y si el terreno es muy mojado aumentará la cantidad de perfiles reduciendo las distancias entre ellos.

La construcción de perfiles a partir de planos con curvas de nivel, como ya se dijo, puede ser de gran ayuda para interpretar la forma del terreno y resulta muy útil para la determinación de: pendientes, intervisibilidad de puntos, espacios muertos. (fig.III)

El primero es aplicable en el estudio de trazas alternativas en los anteproyectos de caminos, de canales, de acueductos y de colectoras pluviales y cloacales; el segundo, para el estudio de los anteproyectos de ubicación de torres de microondas y en los de líneas de alta tensión. También lo hacemos nosotros, cuando planificamos un sistema de apoyo, para asegurarnos la visibilidad entre los vértices.

El tercero, lo usamos para verificar que desde el punto estación no nos queden espacios que no se puedan observar en el levantamiento de detalles en una taquimetría.

Figura III



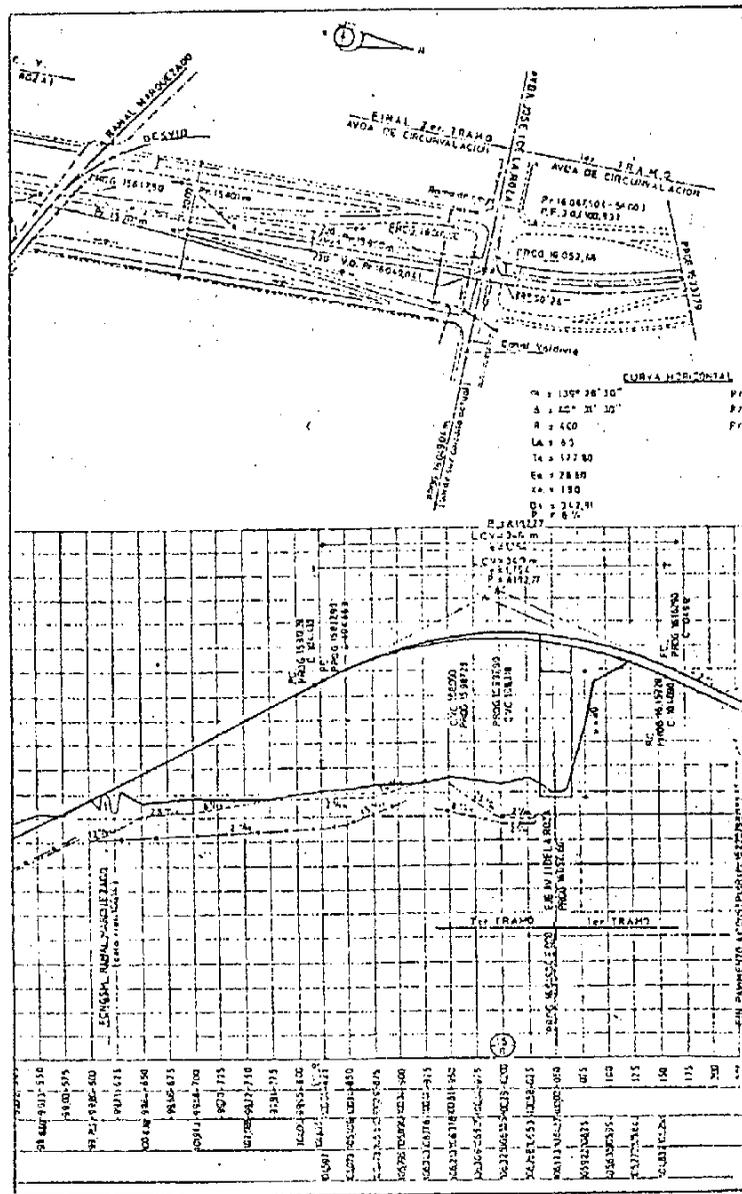
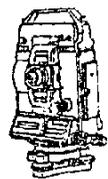


Figura I: Planimetría del proyecto de una obra vial; arriba la planimetría general - abajo, el perfil longitudinal, sobre el cual se ha dibujado el perfil de la rasante de proyecto.



## I.8 LEVANTAMIENTOS HIDROGRAFICOS

Los levantamientos hidrográficos pueden definirse como los trabajos topográficos efectuados para definir y determinar la forma de los lechos de ríos, lagunas y mares. Son fundamentales para la planificación y control de proyectos de ingeniería que se desarrollan bajo la superficie de las lagunas, tales como las fundaciones de las pilas de los puentes carreteras, túneles, presas, embalses, darseñas, puertos, etc..

Los métodos de relevamiento que en la generalidad de los casos podemos emplear son similares a los ya vistos para los levantamientos terrestres. Con la gran diferencia que en este caso, levantamos una superficie no visible y que está expuesta a permanentes cambios.

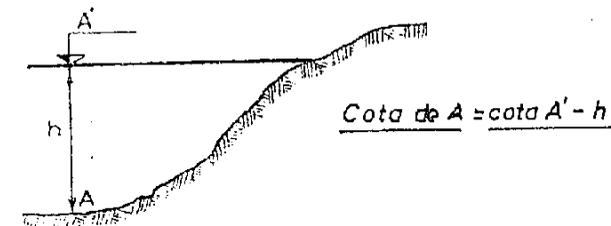
Para efectuar el relevamiento, convengamos en que podemos tratar en forma independiente, la ubicación planimétrica de la posición altimétrica.

Para la determinación de la primera, podemos emplear métodos de levantamiento superficiales, como son los levantamientos polares y el resultado final será un plano con curvas de nivel, que en el caso de los levantamientos hidrográficos reciben el nombre de "curvas batimétricas" o "isobatas". bien puede emplearse las clásicas alineaciones, que dará resultado, perfiles transversales del lecho.

### I.8a DETERMINACION DE LA COTA DE LOS PUNTOS SUMERGIDOS

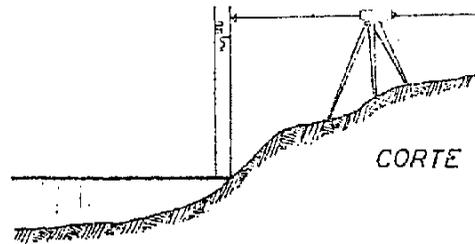
Debemos proceder en dos etapas:

- Determinar la cota del pelo del agua en la proyección vertical del punto a observar. (A')
- Determinar la altura desde el lecho hasta el pelo del agua. (h). Esta operación recibe el nombre de sondeo.

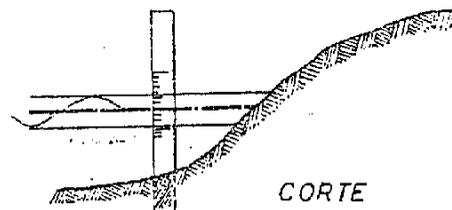


- Para determinar la cota del punto A', dependerá si se trata de un espejo de agua quieto, o si es un río o mar en movimiento.

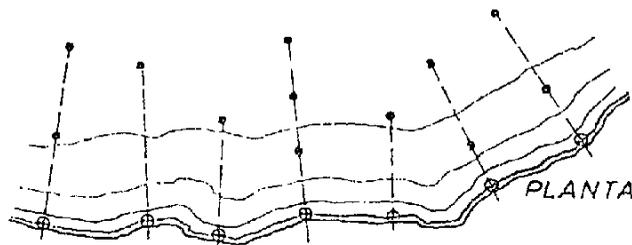
Conforme a la convención que adoptamos para definir el Geoide, supusimos que la superficie de las aguas en reposo, materializan una superficie equipotencial, de tal manera que en el primer caso (caso ideal) podríamos tomar la cota de un punto cualquiera de la superficie y generalizarla a toda la extensión del levantamiento.



Pero en la práctica, las aguas, lejos de estar quietas, se mueven permanentemente por la acción del viento, en este caso, se determina la posición media de la superficie del agua, colocando una mira en la orilla del lago y registrando sobre la misma las variaciones, mientras dure la operación del levantamiento, luego referimos el promedio.

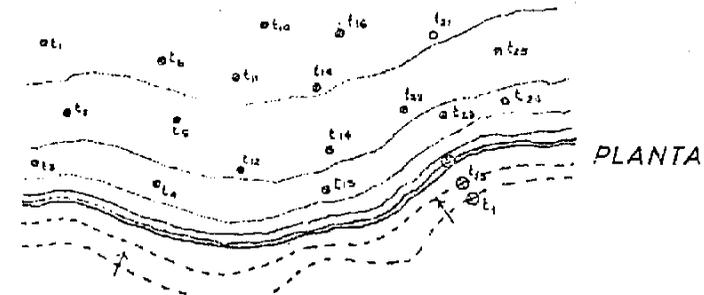


En el caso de los ríos, el nivel de la superficie del agua está cambiando permanentemente ya que por una parte el nivel del pelo de agua nos es horizontal (en el sentido longitudinal) y por otra, que su caudal no es constante. En los grandes ríos como son el Paraná o el Uruguay, su cuenca de aporte es extensa, motivando que el caudal esté en permanente cambio. Esto obliga a que en los ríos tomemos una cota del pelo del agua, en el sentido transversal a las observaciones y simultáneamente a la misma.



Un criterio similar adoptamos en el caso de los levantamientos en el mar, pues la superficie del agua cambia por la acción del viento y las mareas.

En este caso, dejando de lado la corrección por el viento, podemos suponer las variaciones uniformes en el espacio con relación al tiempo, por tal motivo para calcular la cota de la sup., efectuamos la corrección interpolando entre dos cotas conociendo el espacio de tiempo transcurrido entre observaciones.



#### b. SONDEOS (Distintos métodos)

Varillas graduadas: Para pocas profundidades y ríos no corrientosos, se pueden usar miras; con el objeto de facilitar su transporte se las arma en piezas enchufables, deben ser gruesas y de bordes redondeados para evitar que la presión de la corriente del agua las doble. El cero de la mira se encuentra en el pie, el cual debe tener una superficie plana de apoyo, evitando que se hunda en el barro.

Es un método incómodo y pesado (hay que estar permanentemente agregando y quitando tramos).

#### Sogas:

(de cáñamo, nylon o alambres de acero)

Para poder cuantificar la profundidad, sobre la soga se hacen marcas o nudos a distancias constantes; cada 0.20m un tipo y cada metro otro tipo de marca.

Entre la cuerda de nylon y cáñamo, es más conveniente usar la primera, pues la segunda se pone dura y pesada al mojarse. Con el uso continuo ambas cuerdas se deforman (el nylon se estira mientras que el cáñamo se encoje al mojarse).

El alambre de acero es más seguro pero es más difícil de marcar al tiempo que requiere del empleo de reeles o carretes especialmente contruídos.

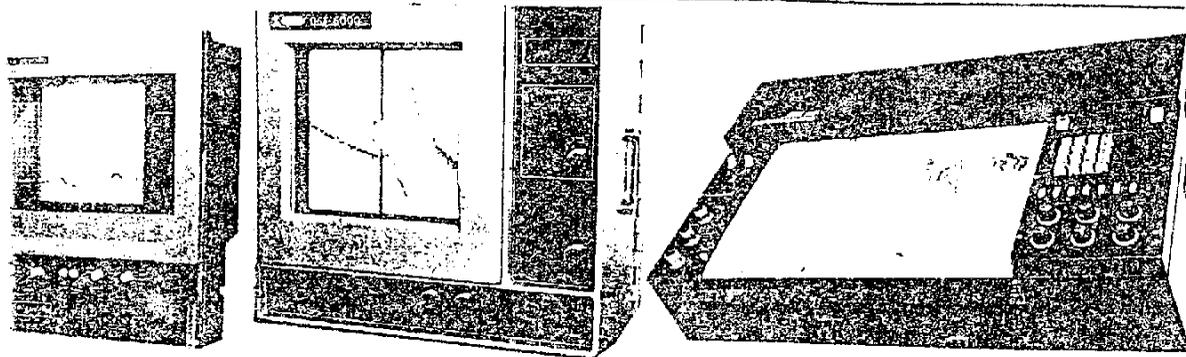
El peso al colocarle a la sonda, depende de la correntada, variando entre los 5 y 30Kg, es conveniente que el lastre tenga la forma de un torpedo con aletas estabilizadoras para que baje lo más vertical posible.

En profundidades mayores a los 50m., ya hay que usar un sistema de polea equipado con freno mecánico, para el ascenso y descenso de la sonda.

La rapidez y precisión con que se hacen los sondeos, dependen del equipo que estamos utilizando, cuando el relevamiento se realiza en una zona no muy extensa y la profundidad del agua está comprendida entre 1 a 5m, podemos emplear el primer método entre los 5 y 30, 50m, nos inclinamos por el segundo.

Para profundidades mayores, grandes levantamientos o ríos de gran correntada es necesario el empleo de las ecosondas.

ECOSONDAS: Hay dos tipos, las llamadas chicas y portátiles, que se colocan sobre la lancha que va a ejecutar la medición, capaces de medir hasta 60m de profundidad, y las grandes, que se instalan permanentemente y que pueden alcanzar hasta 12 ó 15Km. de profundidad.



El principio en que se basan es similar al utilizado por los distanciómetros, con la diferencia que aquí lo que se emite es una onda sonora, cuya velocidad de propagación en el agua es de 1440m/seg., varias veces inferior a la velocidad de la luz. Por tal motivo, al recibirse el eco, puede medirse fácilmente el espacio de tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción y convertir a éste en metros. Al aumentar las profundidades aumentan las interferencias y ello lleva a aumentar las frecuencias de sonido.

Así como el distanciómetro está calibrado para una atmósfera determinada (760 mm de Hg. y 20°C), antes de cada medición debemos corregir con los valores reales (temperatura y presión atmosférica). Así también las ecosondas hay que corregirlas teniendo en cuenta la temperatura, profundidad media (presión hidráulica) y salinidad del agua.

Al equipo de sondeo está diseñado para producir el sonido, recibir y amplificar el eco, medir el tiempo transcurrido y convertir este intervalo en metros, registrándolo en una banda de papel enrollada en un tambor giratorio, o bien, imprimiendo el resultado sobre un display.

#### Exactitudes:

En el caso de las sondas de soga, la incertidumbre es muy grande, pues la corriente del río arrastra la sonda y se mide una distancia mayor a la real.

En el mar no hay corriente, pero el movimiento de las olas hace que resulte muy difícil mantener el bote vertical.

Exactitudes posibles: de 1/10 a 1/50 en ríos torrentosos, mar movida, de 1/50 a 1/100 en remansos, lagos y mar calmo.

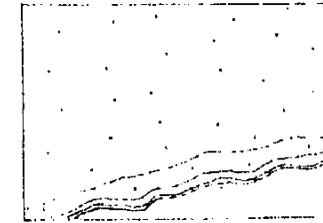
Con las sondas de eco, conforme con la frecuencia del sonido emitido, tendremos un rango de exactitudes que varían entre 1/200 a 1/2500 en los de alta frecuencia.



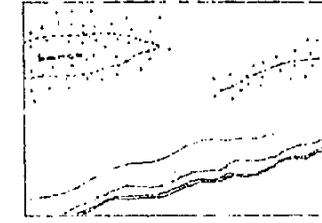
## I.8b DETERMINACION DE LA POSICION PLANIMETRICA

### a. Levantamientos topobatimétricos

Como no es posible observar directamente la superficie a relevar, es necesario proceder en dos etapas, en primer lugar se realiza un muestreo aleatorio simple, tomando los puntos distribuidos lo más uniforme posible, con el objeto de obtener la información previa necesaria para proceder luego, en una segunda etapa, a realizar un muestreo estratificado.



1ª etapa



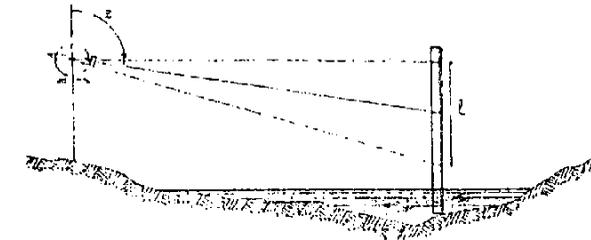
2ª etapa

Para determinar las coordenadas X e Y de estos puntos, podemos hacerlo utilizando los siguientes métodos:

#### 1. Polar - taquimetría clásica

Cuando los levantamientos son de aguas poco profundas, como por ejemplo el río Suquia en época de estiaje, pueden medirse las distancias estadimétricamente y con simultaneidad a ellas efectuar la nivelación apoyando la mira sobre el lecho del río.

Esto no es posible, cuando se trata de aguas profundas, pues el continuo movimiento del bote, impide efectuar el corte de mira y mantener la misma en posición vertical.



#### 2. Polar -taquimetría electrónica

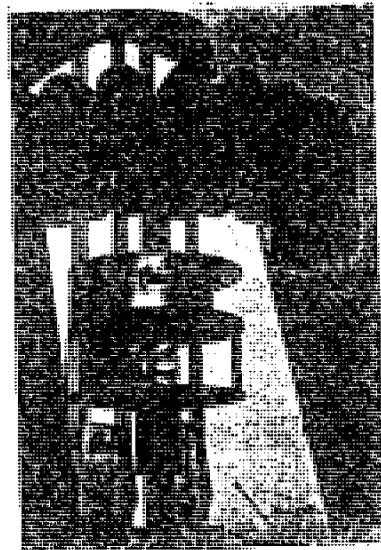
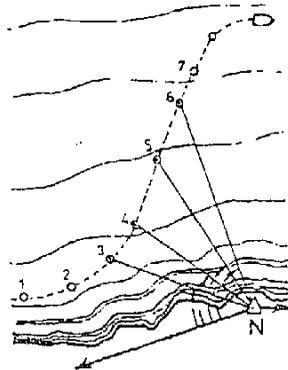
Se estaciona el distanciómetro sobre uno de los puntos del sistema de apoyo, a los efectos de tener posicionado el instrumento, se va siguiendo el movimiento de la lancha apuntando el mástil o los prismas, con el tornillo de movimientos lentos; en el instante en que se efectúa el sondeo, el operador de la lancha lo comunica a través de una señal de radio o luminosa.

Al recibir la señal, el operador del instrumento detiene el movimiento de la alidada para efectuar la medición de distancia, posteriormente lee el rumbo, tiempo que es aprovechado por el personal de la lancha para levantar anclas y dirigirse hacia otra posición.

Conviene medir las distancias empleando un distanciómetro de onda corta, ya que el distanciómetro electro-óptico presenta dos dificultades: por una parte el tiempo de trabajo se ve reducido por la falta de visibilidad debido a la presencia de bruma, lo que afecta considerablemente el haz de luz, y por otra parte, a que los prismas usados comúnmente en levantamientos terrestres, deben ser reemplazados por un sistema de prismas (tal como lo indica el esquema) ya que el continuo movimiento de la lancha hace muy dificultoso y lento el apunte del prisma al aparato.

Cuando se trabaja con ecosonda de medición continua, se van haciendo las mediciones ininterrumpidamente, ya que la lancha se detiene sólo el tiempo necesario para la observación de distancia.

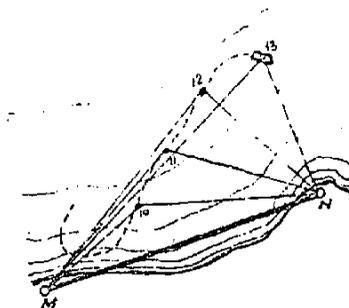
Como la gráfica del perfil registrado por la sonda, tiene dos variables (alturas en las ordenadas y tiempos en las abscisas), es necesario cronometrar el instante de observación para luego poder relacionar las coordenadas X y Y con la altura h, a los fines de calcular el Z correspondiente.



### 3. Bisección

Es el método de medición más empleado por su simplicidad y rapidez, se requiere de dos teodolitos ubicados en dos vértices del sistema de apoyo. Al efectuarse el sondeo y transmitida la señal, ambos operadores detienen el movimiento de la alidada, la cual hasta ese momento iba siguiendo el recorrido de una imagen puntual, común, de la lancha, con el tornillo de paso fino.

Se anotan los rumbos y se reinicia la operación.



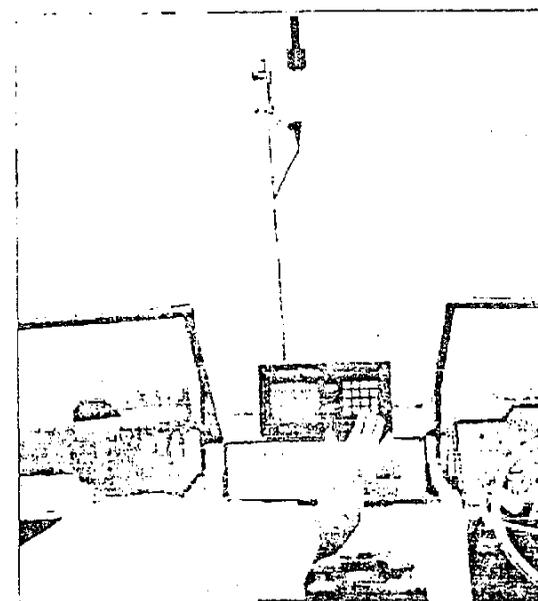
Es ideal emplear este método con la ecosonda de lectura continua, anotando los tiempos, como en el caso anterior.

### 4. Intersección inversa

Para poder determinar la posición de un punto, se necesita conocer las coordenadas de tres puntos y medir los dos ángulos comprendidos, o bien conocer las coordenadas de dos puntos y medir las dos distancias.

El primer caso, no se puede realizar con un teodolito ya que en la lancha es imposible mantener calado el instrumento y medir los ángulos, sin embargo, para levantamientos expeditivos, los textos tratan la posibilidad de utilizar un sextante, apuntando hacia puntos visualmente dominantes de la costa, tales como antenas de radiotorres, etc.

El segundo caso es muy práctico y frecuentemente usado en los levantamientos que se llevan a cabo sistemáticamente, como son los trabajos que se realizan para detectar la presencia de bancos de arena en los canales de los puertos, y ríos navegables.



Conjuntamente que el sonar envía una señal acústica para medir la profundidad, se emite una señal de onda corta, que es devuelta por dos estaciones costeras, de cuya posición se conocen las coordenadas.

El instrumento del esquema permite obtener directamente las coordenadas X e Y en un tiempo de 60seg. con un error de  $\pm 2m$  y puede alejarse de las estaciones costeras una distancia de 74Km.

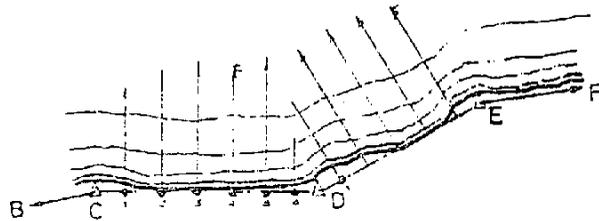
#### 5. Otros métodos

En países desarrollados, las determinaciones mar adentro, se realizan con un equipo que, simultáneamente va avanzando el barco sonda, un plotter va dibujando en forma continua una faja de curvas batimétricas obteniendo directamente la carta. Para darle coordenadas a los esquineros de la carta, se ubica la posición de 2 ó 3 puntos valiéndose de satélites topográficos. G. P. S (pag.88)

Para mediciones en las inmediaciones de plataformas marinas y para los levantamientos destinados a la construcción de gasoductos sumergidos, se emplea con éxito mediciones azimutales empleando el giroteodolito.

#### b. PERFILES

Se materializa una poligonal de apoyo sobre la costa, siguiendo la forma de la misma, sobre los lados se ubican los piquetes espaciados conforme a la densificación que se desea obtener. Desde estos puntos se levantan los perfiles transversales.



Modo de operar:

##### 1. con taquímetro electrónico

Se estaciona el aparato sobre cada uno de los piquetes, apuntando hacia el vértice más lejano se levantan perpendiculares al lado.

La lancha se desplaza por la línea materializada y en cada sondeo se mide la distancia al piquete.

##### 2. con dos teodolitos

Uno de ellos se estaciona sobre el perfil, para colocar en posición a la lancha, mientras que el segundo teodolito se coloca en un vértice, con el objeto de realizar una intersección en el momento del sondeo, para luego calcular la distancia del punto observado al piquete. (fig. a)

##### 3. con un solo teodolito

Cuando se dispone de un solo instrumento, previamente se colocan señales que materialicen la línea del perfil.

La lancha se va alineando sola sobre el perfil, mientras que el operador de tierra instalado en un vértice, va levantando las intersecciones.

Esta forma limita la distancia a que se puede alejar la lancha, por un lado por el error producido al alinearse a simple vista con dos señales generalmente ubicadas en distintos niveles; y por otro, porque al alejarse de la costa es muy difícil saber desde la lancha si se está sobre el perfil correcto, o si se está alineado sobre sobre señales equivocadas. (fig.b)

Aunque el método de levantar perfiles es mucho más lento que la topobatimetría, es en algunos casos más práctico, pues cuando la costa no está edificada es muy difícil ubicarse desde la lancha y se corre el riesgo de no tomar los sondeos distribuidos de la forma que se planificó.

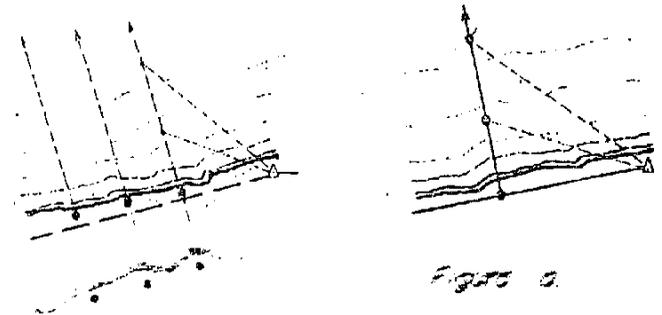


Figura b.

#### SISTEMA DE APOYO

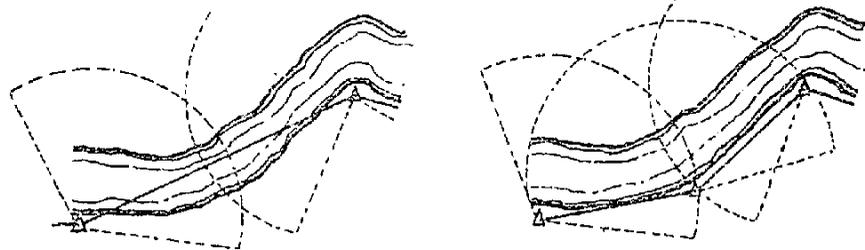
En base a todas las pautas antes establecidas:

- lugar de trabajo - río, mar, laguna
- extensión - profundidad, correntada, ancho, largo, oleaje
- configuración topográfica de la costa- playa, barranca, malezas, edificios
- método de trabajo elegido - polar, bisección, perfiles
- instrumental disponible - sondas manuales, ecosondas, distanciómetro, teodolito
- exactitudes que se persiguen;

de las posibles combinaciones de todas ellas, surgirá el modelo geométrico del sistema de apoyo a realizar.

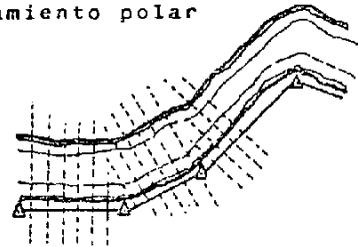
Sin pretender revisar todas las posibilidades, analizaremos algunos casos.

Si se trata de un río cuyo ancho sea inferior a la distancia establecida por las limitaciones de la acotación de errores y/o el instrumental, o bien que se trate de un relevamiento costero. El sistema más práctico y conveniente es la poligonal.



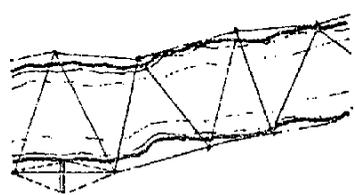
Distanciómetro - relevamiento polar

Bisección

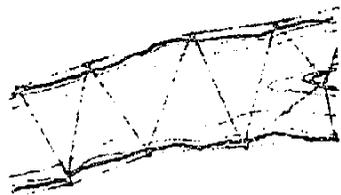


Perfiles

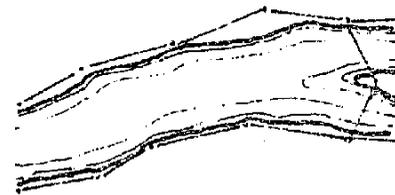
Quando la distancia entre las orillas sea superior al límite establecido, el sistema deberá abarcar ambas márgenes del río.



Triangulación

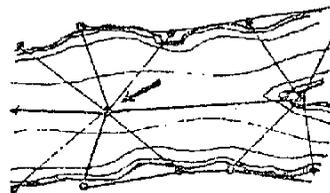


Trilateración



Poligonales

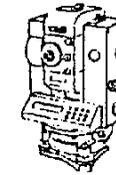
Quando la distancia entre las costas haga imposible la intervisibilidad habrá que recurrir a construcciones especiales.



Los vértices del sistema de apoyo deberán siempre ubicarse en puntos dominantes de la bahía o del río (edificios próximos a la costa, barrancas, escolleras, espineles, gaviones, etc.), y firmes, si ello no es posible para algunos puntos, habrá que prever construcciones especiales con pilotes hincados.

Los puntos fijos alimétricos, pueden coincidir o no con los vértices del sistema estos se colocarán lo más cerca posible de la costa, pero lo suficientemente alejados para evitar su destrucción por las crecidas del río o la marea.

Podemos realizar un itinerario de nivelación geométrica y vincular luego los vértices del levantamiento, a los efectos de tomar las cotas del pelo del agua trigonométricamente desde la misma estación, o bien podemos trabajar independizando la ubicación planimétrica, de las nivelaciones, las cuales las realiza otro equipo mediante el empleo de un altimetro.



## I.9 APLICACIONES DE LOS LEVANTAMIENTOS HIDROGRAFICOS

### I.9a DETERMINACION DE LA PENDIENTE MEDIA DE UN CURSO DE AGUA

Conforme vimos en Geometría Analítica, la pendiente de una recta, es la tangente del ángulo formado por la dirección de la recta con la dirección del eje de las abscisas.

$$a = \text{tg} \cdot \alpha$$

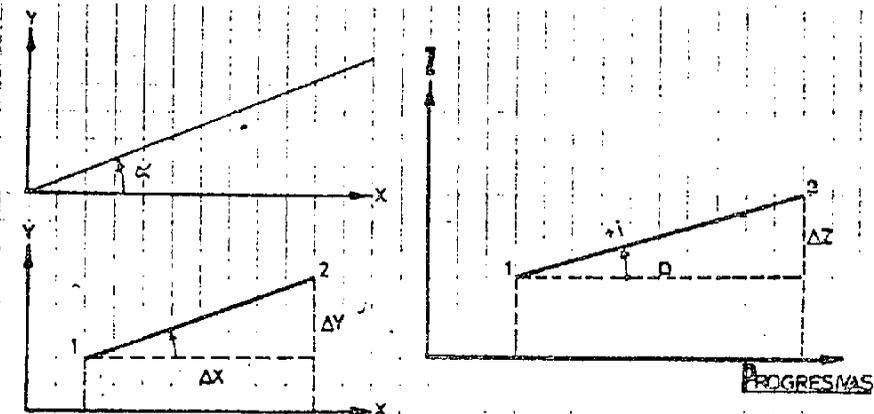
Si la recta está definida por dos puntos, la pendiente será:

$$a = \text{tg} \alpha = \Delta Y / \Delta X$$

Si procedemos a ubicar ahora, progresivas sobre las abscisas y cotas sobre las ordenadas; definiremos la pendiente como la relación entre el desnivel de los dos puntos; sobre la distancia que media entre ellos.

$$i = \Delta Z / d$$

donde  $d = \text{Progr.2} - \text{Progr.1}$

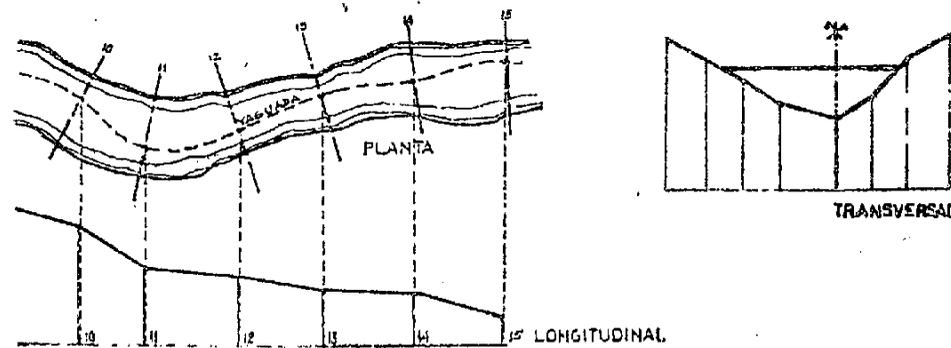


Para determinar la pendiente media de un curso de agua, es necesario relevar la cota de los puntos donde es más profundo el río, estos puntos, tomados consecutivamente, y a distancia uniforme, materializan una línea quebrada que recibe el nombre "eje de vaguada".

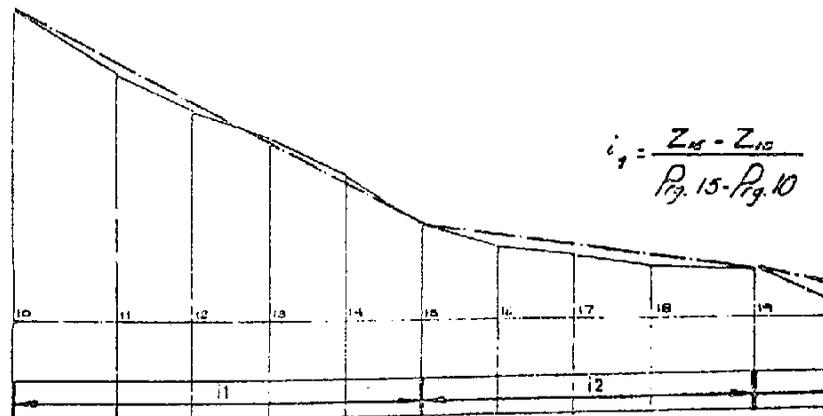
Si el caudal del río es tal que permita relevar su lecho directamente utilizando una mira apoyada sobre él, es muy simple determinar la posición del punto más bajo.

En ríos caudalosos, esto ya no es posible, por lo tanto habrá que levantar perfiles transversales (siempre a distancias regulares) empleando sondeos, para luego deducir, en cada uno de los perfiles transversales, cual de ellos es el punto más bajo.

Con los datos relevados directamente o a través de los perfiles transversales, dibujamos un perfil longitudinal coincidente con el eje de vaguada.



Las pendientes medias, se definirán como rectas promedios, en los tramos en que las pendientes parciales se mantengan aproximadamente constantes, se calculará una nueva pendiente media cada vez que haya un cambio significativo.



Se persigue la determinación de las pendientes medias, con el objeto de emplearla para calcular el caudal de un canal o río, o como uno de los métodos para la determinación de la línea de riberas.

### I.9b CALCULO DEL CAUDAL DE UN CANAL

El caudal que atraviesa una determinada sección "S" es igual a:

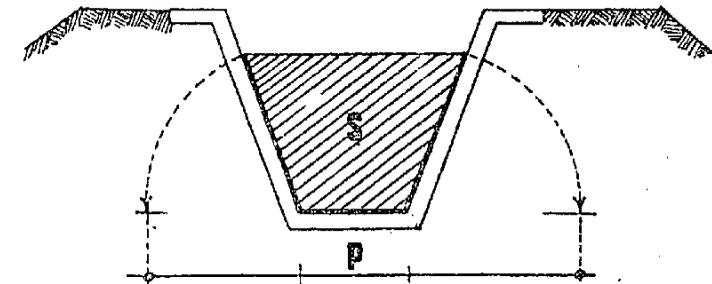
$$Q = S \cdot V$$

donde V es la velocidad del curso de agua.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

- I. Levantamos un perfil transversal y calculamos la sección "S" (m<sup>2</sup>)
- II. Calculamos el perímetro mojado "p" (m)
- III. El radio hidráulico es: "R = S / p" (m)
- IV. A partir del radio hidráulico y de la naturaleza de las paredes del canal, se calcula el coeficiente "C"

el cual responde a fórmulas empíricas.



Las más usuales son:

$$\text{BAZIN } C = 87\sqrt{R} / m + \sqrt{R}$$

$$\text{MANING } C = 1/n \cdot R^{1/4}$$

"m" y "n", son coeficientes que dependen de la rugosidad de las paredes y están consignadas en los respectivos clasificadores (tablas anexas).

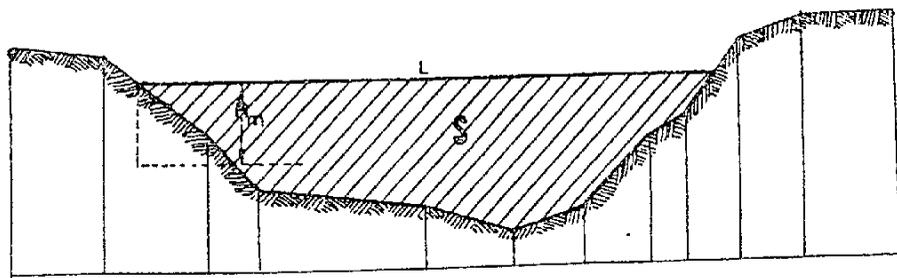
V. Ahora podemos aplicar la fórmula CHEZY, para determinar la velocidad media de la corriente.

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (\text{m/seg}) \quad \text{donde } i = \text{pend. media}$$

VI. Ya hemos reunido todos los elementos para calcular el caudal.

$$Q = S \cdot V \quad (\text{m}^3/\text{seg})$$

I.9c CALCULO DEL CAUDAL DE UN RIO



I. Como en el caso anterior, levantamos un perfil del río y calculamos la sección. "S"

II. Calculamos la longitud del pelo de agua, o sea el ancho de la superficie libre del líquido. "L" (m)

III. Calculamos el tirante medio, haciendo:

$$H_m = S / L$$

IV. Aplicamos la fórmula de HERMANEK:

$$V = 30.7 H_m \sqrt{i} \quad \text{para } H_m < 1.5m$$

$$V = 34 (H_m)^{5/4} \sqrt{i} \quad \text{para } 1.5 < H_m < 6m$$

$$V = (50.2 + 0.5 H_m) \sqrt{H_m \cdot i} \quad \text{para } H_m > 6m$$

V. Conocida la velocidad, como en el caso anterior, estamos en condiciones de determinar el caudal:

$$Q = V \cdot S$$

I.9d CONOCIDO EL CAUDAL DE UN RIO, DETERMINAR L (por cálculo o método de Hiburás)

I. Se levanta un perfil transversal, en el lugar que se desea determinar la distancia "L"

II. Se fija un caudal, que represente al caudal medio de las máximas normales.

III. Dibujamos sobre el perfil una sección tentativa. Calculamos el área encerrada.

V. Como en el caso anterior, calculamos el tirante medio

$$H_m = S / L$$

V. Calculamos la velocidad aplicando la fórmula de HERMANEK que corresponda según el  $H_m$ .

VI. Esta velocidad multiplicada por la sección medida nos tiene que dar el caudal que nos impusimos  $Q' = Q$

Si no es así, repetimos el proceso subiendo o bajando el nivel del pelo de agua, acercándonos al valor "Q", a través de aproximaciones sucesivas.

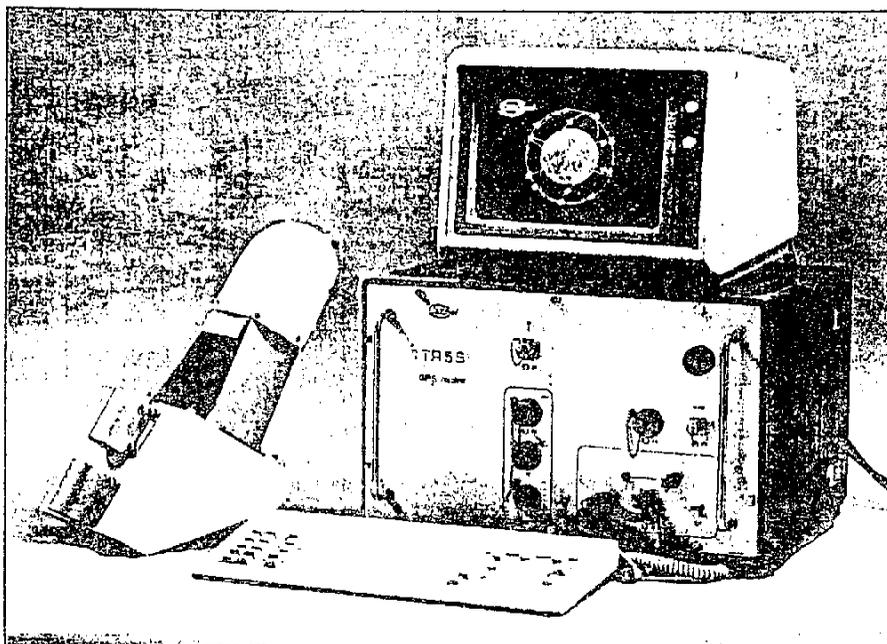
Este proceso iterativo es ideal realizarlo con una computadora, en lugar de resolverlo gráficamente como arriba se ha planteado, pues se llegará al resultado buscado de una manera rápida y exacta.

Clasificador para la fórmula de Bazin

Categoría	Naturaleza de las paredes	m
1.	Paredes de cemento cuidadosamente enlucidas; o de madera cepillada con esmero; agua limpia; canales con alineaciones rectas y amplias curvas .....	0.06
2.	Id., id., pero agua turbia y curvas de radio pequeño .....	0.10
3.	Paredes de cemento con enlucido común; madera cepillada sin esmero; agua limpia; revestimiento de sillar o sillarejo .....	0.18
4.	Paredes de cemento con enlucido rugoso; madera sin cepillar; canales excavados en tierra de excelente ejecución y conservación con paredes y solera sin vegetación; curvas amplias y poco sedimento en el fondo; mampostería cuidadosamente ejecutada; revestimiento de granito .....	0.28
5.	Paredes de cemento sin enlucir, con resaltos en las juntas; trazado tortuoso; limo o muño en las paredes y fondo; revestimiento de mampostería común .....	0.40
6.	Canales uniformes excavados en tierra o grava, sin vegetación; curvas amplias; mampostería irregular; fondo liso con depósito de fango .....	0.85
7.	Canales excavados en tierra, bien conservados con depósito en el fondo; de arena y otros materiales menudos; paredes lisas; o lecho liso con vegetación baja sobre las paredes; revestimiento de mampostería vieja, con fondo fangojo .....	1.00
8.	Canales excavados en tierra, con vegetación baja en el fondo y en las paredes; ríos y arroyos con trazado poco regular pero sin vegetación ni depósitos en el fondo .....	1.20
9.	Canales excavados en tierra, mal conservados, con abundante vegetación, erosiones e irregularidades; depósito de grava .....	1.75
10.	Canales excavados en tierra, abandonados, con riberas inconexas; canales con vegetación ocupando gran parte de la sección; ríos con fondo de guijarros .....	2.30

Clasificador para la fórmula de Manning

Categoría	Naturaleza de las paredes	n	$\frac{1}{n}$
1	Canales semicirculares de hormigón premoldado y vibrado, muy liso; y madera cepillada .....	0,010	100,0
2	Canales revestidos con hormigón ejecutado in situ, con juntas, pero liso .....	0,013	76,9
3	Canales revestidos de hormigón rugoso; o de mampostería de ladrillos con juntas tomadas; revestimiento de gunita .....	0,017	58,8
4	Canales excavados en tierra, rectilíneos y uniformes; canales revestidos con mampostería o con piedra en seco, bien ejecutados; canales excavados en ripio o grava compacto de sección regular; canales excavados en tosca o grava compacta con paredes lisas .....	0,020	50,0
5	Canales excavados en tierra, mal conservados o de ejecución irregular .....	0,025	40,0
6	Canales excavados en tierra, con alguna vegetación y ripio (canales de riego en servicio) .....	0,030	33,3
7	Canales excavados en tierra, completamente abandonados; ríos con vegetación y lecho de guijarros ..	0,035	28,6



## II. REPLANTEOS

### II.1 REPLANTEO

Consiste en materializar en el terreno, (dibujar en escala 1:1), lo que está expresado en los planos del proyecto.

Nuestro problema a resolver es el siguiente: indicar a los constructores, la posición exacta, planialométrica de cada parte de la obra (fundaciones, vigas, paramentos, instalaciones, etc.), cada vez que se inicie una nueva etapa, llevar el control del avance de las mismas, y asegurar que éstas se mantengan dentro de las tolerancias preestablecidas.

Es decir que, las variables a tener en cuenta son los tiempos y las tolerancias constructivas, dentro de las limitaciones que nos imponen la topografía del terreno y el instrumental disponible.

El primer paso es definir concretamente el problema. Ello significa que debemos reunir toda la información disponible y que está contenida en el conjunto de planos que integran el proyecto, compilarlos y traducirlos a un lenguaje común.

Realizamos un proceso de síntesis buscando la estructura, el esqueleto geométrico que los fundamenta, el procedimiento consiste en ir de lo general a lo particular y desde abajo hacia arriba.

Partimos de los planos más generales: planos de ubicación, planimetría general, composición del proyecto, etc.; vamos avanzando hasta llegar a los planos de detalles y desde los planos de fundaciones (que son las primeras tareas a realizar), hasta los niveles más altos.

Definimos en cada obra que forma parte del proyecto general, los ejes principales, diferenciándolos de los ejes secundarios y/o de los auxiliares, los puntos de intersección de los ejes principales, luego las intersecciones de estos con los principales de otra parte de la obra, después con los secundarios, con las curvas, etc., y también identificamos aquellos ejes que son comunes a varias estructuras o aquellos que se repiten en todas las plantas.

Finalizado este proceso de "armado" de una estructura geométrica, la cual es todavía un esquema de rectas, puntos y curvas, procedemos a darles valores matemáticos.

Lo más seguro es que el proyecto ya esté referido a un par de ejes perpendiculares entre sí, los que posiblemente coincidan con las direcciones de los ejes principales de la obra en general. Este punto que será el origen del sistema, tendrá coordenadas, en caso contrario habrá que definir las.

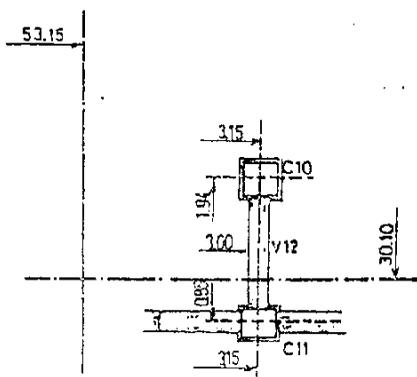
A partir de allí, y con las referencias extraídas de los distintos planos, verificamos o recalculamos las distancias entre ejes, calculamos las coordenadas de los puntos de intersección, las ecuaciones de las rectas, las intersecciones con curvas, los elementos de las curvas, las coordenadas de sus centros, de sus principios y fines, etc.

Nos van ir quedando polígonos cerrados, de los cuales es necesario verificar su cierre (angular y lineal).

La clasificación de los ejes en principales y secundarios, es totalmente subjetiva depende del criterio de cada profesional y de los planos de replanteo que integran el proyecto.

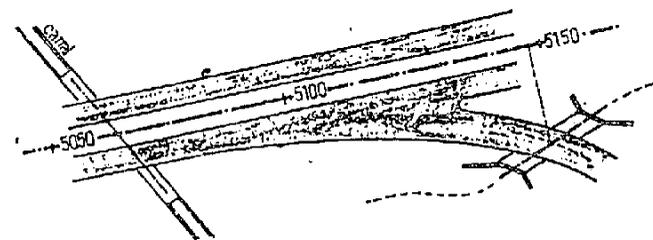
Si se trata de una obra de arquitectura, cada uno de los edificios tiene definido un par de ejes de replanteo, que generalmente son los ejes de simetría o son centrales, a ellos están referidas todas las partes de esa obra, columnas, vigas, tabiques, etc.. A su vez, estos ejes, están vinculados a un par de ejes generales.

Los ejes de la columnas, vigas, tabiques, que hicimos mención, serán los ejes secundarios.

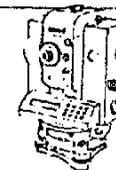


Si se trata de una obra de desarrollo lineal, el eje principal coincide con el

eje de la traza de la obra; los secundarios serán los ejes de los caminos transversales, de las obras de arte, etc.

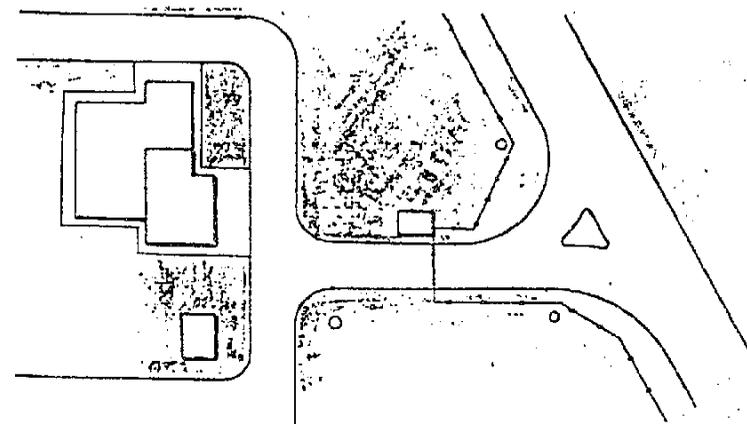


Otras veces a la clasificación la establecemos nosotros, en base a las exactitudes requeridas. Serán principales aquellos ejes que exijan un mayor esfuerzo y secundarios los que tengan una tolerancia más generosa.



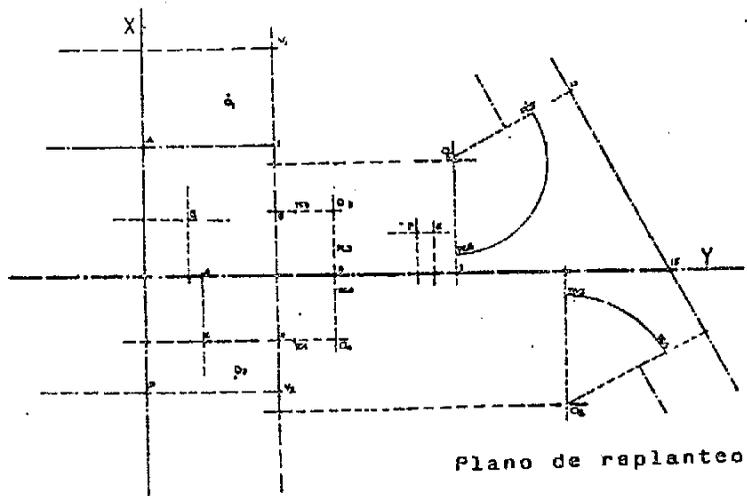
## II.2 EL PLANO DE REPLANTEO

En base a las coordenadas calculadas, confeccionamos nuestro propio plano de replanteo, donde dibujamos la estructura geométrica antes definida, acompañada del correspondiente listado de coordenadas. Este plano es la síntesis buscada.

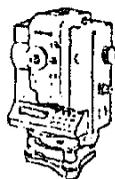


Planimetría general

El paso siguiente, consiste en realizar un estudio de tolerancias exigidas y exactitudes a conseguir. Se hace un análisis para cada ángulo y para cada distancia entre ejes, lo que derivará en los correspondientes errores admisibles para cada punto de intersección, ( $dX - dY - dZ$ ).



Con las exactitudes a alcanzar y con el instrumental disponible (o posible de adquirir si fuese necesario) se plantean los métodos de replanteo y esto a su vez, deriva como consecuencia en la formulación de un modelo del sistema de apoyo necesario.



### II.3 EL SISTEMA DE APOYO

Una obra de ingeniería no comienza en un punto y se desarrolla linealmente, sino que lo hace desde todos los frentes posibles, esto implica que la tarea topográfica del replanteo deba estar rigurosamente planificada y apoyada en una estructura geométrica suficientemente rígida que nos garantice, que ese rompecabezas gigante, que es la obra, quede armado al final como estaba previsto; que cada bloque, que fue construido aisladamente, empalme con las tolerancias prefijadas.

Imaginemos el resultado de nuestro trabajo si algunos de estos bloques o sectores experimentase una rotación o desplazamiento; por error de coordenadas de los puntos calculados, por mal acotamiento de un punto del sistema de apoyo o por sucesivos cambios o movimientos, de los considerados "puntos fijos". Para asegurar que nuestros propósitos lleguen a feliz término, el sistema de apoyo debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Buscar una configuración del sistema adecuada.
- Que sea fijo y permanentemente mientras dure la ejecución de la obra.
- Que las exactitudes obtenidas en los vértices sea al menos dos veces mayor, que la mayor de las exactitudes exigidas para el replanteo.

### II. 3a LA CONFIGURACION DEL SISTEMA

Sobre el plano de replanteo, teniendo en cuenta la distribución espacial de los ejes, se planifica la figura y forma que deberá tener el sistema de apoyo, densificando en las zonas de mayor concentración de puntos de replanteo; acercándonos lo más posible a aquellos lugares donde los replanteos exigen mayor atención o exactitud. En lo posible, abarcando o encerrando toda la obra dentro de la figura.

Apoyándonos en la forma de terreno, en el entorno de la obra y buscando que las figuras sean regulares o cuando esto no sea posible tratando de rigidizarlo, creando elementos supernumerarios, (como por ej. cruzando diagonales).

Un elemento fundamental para tener en cuenta es el plan de obras, de no hacerlo, corremos el riesgo de colocar puntos que serán útiles por muy poco tiempo. Al comienzo de la obra casi todos los puntos serán visibles entre sí; pero al ir creciendo en altura, muchos perderán su intervisibilidad, por ello, es necesario preverlo en el momento del planteo del modelo.

Para calcular las coordenadas de los vértices de la red, es suficiente medir los elementos estrictamente necesario, como por ejemplo, para resolver un triángulo basta con medir un lado y dos ángulos; sin embargo, en la generalidad de los casos se efectúan un mayor número de observaciones que las necesarias. Esto nos conduce a una incertidumbre, ya que combinando las observaciones obtenemos distintos resultados para el mismo punto. Cuál de todos ellos adoptamos como válido?

Es necesario encontrar un único valor, "el valor más probable del resultado", ya sea ajustando el conjunto de las observaciones o el conjunto de los resultados

$$l_0 + v = l_a + dl = l$$

l\_0    valor de la magnitud observada  
 v      corrección de la observación  
 l\_a    valor aprox. de cálculo  
 dl     corrección calculada  
 l      valor ajustado

Si se acepta el carácter diferencial de "dl", la anterior expresión se puede escribir:

$$v = \frac{dl}{dx} dx + \frac{dl}{dy} dy + \dots + l_a - l_0$$

De esta forma se obtiene un sistema, donde habrá tantas ecuaciones como observaciones realizadas y tantas incógnitas como coordenadas. Expresándolo en forma matricial:

$$v = A X + L$$

v    matriz de los términos independientes  
 A    matriz de las incógnitas  
 X    matriz de la configuración del sistema

Esta matriz A, depende únicamente de la forma que adopta el sistema y de los enlaces establecidos entre los vértices. Si se cambia algún vértice de lugar o si se agregan ataduras, cambian los resultados.

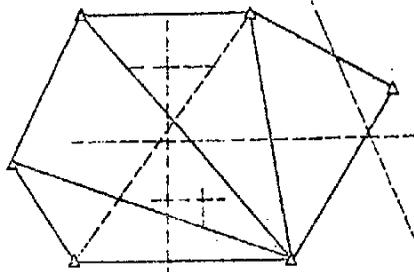
Esto brinda una gran ayuda, pues permite analizar independientemente la influencia de la forma en los resultados.

Dibujando como hemos dicho, el modelo del sistema sobre el plano de replanteo y tomando de él, gráficamente las coordenadas de los vértices, se puede ir variando las formas hasta obtener la configuración óptima del sistema.

Lo anterior, se conoce con el nombre de "Proceso de simulación de redes".

Fijado el sistema, se pueden calcular los pesos de cada observación, para cada uno de los vértices de la red, todo en gabinete, sin efectuar ninguna observación previa, mucho antes de comenzar con los trabajos de campo.

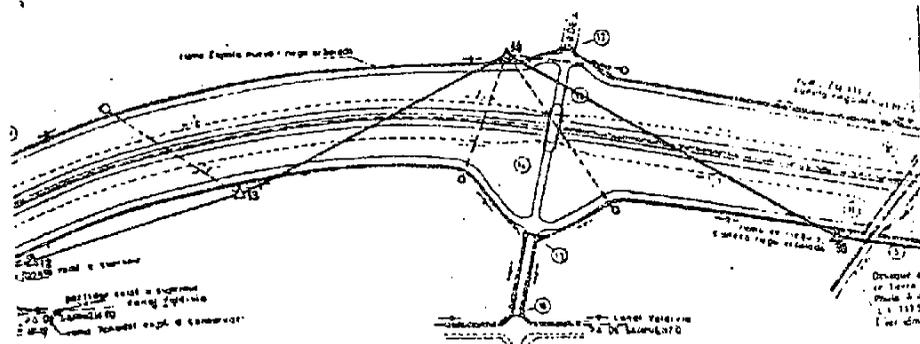
Conocido los pesos y el instrumental disponible, sólo resta estudiar el método de medición adecuado para lograr tal fin.



Esquema de un Sistema de Apoyo posible, para el ejemplo antes visto.

La forma del sistema dependerá si la obra es de desarrollo superficial (como en el ejemplo), o si se desarrolla linealmente, como en los caminos.

En los primeros, es común realizar triangulaciones, trilateraciones, polígonos cerrados, cuadriláteros, etc., mientras que en los segundos, el sistema de apoyo más conveniente son las poligonales.



## II.3b PERMANENCIA EN EL TIEMPO ←

Vamos a convenir en hacer una división, a los puntos que componen el sistema de apoyo que hemos analizado, los llamaremos "sistema principal" y a sus vértices puntos principales.

Estos puntos, deben ser estables y permanentes, debemos asegurar su inmovilidad durante todo el período que dure la obra, por lo tanto deberán ser colocados fuera de la zona de trabajo, lejos del movimiento de máquinas y equipos.

Para el replanteo de cada obra en particular, o cada etapa de una misma obra, es necesario colocar puntos que materialicen el eje, la línea o el punto que se desea replantear. Estos otros puntos, que se colocan desde el sistema principal, deben permanecer inmóviles solamente el tiempo que demande la obra en cuestión, a estos los llamaremos "puntos secundarios".

La primera diferencia que surge entre ellos es temporal, mientras que los primeros duran lo que dura toda la obra, los segundos, sólo el tiempo necesario para ejecutar una determinada tarea.

La segunda diferencia es la siguiente, los puntos del sistema principal, se colocan aproximadamente en los lugares establecidos en la planificación del modelo. Para ello, obtenemos las coordenadas gráficas de cada punto y las replanteamos aproximadamente con un método polar, desde algún punto que se disponga como referencia. (Se supone en el terreno hay elementos válidos, como son, un punto, un eje de referencia, puntos del sistema de apoyo que se usó en el relevamiento, vértices de la mensura de expropiación, etc.).

Colocadas estacas aproximadamente en las ubicaciones previstas, se reemplazan éstas con un mojón de hormigón ya construido o bien se construye in-situ, dejando un bulón cabeza redonda (con una cruz para la centración) o una placa de acero donde se centra un punto con un punzón.

Posteriormente, medimos, calculamos y compensamos el sistema.

Los puntos secundarios, por el contrario, se colocan exactamente (dentro de las tolerancias, se supone) en un lugar determinado, materializando un punto de intersección o un punto que define una línea, el cual tiene coordenadas fijas e inamovibles.

Por su duración y por su fin, los primeros se construyen de hormigón; mientras que los segundos se materializan con estacones de madera de 3" x 3", hormigonados, o con hierros de construcción de  $\varnothing \approx 10$  ó 12mm, clavados en el suelo, o bien con clavos sobre estacones o sobre vallados de maderas. Todo depende de la exactitud que se persiga.

Esta, es la tercera diferencia entre los puntos fijos, los principales (ya se dijo) deben tener una exactitud mayor que la mayor exactitud necesaria en toda la obra y los puntos secundarios, se colocan con una exactitud igual a la exactitud

requerida por la tarea que le dio destino.

Así pues, es inferior la exactitud de un punto secundario que se colocó para demarcar la zona donde se ejecutará una excavación, que el mismo punto que se colocó un mes más tarde para replantear el eje del edificio.

### Mojones del sistema Principal

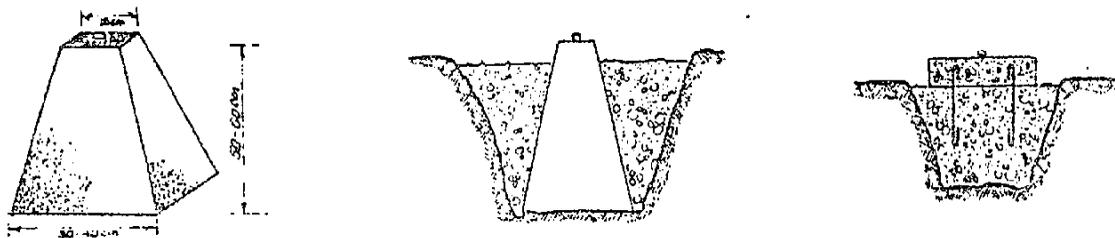
Si éstos se construyen en el obrador, y luego son colocados en obra, pueden hacerse de la siguiente forma:

Cuando el hormigón, aún está fresco, se le inserta un bulón cabeza redonda, al que se le ha hecho con sierra una cruz.

Para colocar estos mojonos, se hace un pozo bastante mayor y se rellena con hormigón pobre, casi seco, compactando con un pisón. Dejando libre la parte superior en aprox. 10cm.

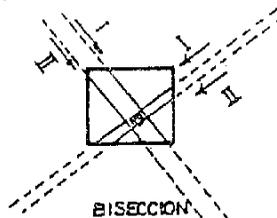
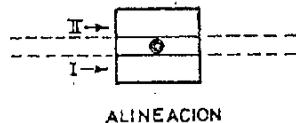
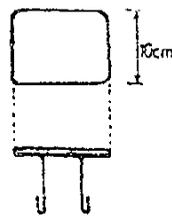
Cuando los mojonos se hormigonan in-situ, se cava un pozo de iguales dimensiones al anterior y se rellena con hormigón hasta la altura del terreno natural, luego se coloca un encofrado (molde) de madera, cuyas dimensiones pueden ser de 0.4 x 0.4m. Posteriormente, se enrasa el molde con hormigón, pudiéndose colocar un par de ganchos de hierro como indica el croquis.

Una vez que se ha alisado la cara superior se inserta el bulón o la placa.



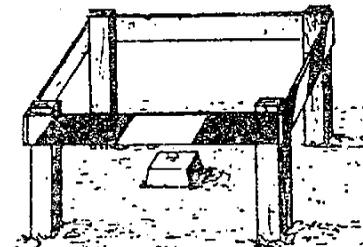
Si a la posición del punto la queremos fijar con coordenadas previamente calculadas, o que se trate de un punto que deba quedar alineado, en lugar de un bulón, insertaremos una plaqueta metálica y posteriormente al proceso de fragüe, trazaremos las rectas, que interceptadas sobre la plaqueta definirán el punto buscado.

Cuando la obra se desarrolla en zona urbana, se puede materializar los puntos con clavos de acero especiales, que se inscrustan en los cordones de vereda o en el pavimento de las calles, con una pistola de aire comprimido o percusión. Otra solución puede ser, quitar una baldosa de la vereda, hacer un pozo de 0.2 x 0.2m, relleno de hormigón y luego insertar, como en casos anteriores un bulón.



Inmediatamente colocado el mojón, es necesario protegerlo, para ello lo hacemos lo más visible, imaginando que debe verlo un maquinista desde la altura de la cabina de mandos.

Hacemos un vallado de protección, como lo indica el croquis, de madera pintada con colores llamativos (rojo y blanco, por ej.). Los tirantes de las esquinas hormigonados para evitar su remoción, dejando un espacio suficiente como para poder estacionar un teodolito cómodamente.



### Puntos secundarios

Supongamos que se desee replantear un edificio de la obra, imaginemos un caso muy simple, tal que como el esquematizado en la figura (1), allí vemos que los ejes de las columnas, vigas, etc, están referidos a un par de rectas perpendiculares entre sí.

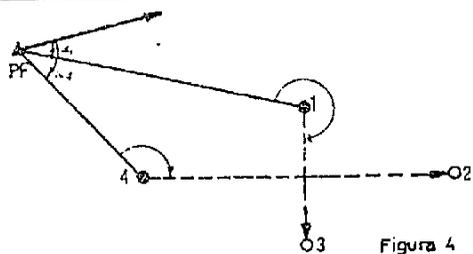
De todos ellos, es suficiente que se materialicen dos cualesquiera, coincidentes con las direcciones ortogonales, los demás, los hacen los capataces o encargados de la construcción, tomando como guía los replanteados.

Estos ejes se marcan sobre un vallado, que se construye encerrando la obra, figura (2), dejando lugar suficiente para que entre el cerco y la obra, puedan circular con comodidad de los trabajadores, y se pueda trasladar los materiales y equipos necesarios para la construcción.

De estas marcas, los constructores atarán alambres o tansas de nylon, con el objeto de materializar los ejes, las aristas o las intersecciones. Figura (3)

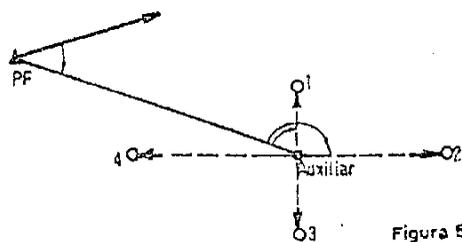
Para poder efectuar el replanteo sobre el vallado, el Agrimensor, previamente deberá colocar puntos en el terreno que identifiquen la posición de las líneas, éstos puntos desde los cuales se realiza el replanteo y los que se van a emplear en reiteradas oportunidades, cada vez que haya que hacer un control, los llamamos puntos secundarios.

Sabemos que una línea recta queda definida si se conoce la posición de dos puntos de ella, o bien un punto y una dirección. Por ende, podemos colocar esos puntos secundarios desde un punto del sistema principal (usando método polar) o desde dos de ellos (bisección). Empleando alguno de los criterios siguientes:



Colocando dos puntos  
Se replantean las dos direcciones  
Se miden dos distancias  
(3 estaciones)

Figura 4



Colocando el punto de intersección se  
replantean dos direcciones.  
Se mide una distancia  
(2 estaciones)

Figura 5

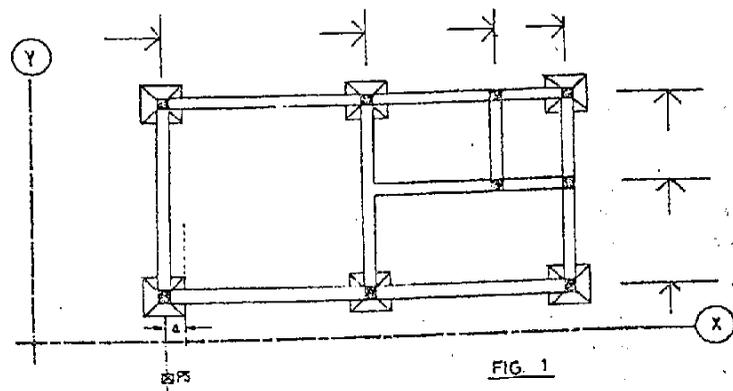


FIG. 1

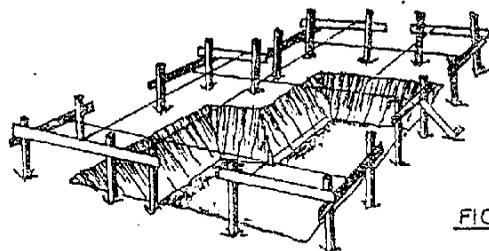


FIG. 2

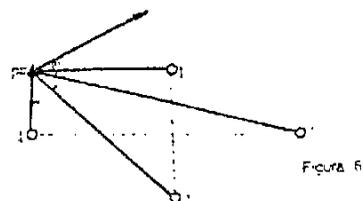


Figura 6

Colocando los cuatro puntos  
Se miden cuatro distancias  
(1 estación)

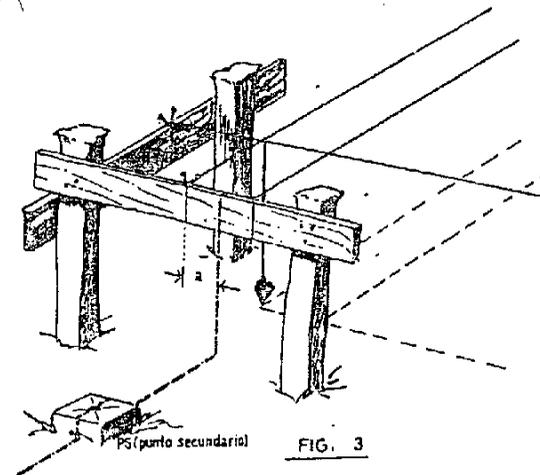
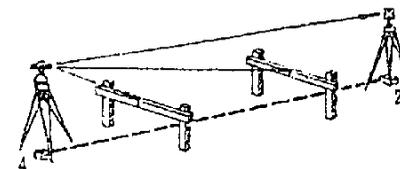


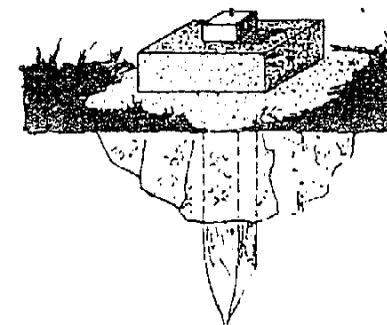
FIG. 3

El paso siguiente, luego de haber colocado los puntos secundarios, consiste en estacionar el teodolito sobre uno de ellos y apuntando al opuesto, se replantean por simple alineación las marcas sobre los vallados.



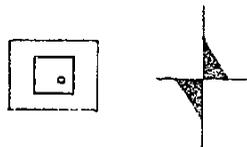
### Señalización de los puntos secundarios

Depende del tiempo que deberán permanecer estos puntos, el tipo de mojón que se va a construir. Puede ser que sea una plaqueta inserta en un bloque de hormigón, o un estacion (tirante 3"x3") de madera, hormigonado para asegurar su inmovilidad, pintado para protegerlo de la humedad.



Observemos que ya sea de chapa, o de madera, siempre colocamos un punto que queda materializado por una superficie de 10 x 10cm. porque al colocarlo y hormigonarlo, se se mueve o no queda vertical. Más tarde, una vez fraguado, volvemos a repetir el replanteo, pero ahora sobre la plaqueta o la cabeza del estación dibujando el punto con la exactitud que necesitemos. Así pues podemos marcar el punto con un punzón en el primer caso o colocar un clavo sin cabeza en el segundo.

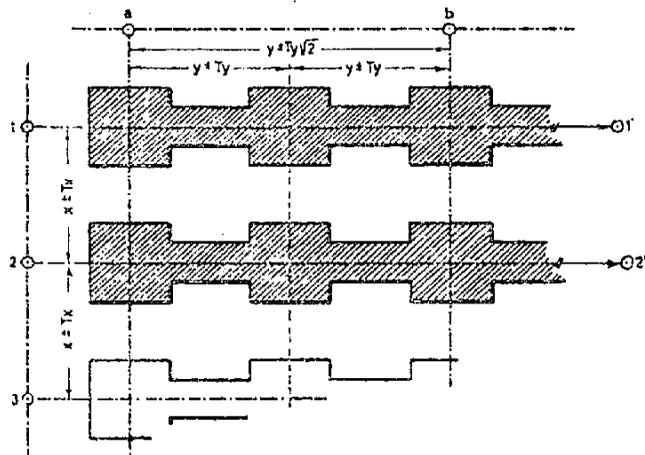
Como la línea se puede replantar teniendo un punto y una dirección, no siempre es necesario amojonar dos puntos, por ejemplo, si sobre la línea se encuentra la pared de un edificio, sobre ella y lo más alto posible podemos dibujar una señal para reconstruir la línea apuntando hacia esta, cada vez que lo necesitemos.



### II.3c EXACTITUDES

Cuando comenzamos a tratar el tema "Sistema de Apoyo", convenimos en separarlo en sistema principal y secundario.

Analizaremos en primer lugar las exactitudes de los sistemas secundarios, para ello vamos a plantear un ejemplo sencillo.



Supongamos que dentro de una obra, haya que replantar varias cadenas de bases de hormigón y que para las distancias que separan los ejes se nos fijen las siguientes tolerancias constructivas:

En la dirección de las X  $\pm Tx$  y en la dirección Y  $\pm Ty$

Luego de un estudio con los constructores, establecemos la necesidad de colocar los puntos secundarios a,b,c,...,n y 1,2,3,...,m. (separados a igual distancia entre ellos).

Inmediatamente deducimos que las exactitudes que buscaremos lograr serán:

para los puntos a,b,...,n igual a  $dY = \pm Ty \cdot \sqrt{2} / 2$

y para 1,2,...,m  $dX = \pm Tx / 2$

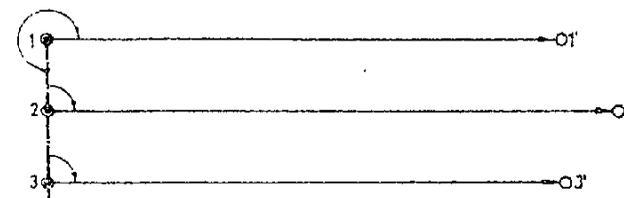
Si le fijáramos valores a nuestro ejemplo y dijésemos que  $x = 3m$ ;  $y = 5m$  y que  $Ty = \pm 10mm$ ,  $\pm Tx = \pm 5mm$ , tendríamos que:

$dY = \pm 10\sqrt{2}/2 = \pm 7mm$  error absoluto admisible para los puntos a,b,...,n que equivale a un error relativo de  $1/1430$ ,

$dX = \pm 5/2 = \pm 2,5mm$  error admisible para 1,2,...,m correspondiente a  $1/1200$ .

Exactitudes estas que se alcanzan perfectamente con el instrumental topográfico del que puede disponerse en una obra.

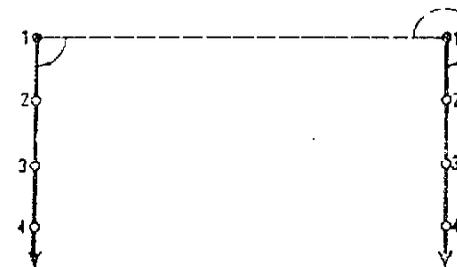
Para materializar estos ejes, podemos hacerlo de dos maneras posibles. Una colocando los puntos, 1,2,...,m sobre una línea, replanteando las distancias con una cinta contrastada y corrigiendo por desnivel entre puntos. Luego, desde cada uno de ellos, materializamos el eje, colocando un punto enfrentado sobre la línea, midiendo el ángulo correspondiente, en nuestro ejemplo  $90^\circ$ .



Supongamos se dispone de un teodolito topográfico y que la distancia sea aproximadamente de 50m; en cada punto 1', 2', ..., m' se producirá la siguiente incertidumbre:

$e_a = \pm 4,8mm$  producida por el error angular y sin tener en cuenta el error de apunte, que en este caso es grave, por apuntar a distancias cortas para replanteos a distancia larga. Error totalmente fuera de lo admisible.

La otra forma, es más correcta, fijamos una línea de base  $1 \times 1 = 1'$  y desde allí colocamos los restantes.

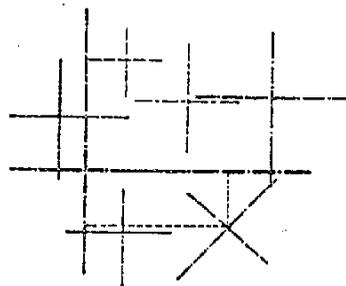


La perpendicularidad con respecto a la línea base, es el único efecto de obviar, el tener que calcular una distancia inclinada.

Igual procedimiento para ubicar los otros puntos a, b, ... etc.

Esta obra, planteada en ejemplo, es parte integrante de la obra de ingeniería general; se relaciona con las otras partes componentes, mediante vínculos que deben guardar entre sí una tolerancia también prefijada.

De tal forma que si consideramos a la obra general como un conjunto, habrá dentro de ella subconjuntos, que entre sí guardarán una estrecha relación, incluso pueden existir obras que no guarden relación con el resto, sin exigencias de vínculos, un subconjunto aislado.



En nuestros trabajos de replanteo, debemos velar por que se cumplan las dos condiciones

- las exactitudes particulares de cada subconjunto
- las exactitudes necesarias en los vínculos

A manera de ejemplo, supongamos que el subconjunto sea un puente carretero. Habrá exactitudes que cumplir en el replanteo de los ejes de pilas y estribos del puente, y habrá otra exactitud que cumplir, (más generosa) para la ubicación del subconjunto "puente", dentro del conjunto "autopista".

De tal manera que para el replanteo de cada subconjunto, habrá en correspondencia un sistema secundario, y la relación entre ellos, será igual a la que rija las obras entre sí.

Como los puntos de estos sistemas, se colocan desde la red principal, debemos garantizar que los vértices de dicha red, puedan cubrir estas exigencias, las de las relaciones entre subconjuntos.

Para poder definir qué exactitud deberá tener cada punto principal, debemos efectuar una acotación de errores, teniendo en cuenta las exactitudes exigidas en las vinculaciones, el método de replanteo, el instrumental disponible y las distancias entre los puntos.

Tengamos en cuenta que al replantear un punto secundario, éste estará afectado de un error de posición, el cual es la suma de dos errores, el error debido a la medición de replanteo ( $\pm e_r$ ) y el error del sistema de apoyo principal ( $\pm e_s$ ). Es decir que:

$$\pm e_p = \pm e_r \pm e_s$$

Fijando la exactitud que queremos obtener en el punto secundario ( $\pm e_p$ ); calculando el error de medición posible ( $\pm e_r$ ), en base al instrumental, método de replanteo y distancias, podemos despejar la exactitud necesaria para ese vértice, o para los vértices que intervienen. ( $\pm e_s$ ).

Veamos un ejemplo.

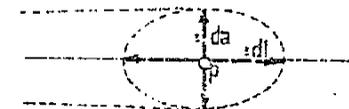
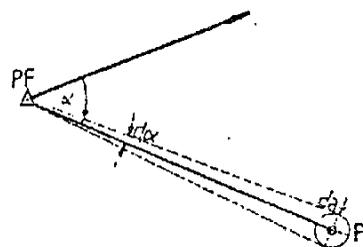
Supongamos que la posición de "P" deba fijarse con una exactitud de

$$e_p = \pm 8 \text{ cm,}$$

que el replanteo se realice con un teodolito topográfico, al que se le ha incorporado un taquímetro electroóptico, y el prisma esté montado sobre un bastón centrador con nivel esférico.

El punto "P", se colocará con un error de replanteo, que será la suma de dos errores:

$$\pm e_r = \pm d_l \pm d_a$$



$d_l$ : error en la medición de distancia.

$d_a$ : debido al error angular  $d$ .

Dándole, los valores numéricos de nuestro ejemplo, será:

$$e_r = \pm \sqrt{d_l^2 + d_a^2} \quad ; \quad \text{donde } d_l = \pm 2 \text{ cm} \quad \text{y} \quad d_a = \pm 0.5 \text{ cm}$$

$$\text{resultando} \quad \underline{e_r = \pm 2.1 \text{ cm}}$$

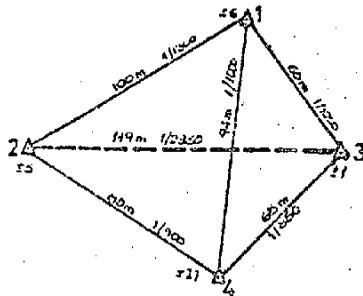
Reemplazando valores en la expresión original, tendremos:

$$e_s = \pm \sqrt{e_p^2 - e_r^2} = \pm 7.7 \text{ cm}$$

Esto significa que para cubrir con éxito la exigencia impuesta, el vértice (4), deberá cumplir con la condición de tener una exactitud en la posición de  $\pm 7.7$  cm.

Analizamos de igual forma todos los replanteos que fuesen necesarios hacer desde dicho vértice, y adoptamos la más rigurosa, repitiendo el procedimiento con cada uno de los vértices de la red.

Tomando los errores absolutos de cada punto, y la longitud que media entre ellos, determinamos para cada lado de la red, las exactitudes relativas que son necesarias lograr.



En el ejemplo expuesto observamos que la mayor de ellas es 1/2350, entonces adoptamos la más exigente de todas las exactitudes necesarias y ella es, la que le vamos a imponer que cumpla el sistema, en nuestro ejemplo podemos adoptar como válida  $e_s = 1/2500$

En los procesos de simulación de redes, podemos efectuar un análisis más riguroso y global del sistema, obteniendo para cada vértice el error del sistema debido a la configuración. Podemos comparar estos resultados con los necesarios y modificar la la forma hasta llegar a los valores buscados.

Observemos que nuestro proceder anterior, hemos considerado al lado 2-3, como un lado aislado y no como una atadura que modifique el estado del conjunto, pero en la realidad no es así, al agregar dicho elemento al conjunto, trae como consecuencia una mayor rigidez de la red y por ende, una reducción de las exactitudes relativas del conjunto, (aumento de pesos).

Esta es la mayor ventaja de esta técnica, que nos permite tratar a la red como un todo integrado, logrando las exactitudes que nos hemos propuesto con una reducción de los costos operativos.

Volvamos ahora un poco atrás, analicemos los tres criterios expuestos para la colocación de puntos secundarios, graficados en las figuras 4, 5, 6, y observamos las diferencias que hay entre ellos.

Supongamos que:

- distancia media entre el Sistema Secundario y el vértice más cercano del Principal, igual a 50m.
- exactitud necesaria a lograr entre los puntos del Sistema Secundario, igual a las expresadas en el ejemplo anterior, es decir:

$$dY = \pm 7 \text{ mm} \quad ; \quad dX = \pm 2.5 \text{ mm}$$

- distancia del eje de simetría a los extremos del edificio a replantear.

$$Y = 20\text{m} \quad , \quad X = 10\text{m}$$

d) exactitud a obtener entre dos subconjuntos:

$$dx = dy = \pm 8\text{cm}$$

e) tolerancia en la perpendicularidad de los ejes secundarios.

$$T_{\alpha} = \pm 5'$$

Veamos en primer lugar el caso de la figura 4, allí tendremos que asegurar para cada uno de los puntos las tolerancias establecidas de vínculos, y además cumplir con las exigencias de la perpendicularidad.

Por lo tanto para cada uno de ellos tendremos un error máximo admisible igual a:

$$dL = \pm 8\text{cm} \rightarrow d\alpha = \pm 5'.5 \rightarrow E = 1/625$$

como vemos un error relativo muy generoso, sin embargo el condicionamiento de esta alternativa viene dado por el esfuerzo necesario a invertir para estar dentro del margen de la tolerancia en la perpendicularidad.

Si la tolerancia es 5', el error admisible será 2'.5 y para cada dirección  $d\alpha = \pm 2'.5 \cdot \frac{5}{\sqrt{2}} = \pm 1'.46''$ , que traducido en errores lineales transversales será:  $dY = \pm 5\text{mm}$  ;  $dX = \pm 10\text{mm}$

Esto nos dice que para replantear el punto (4) hace falta medir la distancia con un  $dL = \pm 1\text{cm} \rightarrow d\alpha = \pm 40'' \rightarrow E = 1/5000$  y para el replanteo del punto (1)

$$dL = \pm 5\text{mm} \rightarrow d\alpha = \pm 20'' \rightarrow E = 1/10.000$$

Veamos ahora la segunda alternativa, es decir la que implica materializar todos los puntos del secundario, desde una única estación desde el Sistema Principal. En este caso, nos veremos obligados a cumplir para cada punto las exactitudes impuestas, no ya por las relaciones de vínculos sino por las propias del Sistema Secundario:

$$dY (1) = \pm 7\text{mm} \quad \text{y} \quad \pm 5\text{mm (perpend.)} \rightarrow dY = \pm 5\text{mm}$$

$$dX (4) = \pm 2.5\text{mm} \quad \text{y} \quad \pm 10\text{mm (perpend.)} \rightarrow dX = \pm 2.5\text{mm}$$

Lo que nos dice que para cada punto secundario, que esté ubicado sobre la recta paralela al eje X; será replantado con la siguiente exactitud.

$$dL = \pm 2.5\text{mm} \rightarrow d\alpha = \pm 10'' \rightarrow E = 1/20000$$

Como puede apreciarse, no es conveniente aplicar este método por el gran costo en esfuerzo que significa.

Por último, nos queda por ver la tercera alternativa, que es la de materializar un punto auxiliar desde donde replantear las dos direcciones perpendiculares entre sí.

En este caso, sólo interesa cuidar la relación de vínculo, que ya vimos era:

$$dL = \pm 8\text{cm} \rightarrow d\alpha = \pm 5'.5 \rightarrow E = 1/625$$

Posteriormente, estacionados en el punto auxiliar, al replantear las direcciones 1-3 y 4-2, habrá que cuidar que el error angular no supere el límite que nos habíamos fijado de 1:5 para cada línea.

No es preciso aclarar que de las tres alternativas propuestas, surge ésta última como la más conveniente.



## II.4 SISTEMA DE APOYO ALTIMETRICO

Imaginemos, que sería del cuerpo humano si no tuviese una estructura ósea que lo mantenga erguido, o un edificio construido solo de ladrillos sin columnas y vigas de hormigón armado, o tal vez los pilares de un puente sin una malla de acero en su interior que lo fundamente; el resultado sería catastrófico.

Lo mismo ocurre con los replanteos de obras, si no se dispone de una estructura que le de solidez.

Una muy buena solución sería que la malla geométrica definida idealmente en el Plano de Replanteo, fuese materializada en el terreno al comenzar las obras, y que se conservara invariable hasta la finalización de las mismas. Pero este planteo, en la generalidad de los casos es difícil, cuando no imposible, llevarlo a la práctica, pues los puntos que definen las rectas, las intersecciones o las curvas, están contenidas dentro de la obra misma, y su destrucción es inmediata.

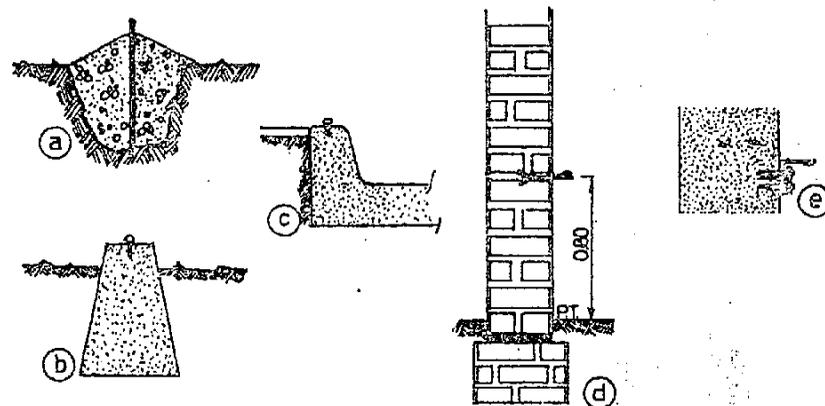
Por tal motivo, es necesario construir otra estructura, definida en forma geométrica, estrechamente ligada a la estructura ideal del plano de replanteo, rígida e indeformable. A esta red de puntos geométricos, definida realmente en el terreno, la llamamos SISTEMA DE APOYO.

A los fines de no realizar un doble trabajo y a la vez tener más puntos que cuidar de conservar, adoptamos como puntos fijos del sistema principal altimétrico, los puntos antes colocados del sistema planimétrico, de tal forma que en lo sucesivo, no se hablará de dos sistemas separados, sino de un único sistema cuyos vértices estarán definidos por las coordenadas X, Y y Z.

Los puntos secundarios, se irán colocando a medida que avanza la obra (conforme a sus exigencias), son independientes de los planimétricos ya que por una parte sus exactitudes se manejan de manera muy distinta, y por otra, porque un solo punto de referencia puede servir para el replanteo de muchas obras al mismo tiempo.

Son más sencillos de colocar que los puntos secundarios planimétricos, pues no necesitan ser replanteados en una posición determinada, sino que se lo ubica en lugares cómodos y seguros, pueden estar materializados por un hierro de construcción  $\varnothing = 16-20$ , enterrado y hormigonado (a), o bien, un mojón de hormigón preelaborado 1 que se le ha insertado un bulón cabeza redonda, (b).

A medida que la obra va creciendo, se va densificando la red de puntos fijos secundarios, colocando nuevos puntos:



- Sobre cordones de veredas o construcciones bajas como plateas de edificios, veredas o alcantarillas, (c).
- Planchuelas insertas en las mamposterías de los edificios, (d).
- Hierros ángulos (ménsulas) abulonadas en insertos colocados en columnas de hormigón, (a).

Para nivelar los puntos del sistema principal, lo haremos por los procedimientos vistos en la Topografía, resultando los más convenientes, los rodeos en las obras de desarrollo superficial y las intercalaciones, e itinerarios en ida y vuelta en las obras de desarrollo lineal.

Para acotar los puntos secundarios, hacemos intercalaciones entre dos puntos del principal.



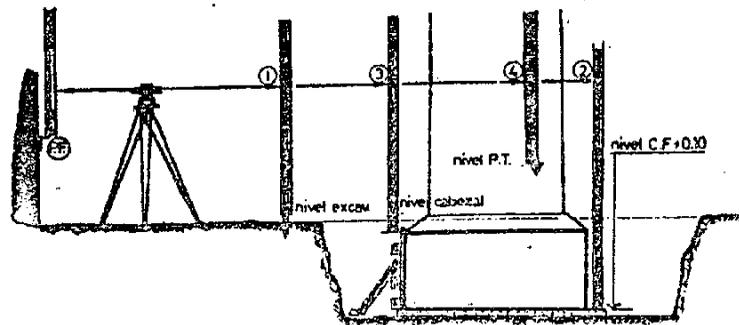
Es necesario recordar que el sistema estará referido a las cotas del sistema de referencia que se usó en el relevamiento, y aún cuando éste fuese arbitrario y no haya exigencias al respecto, conviene vincularlo al sistema general del país.

### Exactitudes

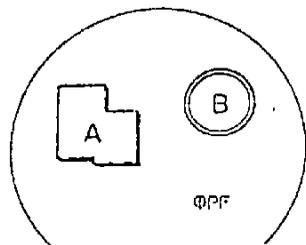
Al igual que lo hicimos antes, debemos tener en cuenta la interrelación que debe guardarse entre las obras que integran un conjunto.

Cada obra tiene sus propias exactitudes altimétricas, pero a la inversa que en la planimetría, es muy fácil lograrlas, pues aunque haya que realizar varias nivelaciones en cada etapa constructiva; éstas no son acumulativas, cada una es independiente de la anterior.

Para evitar cometer errores de operación debemos tomar las siguientes precauciones: verificar y corregir periódicamente el alfiler, estacionarse aprox. en la distancia media entre el punto de referencia y la obra a replantear, ubicar el punto secundario lo más cerca posible para que las distancias sean cortas y tener buena visual, verificar la graduación de las miras, asegurarse que el punto de apoyo de éstas, sea siempre el mismo. En caso de trabajar con lecturas altas incorporar un nivel esférico a la mira, o bien adicionarle un nivel de albañil, trabajar para una misma obra siempre a partir del mismo punto de referencia y cerrar todo trabajo en otro punto acotado.

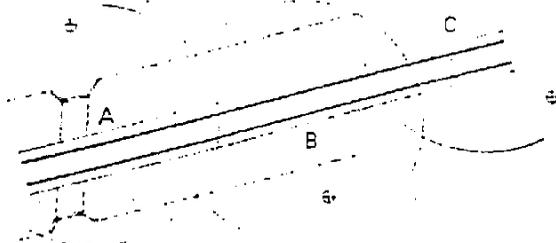


Tampoco hay inconvenientes en lograr la tolerancia buscada, en la interrelación de dos o más obras, cuando éstas se encuentran tan cerca entre sí que nos permite trabajar apoyándonos siempre en un único punto de referencia.



Operando de esta forma, cada obra estará afectada sólo de los errores de medición independizándonos del error del sistema.

El problema se nos plantea en las obras de desarrollo lineal, ya que generalmente, la distancia entre tramos que se deben interrelacionar es mayor, y no podemos hablar de trabajar desde un punto común. Por ejemplo, imaginemos un camino:

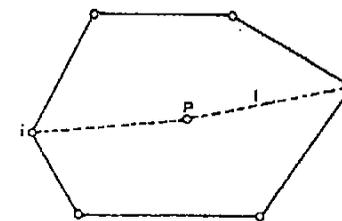


En las zonas de superposición, habrá una diferencia de cotas, que será igual a la suma de los errores de medición y del sistema.

Para hacer nuestra acotación de errores, como siempre nos planteamos el caso más desfavorable, el cuál sería un punto central y al que se nivela desde dos puntos opuestos del sistema. En P debe cumplirse que la diferencia entre el desnivel obtenido desde "i" con el resultante desde "n", sea menor que la tolerancia prefijada.

$$H_p - H'_p = \pm dh_p$$

$$\pm dh_p < Tz_p$$



Ese error, será la resultante de la suma de los errores de medición más los errores del sistema de apoyo.

Es decir:

$$\pm dh_p = \pm c\sqrt{l} \pm dh_n$$

error del punto del sistema  
error de la nivelación

$dh_p$  = mitad del valor de la tolerancia impuesta.

$c$  = error medio por Km.

$l$  = distancia más larga.

Despejamos para obtener el valor de nuestra incógnita, (error del sistema)

$$\pm dh_n = \pm \sqrt{(dh_p)^2 - c^2 l}$$

Hemos determinado el error admisible para un punto del sistema.

Como hemos supuesto que era el más desfavorable, nos impondremos dicho valor absoluto para el resto de los vértices.

Para estar seguros que cada uno de los puntos tendrá la exactitud requerida deberemos prefijar el valor del error de cierre de la nivelación.

Sabemos que el error de cierre es la suma de los errores de cada tramo

$$\pm dh_1 \pm dh_2 \pm \dots \pm dh_n = \pm W, \text{ por lo tanto, en nuestro tramo de}$$

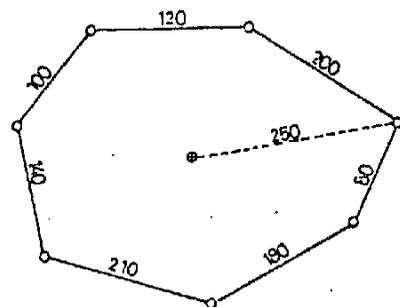
estudio será  $\pm dh_n = \pm W \cdot \sqrt{l_n} / \sqrt{L}$

Hemos supuesto, que el error admisible de un punto sea igual al del tramo, despejando el error de cierre admisible:

$$\pm W = dh_n \cdot \sqrt{L} / \sqrt{l_n}$$

donde  $l_n$  es la mayor de las longitudes del rodeo.

Veamos un ejemplo:



Admitamos para el punto "P" una tolerancia de:

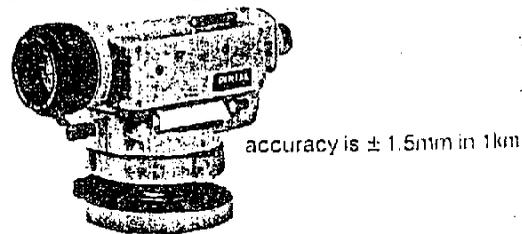
$$dh = \pm 10 \text{ mm}$$

Supongamos también, que disponemos de un nivel automático, cuyo error medio por Km. es

$$c = \pm 1.5 \text{ mm (s/prospecto)}$$

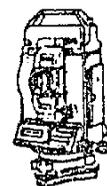
Para cubrirnos supongamos que la exactitud real sea:  $c = \pm 3 \text{ mm}$

$$dh_p = \pm 5 \text{ mm} = dh / 2$$



$$dh_n = \pm \sqrt{(5)^2 - (3)^2 \times 0,25} = \pm \sqrt{25 - (9 \times 0,25)} = \pm 4,77$$

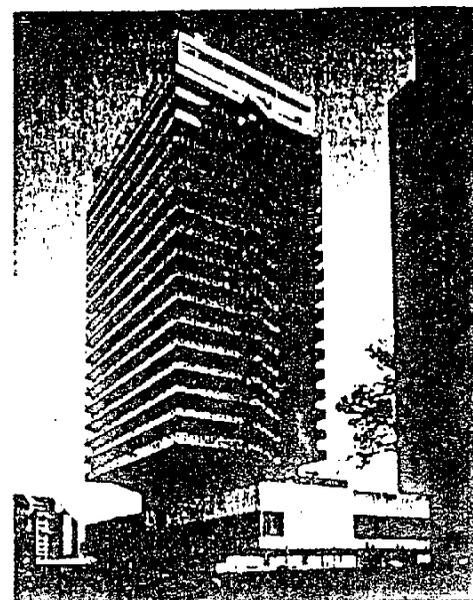
$$W = \pm 4,77 \times \sqrt{1,3} / \sqrt{0,21} = \pm 11,87 \text{ mm}$$



## II.5 METODOS DE REPLANTEO (de puntos Secundarios y Auxiliares)

Los métodos a utilizar deben reunir una serie de condiciones, en primer lugar, deben ser rápidos, buscando de hacer la menor cantidad de estaciones posibles, tienen que ser seguros, esto significa evitar la acumulación de errores, de tal manera que si se cometiese un error, éste quede aislado en un solo punto, y además, que permita ser controlado.

Siempre que planifiquemos un determinado replanteo, al mismo tiempo debemos prever los mecanismos de control que se van a implementar.



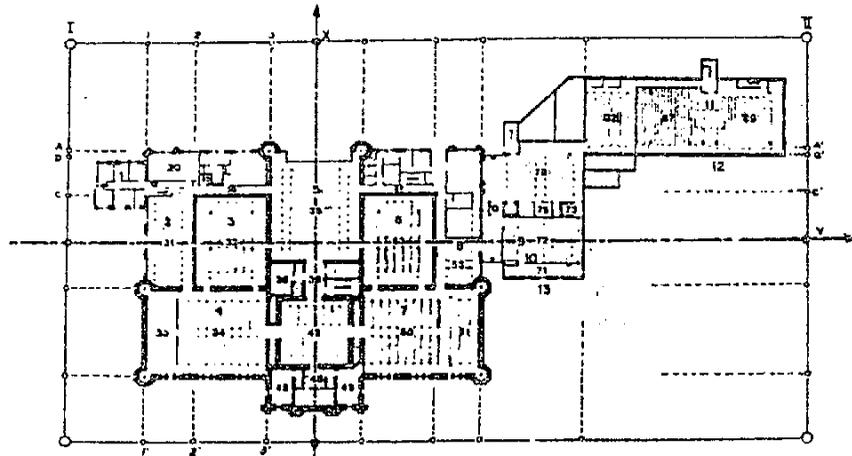
### II.5a ALINEACIONES

Cuando nuestra obra a replantear es de desarrollo superficial y sus dimensiones, no son grandes (como son por ejemplo, algunas obras de arquitectura tales como edificios, torres u obras de ingeniería tales como centrales de energía, estaciones transformadoras, etc.).

O bien, cuando la obra a replantear forma parte de otra más general, tales como en las obras de artes (puentes), en los caminos.

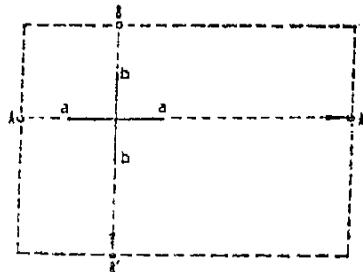
En cualquiera de los casos nombrados, podemos emplear un método de replanteo muy sencillo, conocido con el nombre de método de alineaciones.

Tomemos para analizar, un ejemplo simple, el de la figura (1), allí vemos que la obra está referida a un par de ejes X e Y. En este caso, como sistema de apoyo podemos trazar un rectángulo que encierre a la obra, cuyos lados sean paralelos a los ejes de referencia y colocar luego los puntos secundarios sobre los lados de dicho rectángulo.



El método consiste en replantear los ejes necesarios, estacionándose en un punto secundario y apuntando con el teodolito a otro ubicado sobre el lado opuesto. Por ejemplo, para materializar el eje aa, lo hacemos estacionándonos en el punto secundario "A" apuntando hacia "A'".

Luego, para materializar el punto "P", lo hacemos por intersección de dos rectas, la aa y la recta bb, para lo cual habrá que estacionar en "B" y hacer puntería en "B'", (figura 2).



Como puede observarse, no se miden ángulos, sino que son sólo simples alineaciones, esto hace que el método sea muy simple y práctico; esto nos habla de la rapidez del método, y será seguro en tanto y en cuanto se extremen los cuidados, que no ocurra que el teodolito se estacione sobre el extremo de una línea mientras que por falta de una nomenclatura adecuada, la señal de puntería se estacione en el extremo de otra.

El problema que puede plantearse es que, a medida que avanzan las construcciones, se van creando obstáculos que van cubriendo las visuales; pero siempre, podemos ir trasladando los mismos a construcciones internas, tales como cordones de pavimentos, cunetas, canales, veredas; o colocar señales de puntería sobre vigas o paredes de los edificios.

Cuando el obstáculo sea de escasas dimensiones, tal como columnas, podemos trazar una paralela y volver luego al eje desplazando igual cantidad, el punto sobre el caballete, (fig.3).

Las señales que utilizaremos para tomar línea, dependen de la exactitud que pretendamos lograr.

$\pm 1,5 \text{ cm}$  a  $\pm 2 \text{ cm}$  (jalón verticalizado)

$\pm 5 \text{ mm}$  a  $\pm 1 \text{ cm}$  (ficha)

El uso de fichas es muy limitado pues a veces es dificultoso hacer un buen apunte debido a la cantidad de obstáculos que hay a nivel de piso de una obra. (Excavaciones herramientas, máquinas, materiales de construcción, etc.). Por ello, es conveniente bisectar a una señal de puntería estacionada sobre trípode y centrada con plomada óptica, (figura 4); con estas señales, podemos asegurar la centración entre:

$\pm 1 \text{ mm}$  a  $\pm 2 \text{ mm}$  (señal de puntería)

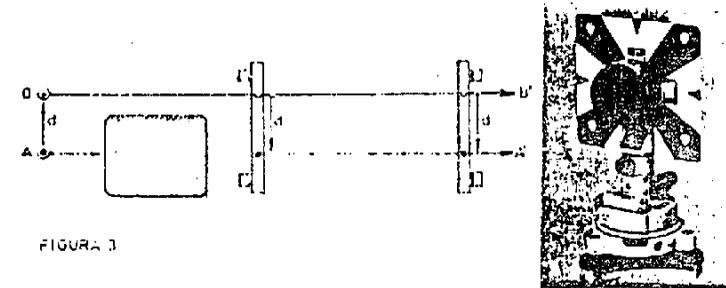


FIGURA 3

FIGURA 4

Para la colocación de los puntos secundarios, se hace de igual forma estacionándose en uno de los vértices del rectángulo de apoyo, se apunta hacia el vértice opuesto. No es necesario extremar cuidados en el replanteo de la alineación, ya que no nos interesa cuidar el error transversal, sino el longitudinal, por ello, en la colocación de los puntos secundarios lo importante es la medición lineal y la exactitud necesaria será directamente la deducida de la tolerancia constructiva.

Si la medición se realiza con cinta métrica, es necesario densificar previamente el sistema de apoyo; colocando puntos sobre los lados de tal forma que entre ellos medie una distancia menor, que el de la longitud total de la ruleta que luego se utilizará.

Esto tiene por objeto que los puntos secundarios puedan ser replanteados sin superar la cintada y al mismo tiempo disponer de un control, para verificar no se haya movido el mojón o evitar de cometer un error de lectura de la cinta.

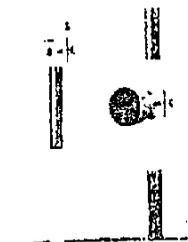
Si en cambio, se dispone de un distanciómetro, no es necesario densificar puntos de apoyo sobre los lados del rectángulo, pues los puntos secundarios se colocan midiendo directamente desde uno de los extremos.

1. El procedimiento a seguir, es el siguiente: Estacionamos el instrumento en un extremo y haciendo puntería en el otro, alineamos estacas de madera, fichas o hierros midiendo las distancias en modo tracking.

El modo tracking (replanteo), que posee la gran mayoría de los distanciómetros electrópticos, permite al operador del instrumento obtener una distancia medida en muy corto tiempo entre 2seg. y 5 seg. con una precisión en el aparato de  $\pm 1$ cm. Esto permite que el ayudante (que está colocando las estacas), se mueva sobre la línea, con un prisma colocado sobre un bastón o un jalón; hasta que el operador le informe que se encuentra en la distancia.

Los bastones provistos por las fábricas de instrumental, tienen incorporados un nivel esférico para asegurar la verticalidad del mismo. En caso de emplear un jalón habrá que adosarle un verticalizador.

Como la operación es rápida y el bastón se está moviendo, el error que se comete en la medición puede estar en el orden de  $\pm 1$  a  $\pm 3$  cm.



MODE "FINE" - 5mm  
TRACKING mode - 10mm ± 1cm

2. Terminado el replanteo, las estacas o las fichas son reemplazadas por estaciones de madera de 3"x3" hormigonadas, o bien por plaquetas de hierro insertas en hormigón, de 10cm. x 10cm..

3. Realizamos nuevamente la alineación y dibujamos la misma sobre la cara del estacón o la plaqueta.

4. Marcamos un punto arbitrario y sobre él estacionamos el prisma, ahora sobre un trípode con plomada óptica.

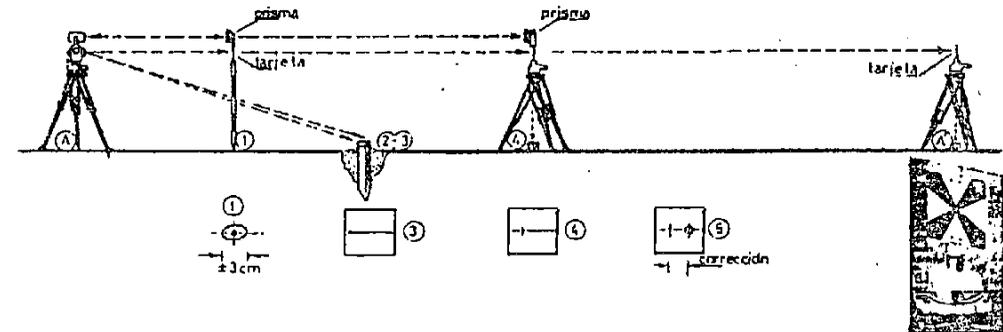
Efectuamos nuevamente la medición, pero en modo "fine", lo que otorga a la medición una precisión de  $\pm 5$ mm.

5. Efectuamos la corrección sobre la línea demarcada.

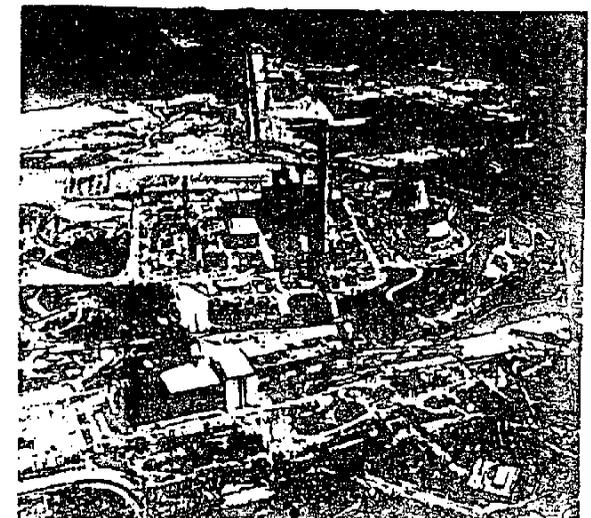
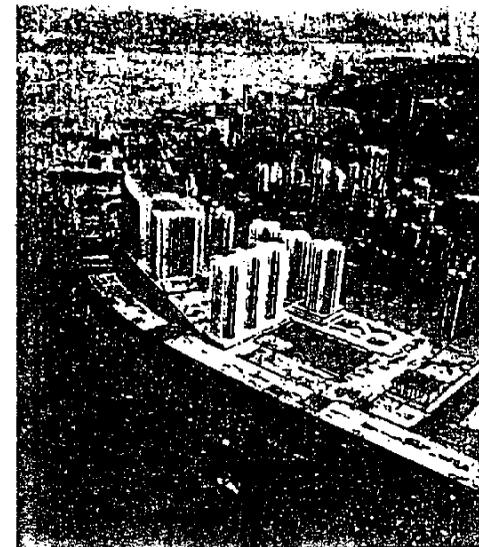
Por ejemplo, lectura... 94.496 m  
 distancia.. 94,500 m  
 diferencia 0.004 m      corrección = + 4mm

Corremos luego el prisma sobre la base nivelante, centrándolo en el punto corregido y efectuamos una nueva lectura de control.

Finalmente marcamos el punto verificado con un clavo sin cabeza o con un punzón sobre la plaqueta.



Cuando una obra se desarrolla superficialmente y su extensión es grande, y al mismo tiempo, son muy variadas las partes que la componen (tal como lo demuestra la fotografía); o bien, cuando la obra es de desarrollo lineal, resulta imposible en estos casos, efectuar todo el replanteo de la obra aplicando el método antes desarrollado, excepto en áreas reducidas.

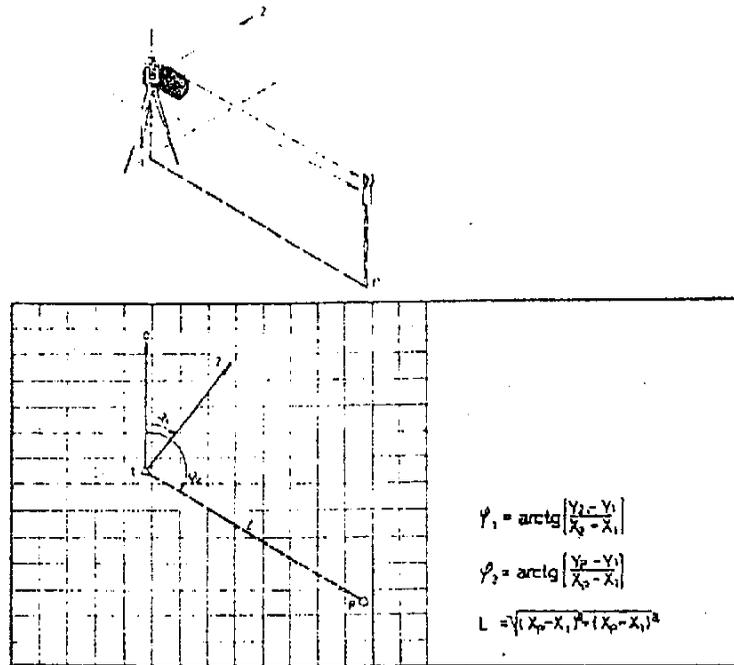


Para estas obras, los replanteos los efectuamos aplicando un método polar, o bien la distancia indirectamente a través de una intersección hacia adelante, método conocido con el nombre de bisección; o eligiendo arbitrariamente el posicionamiento del instrumental, realizando una intersección inversa, método conocido con el nombre de libre estacionamiento.

## II. 5b MÉTODO POLAR

Procedimiento: Estacionando el instrumento en un punto del sistema principal, lo orientamos apuntando a otro punto de mismo sistema, provocamos la lectura del rumbo, el cual fue previamente calculado y hacemos girar el teodolito, barriendo la zona de izquierda a derecha, buscando las lecturas de los rumbos correspondientes a los puntos secundarios o auxiliares que deseamos replantear.

Ubicada la dirección de cada uno de ellos, los materializamos en el terreno, midiendo la distancia correspondiente desde la estación, empleando distanciómetro electróptico o cinta de agrimensor.



Replanteo de un punto auxiliar, midiendo la distancia con distanciómetro.

Luego de haber materializado la dirección del rumbo, alineamos un ayudante, quien se ubica sobre la línea con un prisma centrado sobre un bastón o jalón.

Operando en modo "Tracking" (ya mencionado), vamos haciendo desplazar al auxiliar, mediante señas o a través de un radio transmisor; hasta que este se ubique en las proximidades del punto (dentro de los 10cm). Medimos el ángulo vertical, y lo introducimos a los efectos de obtener la distancia reducida al horizonte.

Ahora el ayudante se preocupa por mantener calado el nivel esférico, y repetimos la operación hasta que por aproximaciones sucesivas lleguemos a la lectura correcta. Ya vimos, que con esta manera de proceder, la exactitud a obtener en el replanteo de ese punto se encontraba en un entorno de  $\pm 3$ cm.

Generalmente, en la gran mayoría de los casos, esta exactitud, está dentro de las tolerancias constructivas requeridas para un punto auxiliar.

Replanteo de un punto secundario, midiendo la distancia con distanciómetro:

Repetimos el procedimiento descrito arriba, luego reemplazamos la ficha o estaca por un estación de madera de 3"x3" por 0.60-0.80m, el que se hormigona.

Una vez fraguado el hormigón, reproducimos el rumbo en dos posiciones, las que se materializan en la cabeza superior del estación.

Al igual que en las alineaciones, hacemos una marca provisoria, sobre la cual centramos la señal de puntería con el prisma, luego de medida la distancia en modo "Fine" y reducida a la horizontal, calculamos la corrección a efectuar.

Hecho esto, desplazamos la base nivelante sobre la base del cabezal del trípode y controlamos la medición.

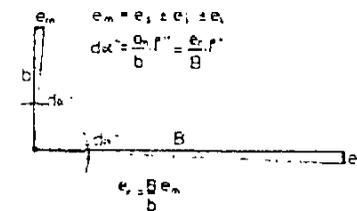
Si es correcta, marcamos definitivamente el punto.

Recordamos lo siguiente:



Al efectuar la acotación de errores, para asegurar que el punto colocado cubra la tolerancia impuesta, hemos ponderado y controlado el error de medición angular y el error debido a la medición de la distancia, pero además, habrá que cuidar acotar el error producido por la suma de los errores de centración del instrumento, de la señal de puntería colocada para orientar el aparato y de lectura. Esta suma de errores, se propagará directamente al replanteo, multiplicada por la relación entre los lados.

Por ende, conviene que la distancia a la señal de puntería, sea mayor que la del replanteo, si esto no es posible, en ese caso deberá apuntarse indefectiblemente a una señal centrada sobre el punto con plomada óptica.



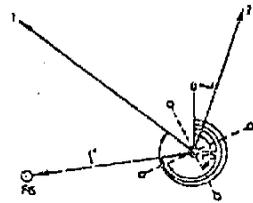
El método polar, cumple con las condiciones que nos habíamos impuesto, de ser rápido y seguro, pues el replanteo lo hacemos desde una sola estación y de cometerse

un error grosero (de cálculo o medición), éste quedará aislado, ya que cada punto es colocado independientemente del anterior.

Es rápido y seguro, siempre y cuando la medición se realice con un distanciómetro.

No ocurre lo mismo si lo hacemos con cinta, ya hemos mencionado que las distancias que separan a los puntos del sistema principal del punto secundario o auxiliar es grande, además, también hemos comentado que en toda obra hay demasiados obstáculos a nivel de piso como para efectuar una rápida, cómoda y segura medición. De tal manera que este método, empleando cinta, sólo lo emplearemos en aquellos casos en que las distancias de replanteo sean cortas, o bien las tolerancias sean tan generosas que así lo permitan.

Como control, proponemos que al estacionarse el operador en el punto secundario colocado para efectuar el replanteo del resto de puntos; previo a ello, lo verifiquemos apuntando y midiendo la distancia hacia otro punto del sistema principal, o hacia otro punto secundario ya colocado y verificado.

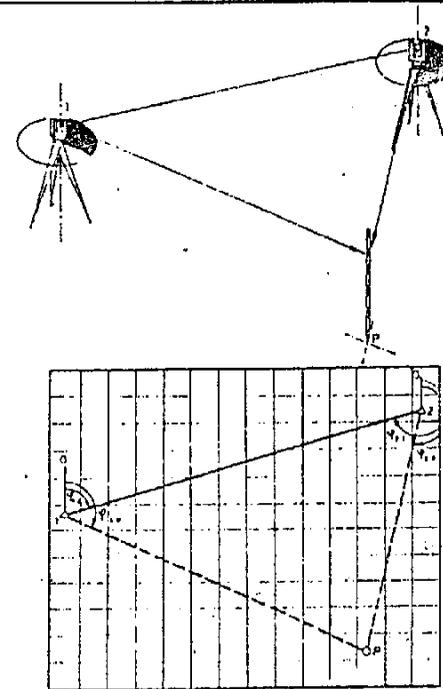


## II.5c BISECCION

Lo anteriormente expuesto, no significa, que si no disponemos de un distanciómetro en obra, no podemos trabajar. Podemos buscar algún otro método que nos permita reemplazar al polar, como por ejemplo, en lugar de medir la distancia directamente, lo hacemos indirectamente a través de una intersección, trabajando simultáneamente con dos operadores y dos teodolitos. Estacionados sobre dos puntos del sistema principal, al igual que antes lo hicimos, transformamos las coordenadas rectangulares de los puntos principales y secundarios o auxiliares en coordenadas polares y confeccionamos para cada estación una planilla con los rumbos a replantear.

### Procedimiento para colocar un punto auxiliar:

Realizada la operación de estacionamiento y orientación de los instrumentos, se busca en ambos, el rumbo correspondiente al punto a replantear, el ayudante con un jalón se alinea en la dirección de uno de ellos, luego se va moviendo sobre la línea hasta quedar alineado con el otro aparato; seguramente se habrá desplazado de la anterior, así es que deberá solicitar nuevamente al primero que verifique la alineación, y así seguirá, por aproximaciones sucesivas hasta encontrar el punto de intersección de ambas rectas. Cuando el entorno quede reducido al dm. trabajará (depende el caso) con una ficha o un jalón verticalizado.



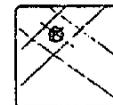
### Procedimiento para colocar un punto secundario:

La forma de trabajar es idéntica a la anterior, pero luego reemplazamos el punto (ficha) por un estacón de madera de 3"x3" o una plaqueta de 10x10cm. Una vez que ha fraguado el hormigón, repetimos la operación en dos posiciones, dibujando ambas sobre la cara del estacón o plaqueta, luego buscamos como siempre la intersección de los ejes medios y colocamos el punto.

Sobre ese punto hacemos estación con una señal de puntería, centrada con plomada óptica y medimos el ángulo formado desde cada uno de los vértices del sistema de apoyo. El método de medición angular empleado, dependerá de la exactitud que buscamos y del instrumental que se disponga. De esta forma, ahora calculamos las coordenadas del punto materializado y efectuaremos las correcciones necesarias.

Habrá que tener en cuenta, al planificar el replanteo, la forma y las dimensiones de los triángulos, para realizar una correcta acotación de la propagación de los errores, con el objeto de cumplir con las tolerancias impuestas.

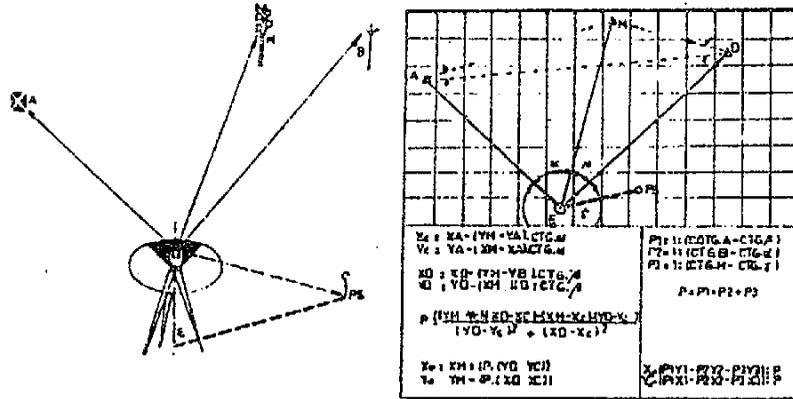
Como puede observarse este método es casi tan rápido como el método polar, tiene las mismas exigencias de cálculo y no requiere que se reduzcan las distancias al horizonte. Como en el caso anterior, no hay acumulación de errores, pues cada punto se coloca independiente del anterior, y trabajamos a aprox. 1.5m sobre el nivel del suelo. Aún en algunas obras, o en algunos tipos de replanteos especiales, nos inclinamos por utilizar este método aunque se disponga de un distanciómetro, son algunos ejemplos, los replanteos industriales, los montajes mecánicos, etc., donde las distancias son cortas y las exactitudes a lograr muy exigentes.



## II.5d LIBRE ESTACIONAMIENTO

Otro recurso que disponemos es el de achicar las distancias de replanteo, acercándonos lo más posible a los puntos secundarios y/o auxiliares.

Disponiendo de un sistema de apoyo bien densificado y colocadas en posiciones visualmente dominantes, asegurándonos que desde cualquier lugar de la obra puedan observarse simultáneamente tres puntos; en ese caso, podemos ubicarnos en la zona próxima a los puntos a replantear y realizar una intersección inversa.



### Procedimiento:

Determinando aproximadamente el lugar donde estará ubicado el, o los puntos secundarios o auxiliares, estacionamos un teodolito en las inmediaciones, cuidando que desde allí no tengamos obstáculos ni interferencia para medir tramos cortos con ruleta.

Tomando lectura a tres puntos del sistema principal, calculamos los ángulos, compensamos el cierre de la estación, calculamos las coordenadas del instrumento, hacemos la diferencia de coordenadas con el punto a replantear y calculamos el rumbo con el punto del sistema de apoyo que mejor se vea.

Provocamos esta lectura y buscamos el rumbo del punto a replantear, luego operamos igual que con el método polar.

Las ventajas de este método son las siguientes:

Es muy rápido, ya que sólo hacemos una estación. Ahorramos tiempo al estacionar el aparato, por que al teodolito lo ubicamos libre y arbitrariamente, no tenemos que centrar sobre ningún punto. Siempre vamos a tener visuales hacia los puntos a replantear, pues así elegimos la estación, cosa que no ocurre a veces con los otros métodos, trabajamos en un sector reducido, medimos distancias cortas, mientras que los apuntes son efectuados a distancias largas.

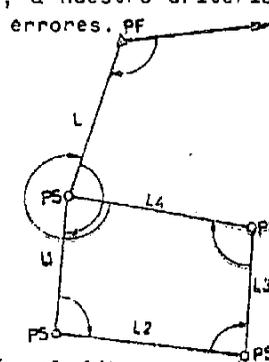
Cuando las obras son desarrolladas en zonas urbanas, disponemos el recurso de darles coordenadas a puntos reales visualmente dominantes, tales como pararrayos de edificios, antenas de radio o televisión, o a señales que colocamos a tal fin sobre tanques elevados o techos, lo que facilita considerablemente el empleo de este método.

En cuanto al trabajo de cálculo, es más laborioso que los anteriores, sin embargo, si se dispone de una calculadora programable, lo cual es común hoy en día, la tarea se ve simplificada en extremo.

El error con que se determina la posición del punto estación, afectará a todos los puntos que desde allí se replantee, por tal motivo es muy necesario acotar las mediciones.

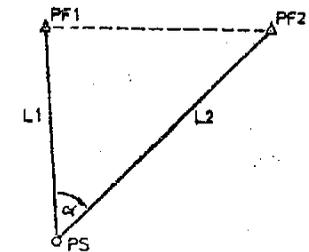
## II.5e OTROS METODOS

Es frecuente ver que para la colocación de puntos secundarios, se emplea la poligonación, sin embargo, a nuestro criterio es totalmente desaconsejable, pues es lento, inseguro y acumula errores.



Podemos aplicar también el libre estacionamiento, si en lugar de medir los dos ángulos, medimos las dos distancias.

O una distancia y el ángulo comprendido.



## II.6 ACOTACION DE LOS ERRORES DE MEDICION EN EL REPLANTEO

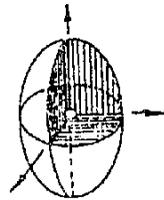
Habíamos dicho que los errores de replanteo, eran la suma de dos errores: El error de los puntos del sistema de apoyo y el error de medición en el momento de efectuar el replanteo del punto.

$$e_r = \pm e_s \pm e_m$$

Dejamos expofeso, el primer término del segundo miembro, de lado, pues suponemos en base a la acotación de errores establecida el sistema fue construido y posteriormente medido a los efectos de constatar que las exactitudes de cada vértice sean las impuestas.

Analizaremos entonces, independientemente, el error de medición; buscaremos, a continuación, encontrar un procedimiento que si bien no es exactamente matemático, sea lo suficientemente aproximado y rápido, como para resolver el problema en obra, para cada uno de los métodos antes expuestos.

Cada punto de la obra tendrá un cierto grado de libertad, que será la tolerancia constructiva, que como ya hemos mencionado, se traslada a los puntos secundarios y auxiliares.

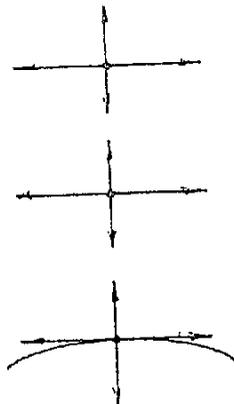


Reducido al plano horizontal sera:

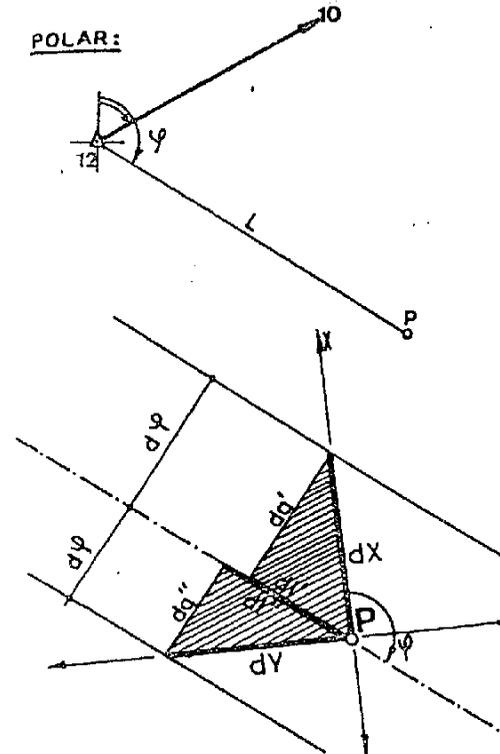
Cuando el punto está expresado en coordenadas XeY.

Pero bien podría ser una obra de desarrollo lineal, y tendríamos también dos errores admisibles, uno longitudinal y otro transversal.

O bien, el punto podría estar ubicado sobre una curva, como por ejemplo, pertenecer a la pantalla de una presa, en cuyo caso tendríamos una tolerancia radial y otra tangencial.



### POLAR:



Descomponemos los errores admisibles profijados, en la dirección del rumbo y normal al mismo.

Obteniendo de esta manera dos errores:

$$dq' = \pm dY \cdot \text{sen}(\varphi - 90^\circ) = \pm dY \cdot \text{cos} \varphi$$

$$dI' = \pm dY \cdot \text{cos}(\varphi - 90^\circ) = \pm dY \cdot \text{sen} \varphi$$

Y otros a partir de dX.

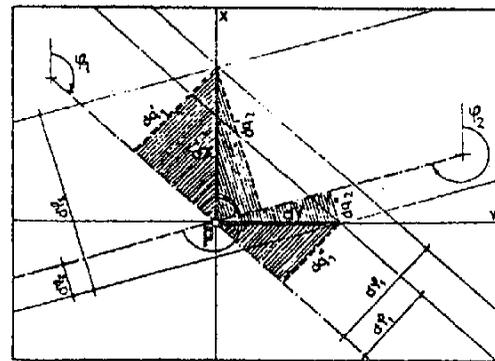
$$dq'' = \pm dX \cdot \text{sen}(180^\circ - \varphi) = \pm dX \cdot \text{sen} \varphi$$

$$dI'' = \pm dX \cdot \text{cos}(180^\circ - \varphi) = \pm dX \cdot \text{cos} \varphi$$

Adoptamos como error admisible de medición para el replanteo, el menor de cada par, luego:  $dL = dI' < dI''$ ;  $dQ = dq'' < dq'$  y:

$$d\varphi = \pm \frac{dQ \cdot \rho^\circ}{L}$$

### BISECCION:



Hacemos lo mismo que en el caso anterior:

$$dq_1' = \pm dX \cdot \text{sen}(180^\circ - \varphi_1) = \pm dX \cdot \text{sen} \varphi_1$$

$$dq_2' = \pm dX \cdot \text{sen}(\varphi_2 - 180) = \pm dX \cdot \text{sen} \varphi_2$$

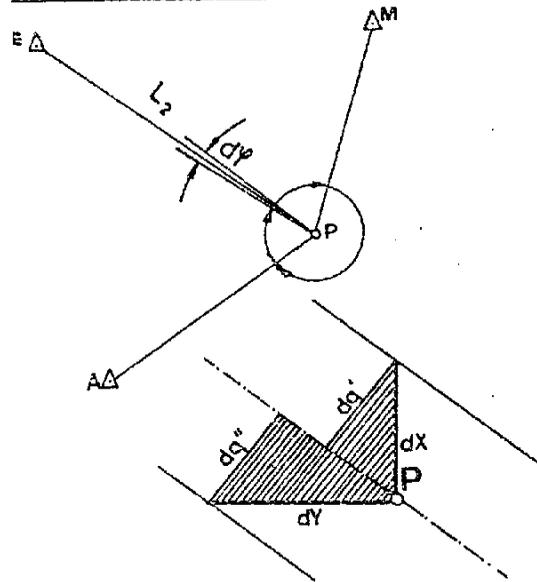
$$dq_1'' = \pm dY \cdot \text{sen}(\varphi_1 - 90^\circ) = \pm dY \cdot \text{cos} \varphi_1$$

$$dq_2'' = \pm dY \cdot \text{sen}(90 - \varphi_2) = \pm dY \cdot \text{cos} \varphi_2$$

Adoptamos el par de menores valores transversales y calculamos los errores angulares admisibles, desde cada estación.

$$d\varphi_1 = \pm \frac{dQ_1 \cdot \rho^\circ}{L_1} \quad d\varphi_2 = \pm \frac{dQ_2 \cdot \rho^\circ}{L_2}$$

## LIBRE ESTACIONAMIENTO:

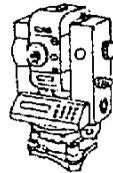


Si aceptamos que pudiéramos efectuar una traslación de todo el sistema en conjunto, de igual magnitud que la de los errores admitidos en el punto a replantear; de tal forma que cada uno de los vértices a observar desde P, se desplacen en igual cantidad y dirección.

Luego para cada uno de ellos, tendremos dos valores transversales  $dq$ , producido por el error angular.

Calculando el valor angular del vértice más lejano y adoptándolo como error de cierre de la estación; estaremos seguro, dentro de las tolerancias preestablecidas.

Cuando la obra es de desarrollo superficial y está referida a un par de ejes coordenados X e Y, se nos plantea cualquiera de los casos antes analizados; donde prefijamos una tolerancia en X y otra en Y para cada punto. Pero en cambio, si ésta es de desarrollo lineal lo más probable es que tengamos una tolerancia longitudinal y otra transversal; ahora, si el punto a replantear pertenece a una curva, habrá una tolerancia tangencial y otra en la dirección del radio. Es decir, siempre en cualquier caso, existirá dos tolerancias manifestadas sobre dos direcciones perpendiculares entre sí, a las que habrá que descomponer siguiendo exactamente el mismo criterio que hemos expuesto.

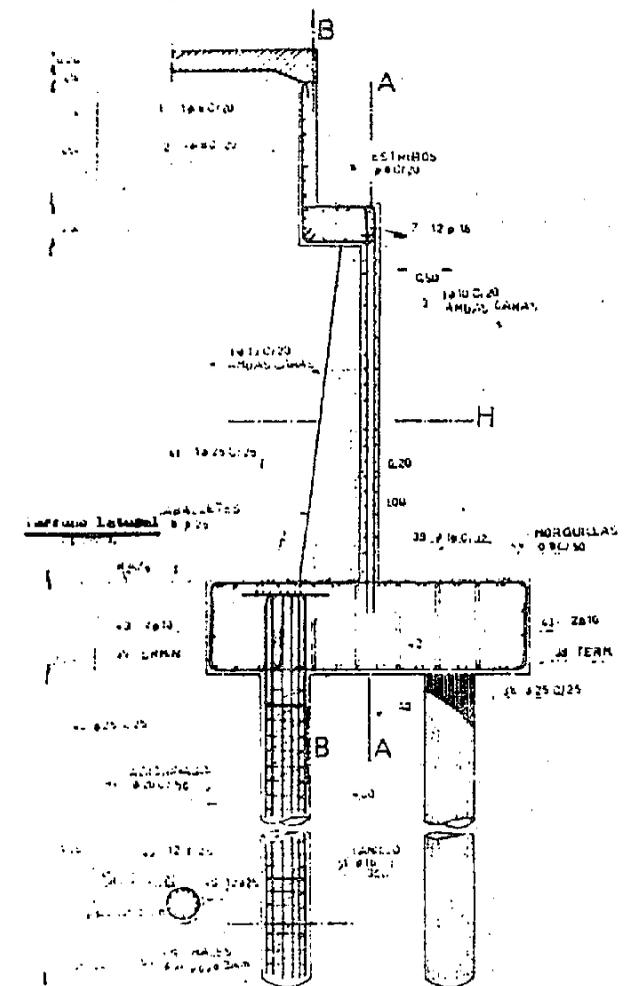


## II.7 REPLANTEO DE LA OBRA

Luego de haber replantado los puntos secundarios, el paso siguiente es replantear los cuatros esquineros de la excavación necesaria de realizar, a los efectos de construir las obras de fundaciones. Tomemos, a la manera de ejemplo, que la obra sea un puente.

En algunos tipos de obras, y debido a las características de los suelos, es necesario fundar sobre pilotes.

## CORTE CC. ESC. 1/50



La construcción de los pilotes pueden ser excavados en forma manual, cuando su longitud es corta y el diámetro ancho. Si ese fuese nuestro caso, el primer paso sería excavar hasta la cota del cabezal, en nuestro ejemplo,  $366.71 - 1.20 = 365.51$ . Y posteriormente, en el fondo de dicha excavación, replantaríamos la posición de los pilotes; los que serían excavados en una segunda etapa.

Si en cambio, los pilotes tienen que fundar una cota muy profunda, y sus diámetros son angostos, en estos casos se opta por colocar los pilotes prefabricados y luego hincados en el terreno; o bien, se realiza una perforación e inmediatamente se reemplaza el material extraído por la armadura y el hormigón.

En nuestro ejemplo, estamos ante este último caso.

Ya sea que el pilote sea hincado o construido in situ, el procedimiento constructivo puede invertirse y colocarse primero los pilotes desde la cota del terreno natural y luego excavar hasta el nivel de fundación del cabezal.

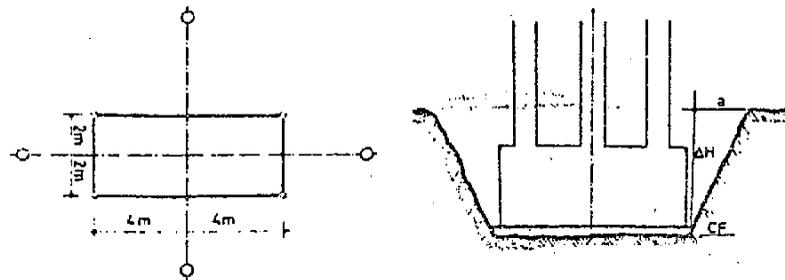
Supongamos entonces que nuestro problema a resolver sea replantear la cota de fundación del cabezal.

$$\text{Cota} = 365.51$$

Al materializar los vértices que enmarca la zona a excavar, en nuestro ejemplo se trata del cabezal de un estribo, es necesario agregar las siguientes medidas al cálculo.

Un sobreancho "a", que garantice que al realizar la excavación nos quede la zona de trabajo de todo el material de derrumbe, es decir que "a" debe ser la proyección horizontal de un talud estable.

$$a = i \cdot \Delta h$$



Donde  $\Delta h$  es la diferencia de cota entre el terreno natural y la cota de fundación, y donde "i" es la pendiente establecida para asegurar un talud estable. Puede ser, conforme al tipo de terreno 1:2 - 1:1.5 - 1:1 - 1.5:1 ó 2:1.

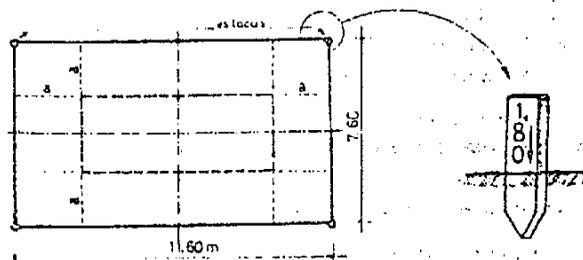
Al  $\Delta h$  generalmente se le suma 0.05m ó 0.10m correspondiente a una capa de hormigón de limpieza, que se hace a los fines de colocar la armadura sobre una base limpia, sin contaminar con barro.

En nuestro ejemplo será:

$$\Delta h = 367.20 - 365.41 = 1.79\text{m}$$

$$i = 1:1$$

$$a = 1.80\text{m}$$



Para poder llevar adelante la excavación, habrá que indicarles a los maquinistas la profundidad a excavar.

Para ello, es suficiente indicarles en cada esquinero la profundidad h correspondiente, y si las dimensiones de la obra son extensas colocamos una estaca cada 10cm. Para ello, en cada estaca repetimos el procedimiento indicado en el gráfico adjunto.

$$PF + L_1 = PV \text{ (cota del plano visual)}$$

$$PV - l_e = E \text{ (cota de la estaca de referencia)}$$

$$h = E - CF + 0.10$$

CF (cota de fundación)

En nuestro ejemplo:

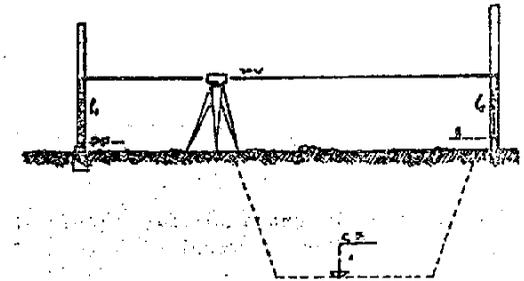
$$PF = 367.28$$

$$L_1 = 1.50 \rightarrow L_e = 1.57$$

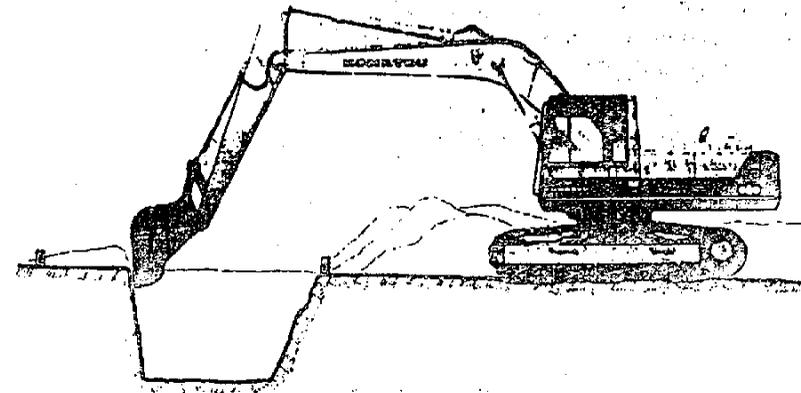
$$PV = 367.28 + 1.50 = 368.78$$

$$E = 368.78 - 1.57 = 367.21$$

$$\Delta h = 367.21 - 365.41 = 1.80\text{m}$$



Luego entrarán las máquinas, y cuando el trabajo esté terminado en un entorno próximo a  $\pm 0.10\text{m}$ ; habrá que reajustar las medidas para el perfilado y el replanteo fino de la obra de fundación.



Cómo sabe el maquinista, que ya llegó a la cota buscada?

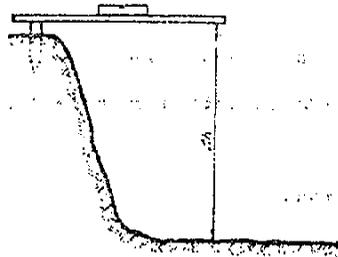
Todo maquinista, tiene un ayudante que realiza la tarea de ir controlando los niveles, llamado estaquero o apuntador.

Y lo hace de la siguiente forma:

Coloca una regla sobre la estaca nivelada de referencia, que la horizontaliza mediante un nivel de mano (nivel de albañil). Luego, valiéndose de un metro o ruleta,

controla si la medida existente desde la base de la varilla al fondo de la excavación es la indicada en la estaca.

Como esta primera aproximación, se hace en un entorno de + 10cm, de más está decir que será nuestra tolerancia para esa nivelación.



A los fines de realizar las tareas de perfilado (terminación fina de la excavación), será necesario colocar niveles de referencia en el fondo de la excavación.

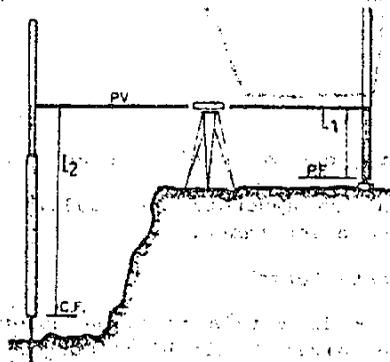
A veces se coloca la cota de excavación, es decir, la cota de fundación menos los 5 ó 10cm del hormigón de limpieza, otras veces, se coloca la cota de fundación, y otras, se deja el hierro 10 ó 20cm por arriba de dicha cota a los efectos de volverlo a utilizar, luego del hormigonado como punto fijo altimétrico.

Para poder replantear esta cota buscada, es necesario provocar sobre la mira la lectura "L<sub>2</sub>", para tal fin, colocamos un hierro en la base de la excavación, y generalmente coincidente con el eje planimétrico, y mediante golpes sucesivos vamos enterrándolo hasta que el extremo superior del mismo quede en cota, esto en el lenguaje de obra se lo denomina "nivelar a cabeza de estaca".

Y esto será cuando sobre la mira se lea la lectura L<sub>2</sub>

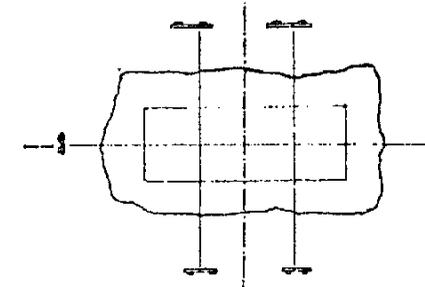
$$PV = PF + L_1 \quad 367.28 + 1.54 = 368.82$$

$$L_2 = PV - CF \quad L_2 = 368.82 - 365.51 = 3.31m$$



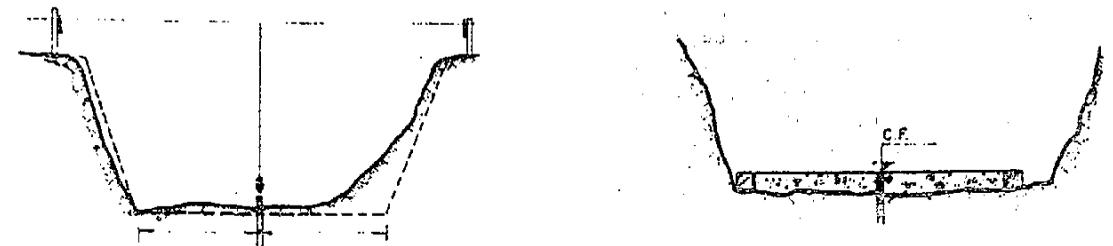
Inmediatamente después, o bien simultáneamente, se replantean sobre vallados los ejes planimétricos de la obra.

Repetimos, suficientemente distanciados, como para permitir el desplazamiento de equipos y materiales de la obra.



Sobre estos vallados, se colocarán clavos a los que se atarán cuerdas de nylon, que materializarán los ejes. Luego se bajarán éstos para replantear a nivel de fundación la posición en planta de la obra, concluyendo con los trabajos de perfilados y construcción del hormigón de limpieza o presolera.

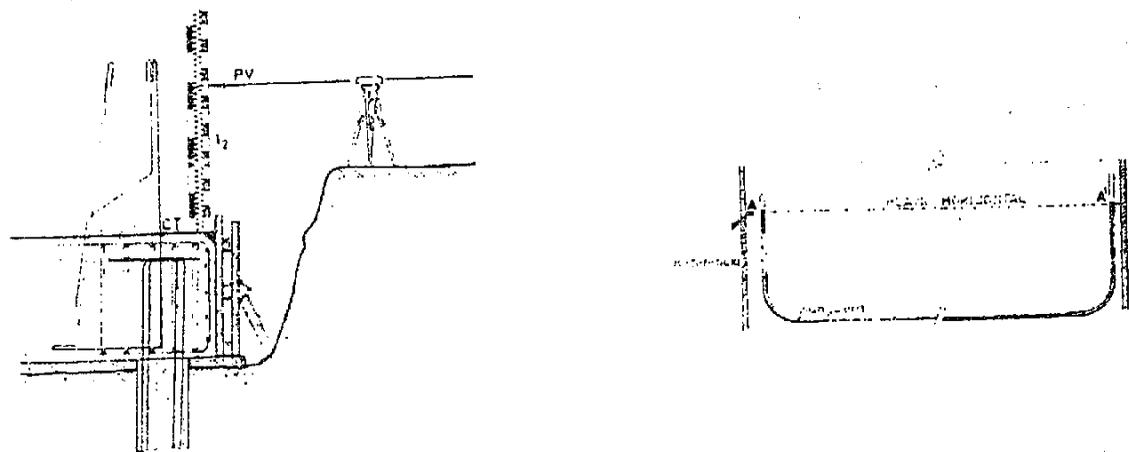
Cuando ha fraguado el hormigón colocado, sobre él se bajan nuevamente los ejes y se los dibuja mediante un piolín embebido en óxido de hierro. (1)



A partir de éste replanteo los armadores arman la estructura y posteriormente se colocarán los encofrados, entonces, habrá que hacer un nuevo replanteo, ahora para controlar la posición de los encofrados, la verticalidad de los mismos. Cuando estamos seguros que su posición es la correcta, marcaremos sobre los mismos la cota de terminación del hormigón (CT).

$$PV = PF + L \quad 367.28 + 1.39 = 368.67$$

$$L_2 = PV - CT \quad L_2 = 368.67 - 366.71 = 1.96m$$



Nuevamente habrá que provocar una lectura sobre la mira, ahora la diferencia entre la cota del plano visual y la del hormigón terminado. Sobre el encofrado, se hace una marca de este tipo  $\nabla$  o se coloca un clavo sin cabeza, indicando la cota de referencia. Luego los carpinteros, se encargarán de pasar ese nivel al resto del encofrado, mediante una manguera de nivelación. Posteriormente, colocarán los chanzales o guías que les indicará a los obreros que procedan luego al colado de hormigón, hasta donde deberán llegar con el mismo.

Quando se trate de construcciones, donde el nivel de terminación tiene tolerancias más ajustadas, como por ejemplo puede ser el caso de una gran base que va a soportar una estructura metálica, o la base de una máquina, en esos casos las guías de referencias no pueden ser colocadas con niveles de manguera. Para ello, una vez que se terminaron de colocar las armaduras y los encofrados controlados, soldadas a barras de fierros independientes, colocamos plaquetas de nivel. Las guías de terminación se colocan a partir de estas plaquetas, pero luego verificamos con un nivel óptico que hayan sido colocadas correctamente.

Y en general, para cualquier tipo de obra, siempre es conveniente controlar la colocación de las guías, por ejemplo, en la construcción de pavimentos urbanos, colocamos fierros que nivelados "a cabeza" indican el nivel superior del hormigón, pero luego, es conveniente controlar los niveles de los moldes.

(1) Nota: Cuando las exactitudes buscadas en los replanteos de los ejes son más ajustadas que las normales ( $\pm 15$  a  $20\text{mm}$ ), en lugar de construir un vallado de madera es necesario reemplazarlo por uno metálico, pues la madera se mueve por acción de la humedad y calentamientos diferenciales del sol. Reemplazamos también el clavo que materializaba el eje por una marca mucho más fina que puede estar en el orden del  $0.4\text{mm}$ .

Como los vallados metálicos se construyen con caños, de los que se emplean como apuntalamientos de los encofrados de losas y tableros, podemos hacer soldar sobre los mismos una plaqueta y luego, sobre ella, después de esmerilarla y pintarla, hacer un pequeño trazo con lápiz (el grafito es bastante resistente al agua) pero más conveniente es marcar el trazo con una sierra o bien rasgar la capa de pintura con una trincheta o estilete.

Y, en lugar de bajar los ejes empleando alambres, tanzas, plomadas de hilo, lo hacemos mediante un teodolito que a tal efecto estacionamos centrando sobre el trazo materializado en la plaqueta.



## II.8 CONTROL DE REPLANTEO EN OBRAS DE ALTURA

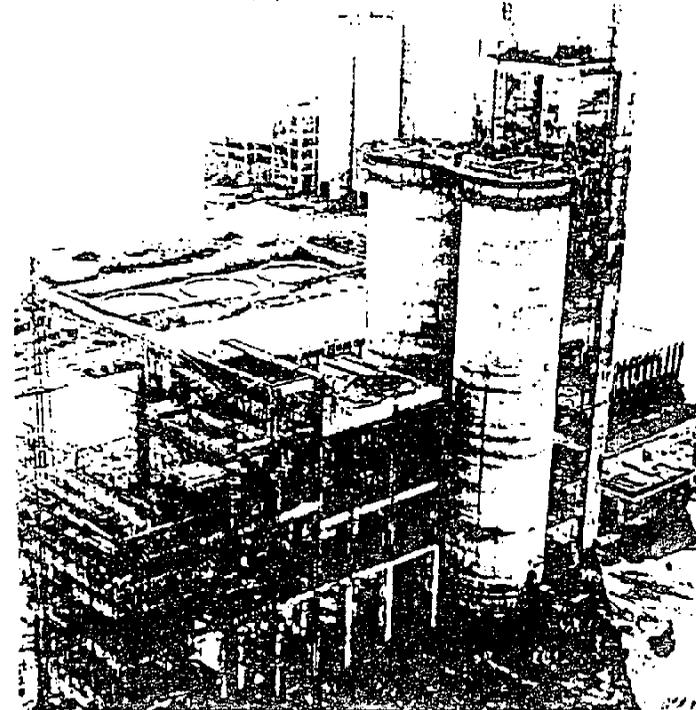
Hasta ahora, hemos visto cuáles son los pasos a seguir para efectuar el replanteo de una obra. El control del replanteo, corresponde a una etapa posterior y sólo en aquellas obras de ingeniería o arquitectura, donde se cumple que su desarrollo no es lineal ni superficial, sino que lo es en altura o profundidad.

Podemos enumerar, como ejemplo de obras de desarrollo en altura:

Los edificios en torres, las viviendas en monoblock, hoteles, hospitales, estadios, teatros, presas de hormigón con galerías, silos, chimeneas, tanques elevados, etc.

Y como obras de desarrollo en profundidad:

Los subsuelos de los edificios, pozos de accesos a túneles subterráneos, etc.



La diferencia fundamental con las obras bajas de desarrollo superficial, es que en éstas realizamos el replanteo una sola vez, mientras que en las obras de altura tenemos que repetir el replanteo tantas veces como plantas o niveles tenga la estructura.

En realidad no hacemos un nuevo replanteo cada vez, sino que "controlamos" o repetimos el replanteo original realizado en la planta baja (a nivel del suelo).

Una vez concluidas las construcciones de las fundaciones, la obra comienza a crecer hacia arriba, luego en cada piso o en cada nivel habrá que realizar las siguientes tareas:

- 1) CONTROL PLANIMETRICO de los encofrados de las vigas, de la posición de las columnas, de las instalaciones e insertos.
- 2) CONTROL DEL NIVEL del fondo del encofrado de la losa y de las vigas.

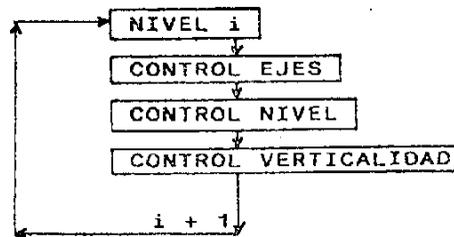
Luego del armado de los encofrados y colocación de las armaduras correspondientes, y antes de llenarlas con hormigón, habrá que colocar los niveles de hormigón terminado que indiquen los planos.

Luego del colado de hormigón de la losa y vigas, se comienzan las tareas de colocar las armaduras de las columnas que conducen al próximo nivel superior, en este momento habrá que efectuar un nuevo control planimétrico de la posición del arranque de las columnas.

Colocados ya los encofrados de las columnas y antes de proceder al colado de ellas, habrá que efectuar un tercer control.

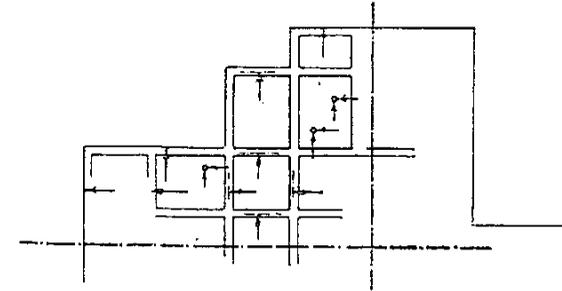
- 3) CONTROL DE VERTICALIDAD de los encofrados de las columnas.

Inmediatamente después, o simultáneamente se realizan las tareas de apuntalamiento de la próxima losa, y se colocan los encofrados del fondo de la misma. Nuevamente se habrá iniciado el ciclo.



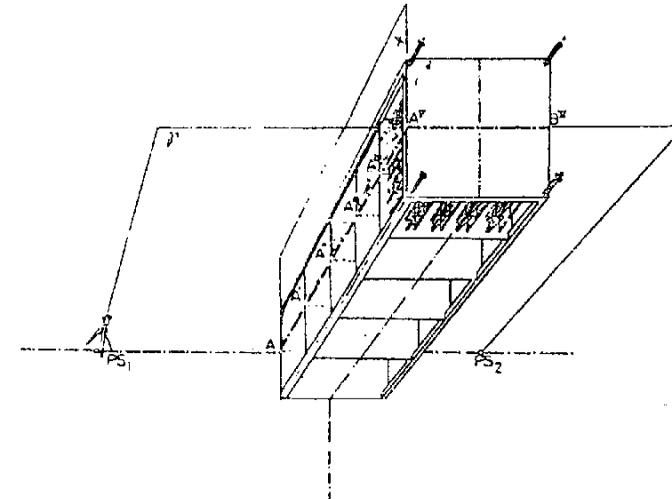
## II.8a CONTROL PLANIMETRICO DE LOS ENCOFRADOS, INSTALACIONES E INSERTOS

Para colocar correctamente los encofrados de las vigas, arranques de columnas, casetones, etc., como así también, para ubicar en la posición que indican los planos, las instalaciones (eléctricas-sanitarias), ductos e insertos; es necesario replantear (volver a materializar) los ejes de referencias, pues como ya lo hemos mencionado en otras oportunidades, todos ellos están definidos por dos distancias, medidas desde dos ejes, cuyas direcciones son perpendiculares.



Por lo antes expuesto, y teniendo en cuenta que los errores cometidos en la ubicación de los ejes se trasladan directamente a los encofrados; es necesario que las diferencias con los ejes replanteados en la planta inferior y superior, esté dentro de las tolerancias constructivas.

Y precisamente, del desconocimiento de las tolerancias constructivas, se deducirá el método a emplear para ubicar los puntos que materialicen los ejes.



En cada nivel, el eje se materializará mediante dos puntos (A y B) en el croquis). Cada uno de ellos surge de la intersección de tres planos:

- El plano vertical, que pasa por el borde de la losa ( $\alpha$ )
- El plano del piso o nivel a replantear ( $\beta$ )
- El plano vertical que contiene los puntos secundarios ( $\gamma$ )

Los dos primeros planos, están materializados físicamente, por los tableros de los encofrados, que son colocados en su posición de manera aproximada y después del control, son llevados a su lugar correcto.

En cambio, el plano vertical que pasa por los puntos secundarios, es el que debemos definir.

Un plano vertical queda definido mediante dos rectas verticales, de tal forma, que si nosotros levantamos una vertical por el punto A y otra vertical por el punto B, ambos puntos proyectados al nivel de trabajo (en nuestro ejemplo los puntos A' y B'), estaría resuelto el problema.

Cuando las tolerancias son generosas, el procedimiento a seguir puede ser el siguiente:

Estando la obra a nivel de planta baja, desde el punto secundario (PS1) apuntamos con un teodolito hacia el punto (PS2) y colocamos los puntos A y B.

Cuando la obra alcance el nivel del 1º piso, trasladamos los puntos antes mencionados mediante una plomada de hilo, colocando los puntos A' y B'.

De igual modo, se van transportando sucesivamente a todos los niveles.

Para una mayor comodidad y para evitar la acumulación de errores en el traslado de la vertical, suele trabajarse de esta otra forma:

Haciendo estación en el punto secundario PS1, apuntamos hacia el punto A y con el teodolito, colocamos el punto A'.

Luego en cada nivel, se replantea la proyección vertical de dicho punto haciendo pasar una plomada de alambre, siempre por el punto A'.

Cuando los edificios son altos, la longitud de estas plomadas son muy largas, por lo tanto requieren de un mayor peso en su extremo, a los fines que no las mueva tanto el viento. Ese peso suele ser, una probeta de hormigón o un conjunto de ladrillos atados fuertemente con un alambre.

A medida que la obra va creciendo en importancia, el método va cambiando.



El primer paso consiste en reemplazar la plomada de hilo (afectada por el viento) por un sistema óptico.

Estacionados en el PS1, apuntamos hacia A, levantamos el anteojo describiendo un plano vertical y replanteamos el punto buscado, en nuestro croquis, A'.

Si para efectuar el apunte sobre el punto A, y para replantear luego A', se empleó una ficha; la exactitud que se puede conseguir, está en el orden de:

$$5\text{mm} < d1 < 10\text{mm}$$

Sin tener en cuenta el error de inclinación, ya que suponemos el aparato corregido, o bien que hemos realizado el levantamiento en dos posiciones, adoptando el promedio.

Si hacemos un análisis de los errores y deducimos la necesidad de una mayor exactitud, debido por ejemplo, al empleo de vigas premoldeadas, o tabiques y losa prefabricadas; en tal caso, cambiamos el empleo de la ficha por el uso de una señal de puntería ubicada en una base nivelante con plomada óptica. O bien, hacemos una marca de puntería fina. (0.5mm), sobre una viga hormigonada (punto A') y apuntamos siempre al mismo punto. (figura 1)

Si se necesita aumentar aún más la exactitud, entonces es necesario, estar seguros de que se apunta siempre al mismo punto (señal de puntería empotrada) y que además, estacionamos siempre en el mismo punto.

Para lograr esto, en lugar de ubicar el teodolito sobre un trípode en el punto secundario, se construye especialmente una base de mampostería o un pilar de hormigón, en el que se deja un inserto especial (figura 2), que nos asegura un centrado del teodolito con apenas unas décimas de milímetro de diferencia con respecto al centrado anterior.

A medida que vamos mejorando las exactitudes en el levantamiento de las verticales también vamos cambiando nuestra manera de operar en el marcado de los ejes sobre el nivel en cuestión, de tal manera que el alambre o hilo de nylon que los materializaba en un comienzo, ahora debe ser reemplazado por ejes materializados ópticamente.

De allí entonces, que los puntos de proyección de la vertical, deban ser colocados algo retirados del borde, a los efectos de poder reemplazar la señal de puntería por un teodolito. (fig.1)

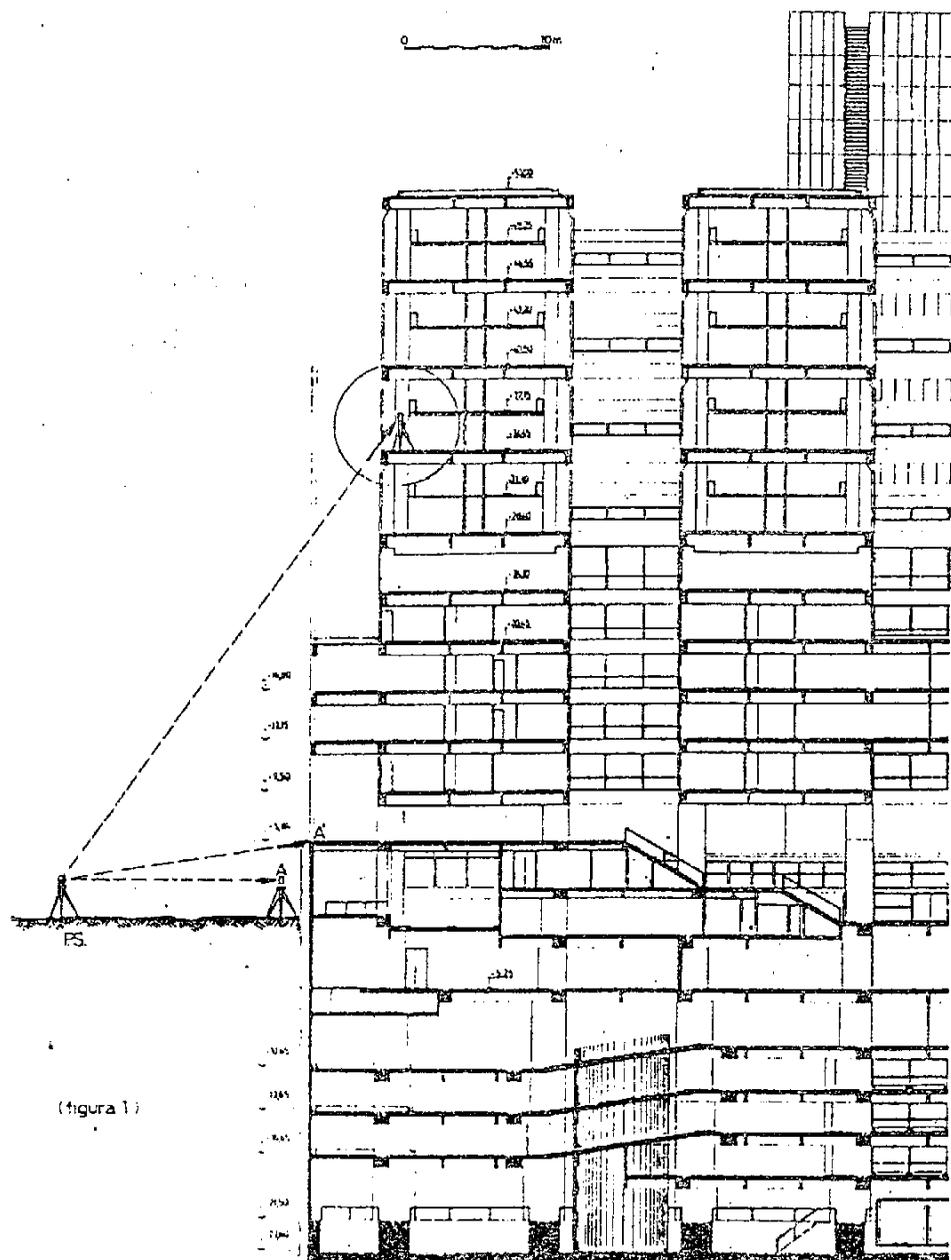
Otra solución sería, la de continuar marcando los puntos proyectados sobre el borde de la losa y luego, alinear el teodolito entre los dos puntos (A' y B'), mediante una mesa de trabajo. (figura 3)

### REPLANTEO DE INSERTOS

En algunos tipos de obras, tales como la foto de la primera página de este tema, que es una fábrica de cemento portland; y en general, cualquier obra que vaya a ser destinada a alojar una industria, la construcción de la obra civil, responde a los lineamientos que establece la obra macánica.

Pero no tan sólo fábricas e industrias, también podemos incluir en este grupo, las centrales de energía, (termoeléctricas - hidroeléctricas), las estaciones transformadoras, las destilerías, las plantas químicas, etc.

En estas obras, instalaciones, máquinas y equipos (construidas a veces fuera del país), son fijadas a firmes bases de hormigón, mediante bulones de anclajes que se dejan (previamente) insertos en el hormigón.

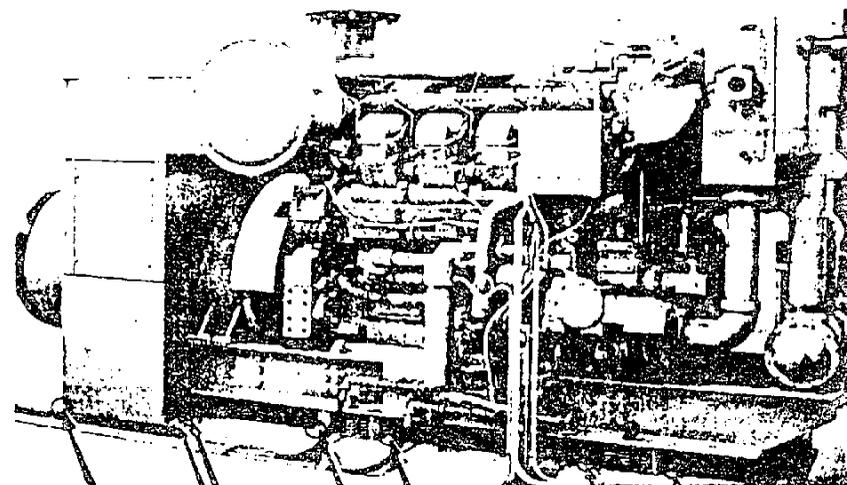
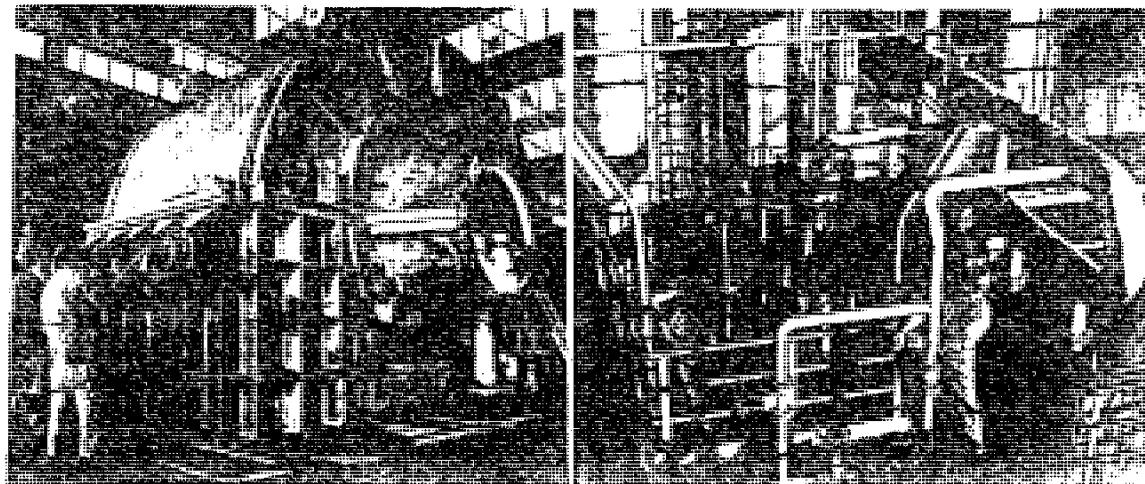


(figura 1)

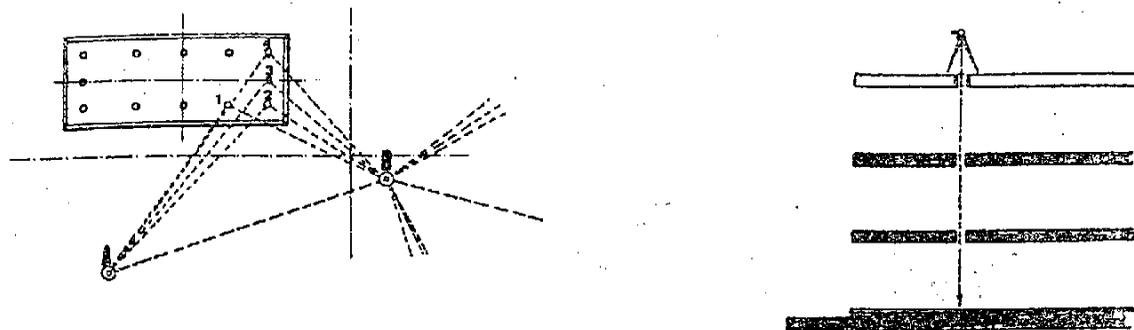
De tal manera, que en estos tipos de obra, las exactitudes que debemos lograr, no responden ya a las tolerancias que se puedan conseguir en el hormigón, sino que debemos buscar el límite de nuestros errores admisibles, en las relaciones que se

establezcan entre los agujeros de anclajes de una máquina, o entre los ductos de conducción, o entre los de un conjunto de equipos.

Debido a lo ajustado que generalmente son las tolerancias perseguidas en la ubicación de los insertos, es frecuente no emplear el método antes descrito (de subir ejes perpendiculares) y replantear luego mediante coordenadas rectangulares. En el caso que nos ocupa, es más conveniente subir un par de puntos con coordenadas conocidas, que nos materializarían una base de apoyo, y desde allí replantear la posición buscada mediante coordenadas polares o por bisección.



Estos puntos, no sólo pueden ser dos, sino que serán todos los necesarios y se colocan cerca de la zona de trabajo a los fines de reducir las distancias de replanteo. Estos puntos, se van trasladando piso a piso directamente por dentro de la obra, a través de un pequeño ducto que dejamos también inserto en el hormigón de cada losa. En cada piso, estacionamos el teodolito, apuntando al punto que se encuentra en la planta baja, pero debido a la exactitud que perseguimos, el centrado lo hacemos previamente empleando un anteojo nadiral-cenital, que nos garantiza  $\pm 0.5\text{mm}$  a 100m. (figura 4)



Concluido el centrado, se reemplazará, en uno de los extremos de la base, por una señal de puntería o por un teodolito que seguro será geodésico.

Esta es una alternativa que hemos querido plantear como solución, pero en la práctica y manejando las posibilidades de cada tipo de obra y el instrumental disponible; el Agrimensor encontrará más de una solución. Por ejemplo, podemos mencionar algunas de las alternativas y combinaciones posibles.

En lugar de estacionar un anteojo nadiral-cenital, se podría haber levantado el punto, estacionando abajo un teodolito con ocular acodado y apuntar el cenit. Marcar el punto sobre una placa de acrílico y luego estacionar un teodolito centrando con la plomada óptica propia del aparato. (figura 5). O en lugar del ocular acodado, se podría colocar un prisma de reflexión en el objetivo. (figura 6).

Otra posibilidad, muy parecida a la anterior, sería la de levantar el punto colocando un ocular laser al teodolito de abajo (figura 7), o directamente estacionando un colimador laser. (figura 8).

Finalmente, volviendo al primer método, podemos levantar dos planos verticales desde afuera con dos teodolitos geodésicos y luego buscar el punto de intersección de ellos en el piso que nos interese, mediante el empleo de la mesa de trabajo ya mencionada y desde ese punto, orientando respecto de cualquiera de los ejes levantados, replantear los insertos mediante un método polar.

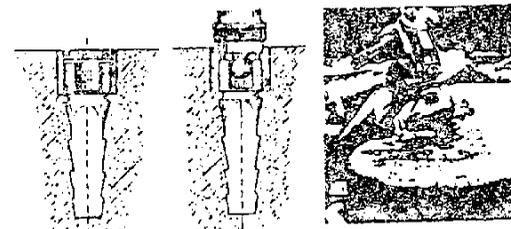


Figura 2



Figura 3

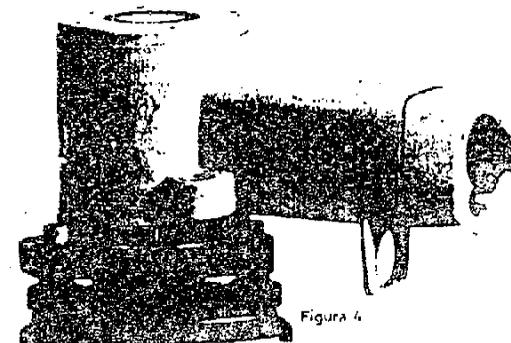


Figura 4



Figura 5



Prisma-objetivo para transferencia de direcciones y para alinear

Figura 6



Ocular láser para hacer visible la línea de puntería

Figura 7



Ocular acodado para puntería al cenit

Ocular de visual inclinada con observación giratoria



Figura 8



Vertical Plumbing—For

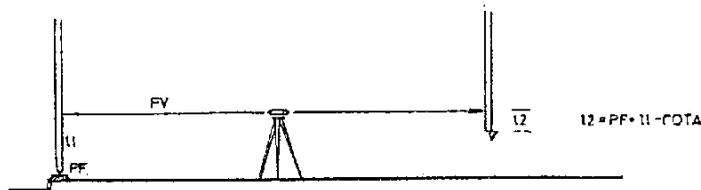
## II.8b CONTROL DE NIVELES

El objetivo es verificar y corregir los niveles de los fondos de los tableros colocados, que tienen que respetar las cotas previstas en los planos de proyectos. El nivel puede estar referido a una cota arbitraria elegida como (0), cero, o bien, estar referida al Sistema General del país.

Para colocar los tableros de los encofrados, los carpinteros tomaron como referencia el nivel de la losa terminada del piso de abajo, midiendo directamente con un

metro de carpintero o ruleta, sobre los puntales. Es decir, que el trabajo estará realizado con bastante aproximación, y las correcciones a efectuar generalmente estarán entre 1 y 2cm.

En las construcciones de edificios para viviendas, normalmente las tolerancias son tan amplias que permiten absorber las diferencias antes mencionadas, por tal motivo, en este tipo de obra, no se hace necesaria la presencia del Agrimensor. Es suficiente colocar un nivel de referencia en la planta baja, (+1.00m, por ejemplo sobre el tabique del vacío del ascensor), luego los constructores se encargarán de ir subiendo el nivel (de la forma ya vista), y luego controlan los encofrados, transfiriendo el nivel de referencia mediante un nivel de manguera).



Al igual que con el control planimétrico, a medida que aumenta la importancia de la obra, aumenta también la exigencia en los niveles.

Para conseguir mejores resultados, la transferencia de niveles hay que hacerlo colocando un alfiler directamente sobre el encofrado a controlar, tomando referencia del nivel cero, valiéndonos de una ruleta colgada.

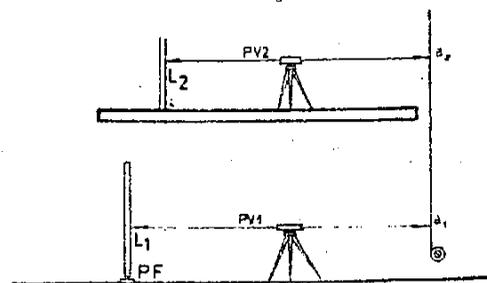
Haciendo una lectura en la P.B. ( $a_1$ )  
otra en el nivel a controlar ( $a_2$ )  
de tal manera que:

$$PV\ 1 = PF + L_1$$

$$PV\ 2 = PV\ 1 + (a_2 - a_1)$$

la lectura a replantear será:

$$L_2 = PV - \text{Cota del punto } i$$



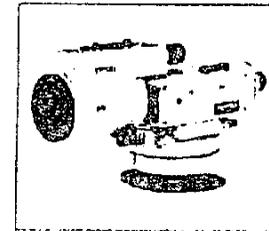
De esta forma se logra la eliminación de errores acumulados y sólo nos quedan los debidos a la precisión del alfiler empleado y los errores de graduación en las miras y la cinta, es decir que podemos hablar de 1cm en la posición del piso y de algunos pocos milímetros entre los puntos de un mismo piso, suficiente para la gran mayoría de las obras de arquitectura.

Pero no ocurre lo mismo, para aquellas obras de ingeniería donde se instalarán máquinas o instalaciones que ligan dos pisos con un nexo mecánico.

Ahora, tenemos que hablar de tolerancias que condicionan los resultados de las mediciones en  $\pm 2$  a 4mm entre piso y piso, y  $\pm 1$  a 2mm entre los insertos a colocar en un mismo piso.

Se reemplaza el alfiler topográfico por uno geodésico y la cinta suspendida por uno (o más), alambre de invar, colocado permanentemente dentro de un tubo que a tal fin se deja inserto en el hormigón de las columnas; para poder efectuar las lecturas sobre el mismo, se dejan ventanas a una altura cómoda, por ejemplo +1.50m del nivel de la losa. Es conveniente que al menos haya dos alambres, para poder efectuar cierres.

La colocación de las guías, y de los anclajes se hará nivelando mediante una mira de invar, con nivel para verticalizar.



548-1 Prisma para micrometro

### Nivelación Trigonométrica

Cuando se dispone de una estación total, o un taquímetro electrónico, podemos emplear la nivelación trigonométrica para levantar el nivel de referencia, al mismo tiempo que replantemos la ubicación de los ejes. Para ello, estacionamos el instrumento en el punto secundario, luego de apuntar para obtener la dirección del plano vertical, tomamos lectura sobre una mira colocada en el PF de referencia. Luego de levantar la visual y replantear la posición del eje, reemplazamos la señal de puntería por el prisma, a los efectos de medir la distancia. La mayoría de los aparatos nos brindará (automáticamente o luego de introducir el ángulo vertical) el desnivel entre los dos puntos. ( $\Delta h$ ).

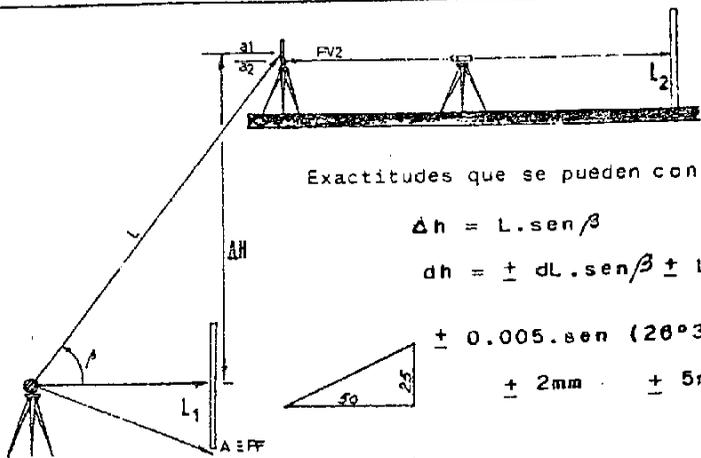
Reemplazamos el prisma por una pequeña mira de invar y sin mover la posición del anteojo efectuamos una lectura sobre la mira ( $a_1$ ).

De tal forma que:

$$PV\ 2 = PF + \Delta h - (a_1 - a_2) + L_1$$

y la lectura sobre la mira será:

$$L_2 = PV2 - \text{Cota del Punto}$$



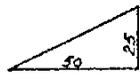
Exactitudes que se pueden conseguir:

$$\Delta h = L \cdot \text{sen } \beta$$

$$dh = \pm dL \cdot \text{sen } \beta \pm L \cdot \text{cos } \beta \cdot d\beta$$

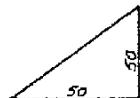
$$\pm 0.005 \cdot \text{sen } (26^\circ 33') \pm 55.90 \cdot \text{cos } (26^\circ 33') 20''$$

$$\pm 2\text{mm} \quad \pm 5\text{mm}$$



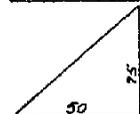
$$\pm 0.005 \cdot \text{sen } (45^\circ) \pm 70.71 \cdot \text{cos } (45^\circ) 20''$$

$$\pm 3\text{mm} \quad \pm 5\text{mm}$$



$$\pm 0.005 \cdot \text{sen } (56^\circ 18') \pm 90.91 \cdot \text{cos } (56^\circ 18') 20''$$

$$\pm 4\text{mm} \quad \pm 5\text{mm}$$



Si diferenciamos la fórmula para la obtención del desnivel, observamos que el resultado es la suma de dos errores:

El primero depende de la altura del punto y del error en la medición de la distancia inclinada.

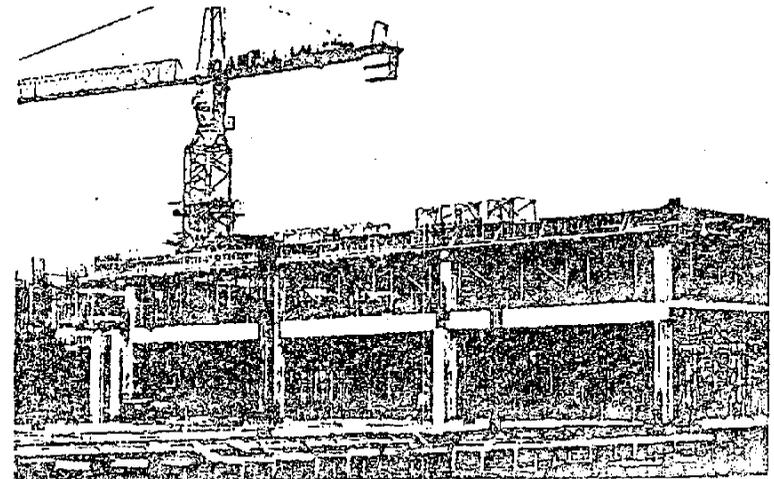
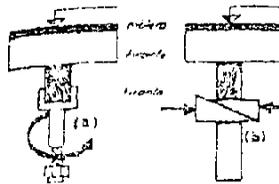
El segundo depende de la distancia horizontal y del error de la medición del ángulo vertical.

Haciendo variar la altura y manteniendo constante la distancia horizontal (en un valor que difícilmente se supere en obra), como así también adoptando para el error de medición un valor igual al especificado en la mayoría de los distanciómetros, y un error angular igual a la mínima lectura de un teodolito topográfico (suponiendo al instrumento libre de error de índice) sumando  $\pm 2\text{mm}$  en cada lectura de mira. Concluimos que podemos obtener un resultado igual al que hubiésemos obtenido con la cinta suspendida es decir,  $\pm 1\text{cm}$ .

### Control de niveles del encofrado

Al controlar los niveles de los tableros, de encofrados de las vigas y losas, es muy posible que haya que corregirlos y esto se hace subiendo o bajando el apuntalamiento.

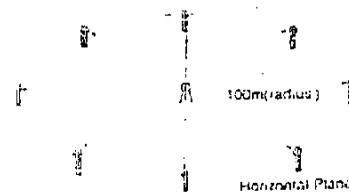
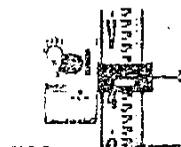
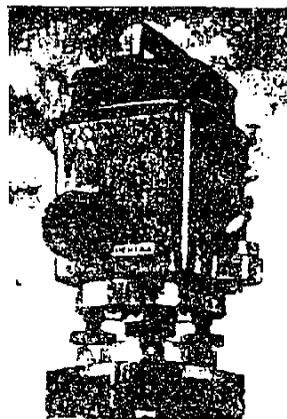
Moviendo los tornillos (a) en el caso de puntales metálicos (como la foto), o las cuñas, en el caso de puntales de madera. (b)



Como puede inferirse, este trabajo es muy lento debido a la cantidad de puntos a controlar, mover y volver a controlar. Haciéndose el trabajo más dificultoso, debido a la cantidad de obstáculos y personal que se encuentran trabajando sobre los encofrados (ya sea corrigiéndolos o colocando la armadura).

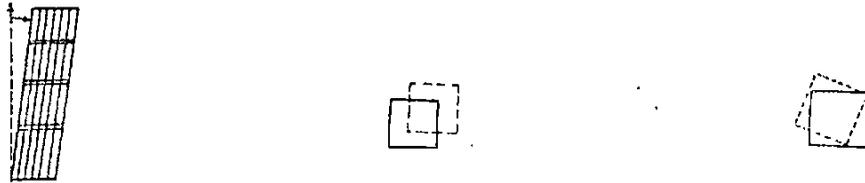
Para reducir los tiempos, se puede trabajar con un nivel laser, lo cual nos permite nivelar simultáneamente todos los puntos que se deseen hasta un radio de 100m. Un instrumento tal como el que se ilustra a continuación, produce un haz laser, que rota igual que un faro, a razón de 300rpm, es decir que de no interponerse ningún obstáculo en el camino del rayo, un operador puede tener identificado claramente la posición del plano visual del nivel, cada 0.2 segundos.

Para realizar el trabajo de control de los encofrados, la tarea del Agrimensor sólo se reduce a determinar la cota del plano visual a la que se encuentra operando el instrumento, luego, la tarea continúa en manos de capataces y sobrestantes, quienes tendrán que realizar, para cada punto a verificar, una simple resta (PV-Cota del punto) y esa será la lectura que deberá indicar el punto luminoso sobre la mira.



## II. 8c CONTROL DE LA VERTICALIDAD

Al colocar los encofrados de las columnas, la base de los mismos ya fue controlada y colocada en su correcta posición cuando se efectuó el control planimétrico de los ejes. Pero si los encofrados no están verticales, llegan al otro piso desplazados.



En la mayoría de las obras de arquitectura, es suficiente que este control se realice mediante el empleo de una plomada de hilo (de albañil), por lo tanto, queda en manos de los constructores y capataces.

Pero, hay algunas obras que por sus tolerancias constructivas requieren que se verticalicen los encofrados con mayor exactitud, para ello, estacionamos el teodolito de tal manera de materializar un plano vertical paralelo a las caras de los encofrados a controlar; ubicado a una cierta distancia, de tal forma, que no molesten los tirantes que se colocan para rigidizar y apuntalar el encofrado.

Ahora sólo queda medir la distancia del plano vertical a la base del encofrado ( $d1$ ), y al extremo del mismo ( $d2$ ), las que deben ser iguales,  $d1 = d2$ . (figura 1)

Este control, no sólo hay que realizarlo en una dirección paralela a las caras de los encofrados, sino que debe hacerse, como es lógico suponer, desde otra dirección perpendicular a la anterior. (figura 2)

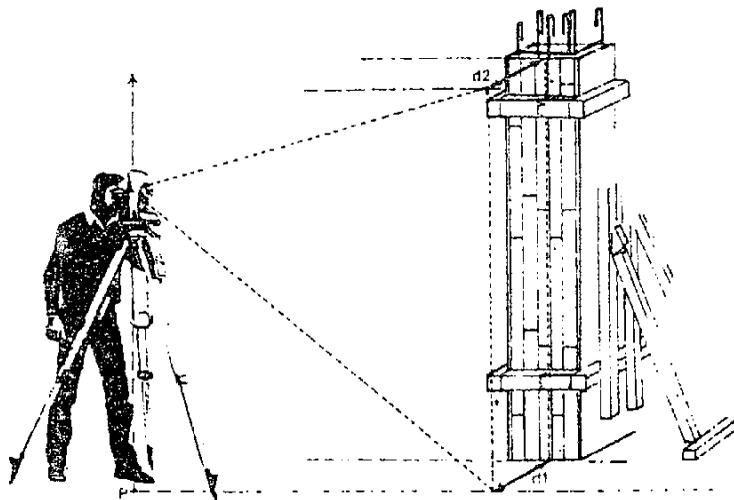


FIGURA 1

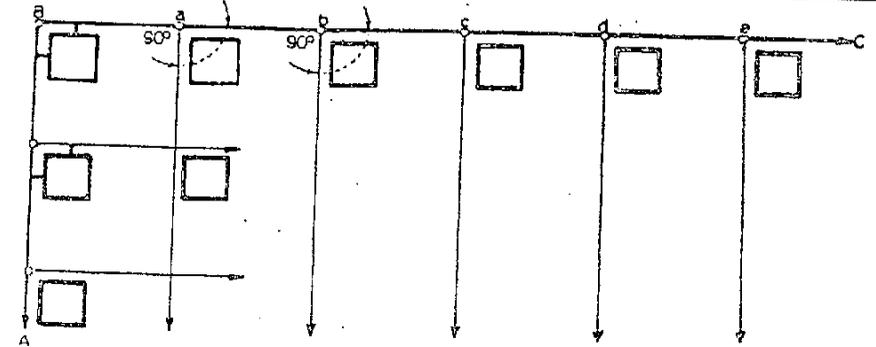


FIGURA 2

Este control es lento, pues obliga a colocar muchos puntos alineados (a,b,c,...) donde luego, habrá que hacer estación con el instrumento para medir los 90°. Podemos simplificar esta tarea y en consecuencia ganar tiempo, si se dispone de un prisma autocollimador.

A continuación, se transcribe el ejemplo del folleto de publicidad del Prisma autocollimador Wild GAP 1, por considerarlo suficientemente didáctico.

En el ejemplo, se refiere al control de rodillos de una industria, pero puede ser aplicado perfectamente en nuestro ejemplo anterior.

### Un ejemplo de aplicación del prisma autocollimador

Controlando el paralelismo de rodillos

En planas láminas y con ciertos tipos de maquinaria es fundamental alinear los rodillos con precisión. Tienen que ser exactamente paralelos unas a otras y estar en la altura correcta.

Los rodillos A, B, C... D han de alinearse. Una línea de control con los puntos terminales 1 y 2 se establece en el piso de la fábrica paralelamente al eje longitudinal de la máquina. Centrar el teodolito en punto 1 y el prisma autocollimador en punto 2. Enfocar y apuntar hacia el punto 2 para alinear el entaco y lo largo de la línea de control 1-2. Luego sonar el foco en infinito, apuntar hacia el prisma autocollimador y girar el prisma hasta que resulte la autocollimación con el trazo vertical de la retícula. El prisma está ahora perpendicular a la línea de control y se puede usar como referencia para definir planas verticales paralelas a la línea de control.

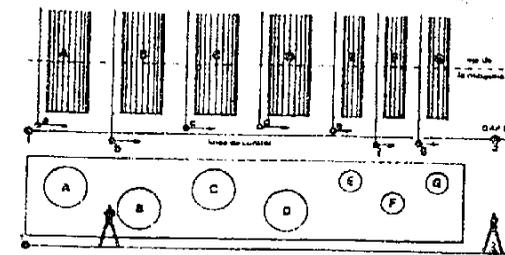
Para controlar el rodillo A. Colocar el teodolito en e. Obsérvese que no se pide más que centrar con respecto a la línea de control dentro de unos 2 ó 3 cm. Autocollimar hacia el prisma (al fuera necesario, posibilidad de leer en la escala métrica del prisma, e de rotar a la izquierda de la línea de control, el desplazamiento del teodolito) y dar un giro de 90°. Aplicar una escala a cada extremidad del rodillo y controlar la alineación. Obsérvese que para mediciones el rodillo con una exactitud

de 0,06 mm se puede adaptar un micrómetro de placa plana-paralela Wild en el entaco del teodolito.

Los demás rodillos se controlan del mismo modo. Las ventajas del método están en el hecho que el control no puede ocurrir errores debido al entaco, y que el teodolito se puede moni-

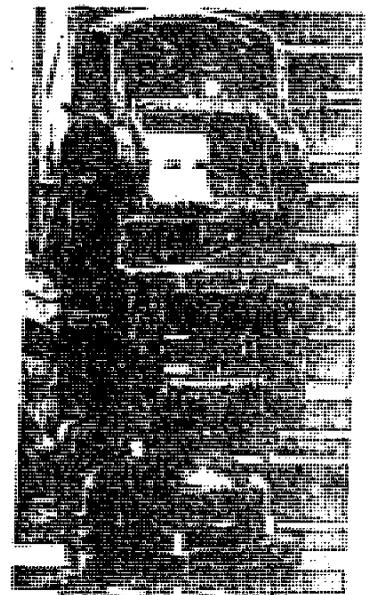
tar a diferentes alturas de los rodillos, ya que la autocollimación se logra en todos los casos con el trazo vertical de la retícula.

La altura y la horizontalidad de los rodillos se controlan generalmente con un nivel de precisión tal como el Wild N 3 o el Wild NA 2 con micrómetro de placa plana-paralela GPM 3.



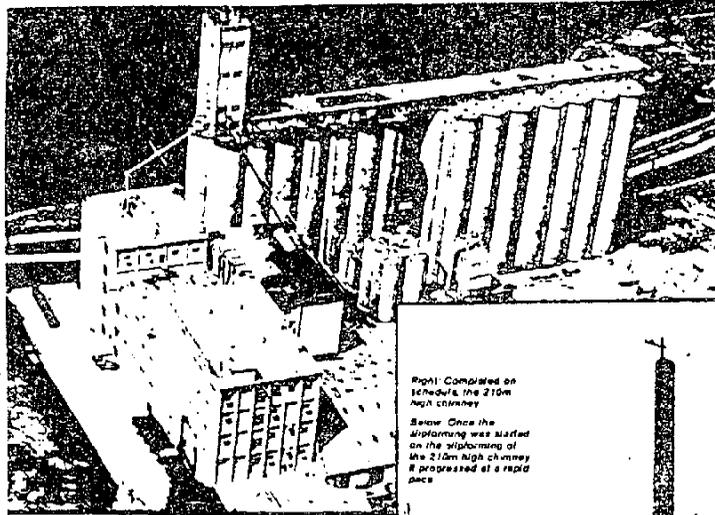
Muchas tareas de medición se hacen similar. Cada vez que se precisa una referencia exacta para alineación y medición de depósitos horizontales en tareas de control industrial, ese es:

El prisma autocollimador Wild GAP 1.

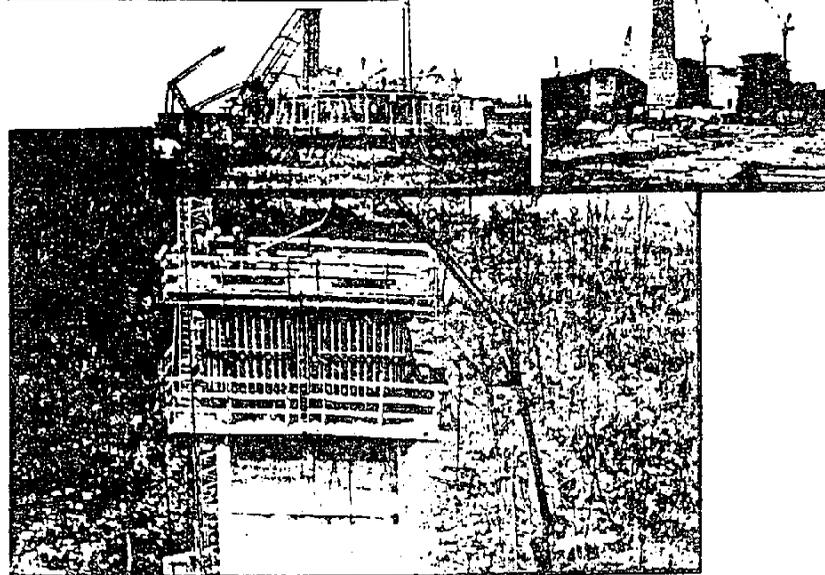


## II.8d DETERMINACIONES CONJUNTAS

Cuando se trabaja en obras como las que a continuación se ilustran, donde la estructura de hormigón es continua, como es el caso de las chimeneas, silos, torres tanques, etc. Es muy frecuente el empleo de encofrados deslizantes, que permite realizar un colado de hormigón de forma continua e ininterrumpida.



Right: Completed on schedule, the 210m high chimney.  
 Below: Since the slipforming was started on the slipforming of the 210m high chimney it progressed at a rapid pace.

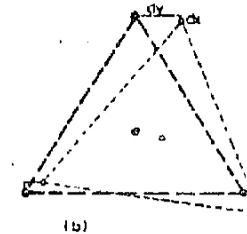
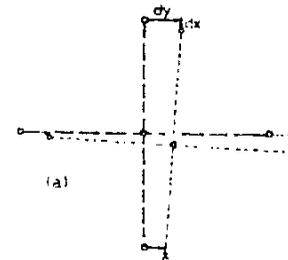


En estos casos, los controles de la posición planimétrica y altimétrica del encofrado, hay que realizarlo en forma conjunta y permanentemente mientras dure el "levantamiento" (término frecuentemente utilizado en nuestro medio). Un desplazamiento, inclinación o giro del encofrado cuando es detectado a tiempo, permite su corrección inmediata.

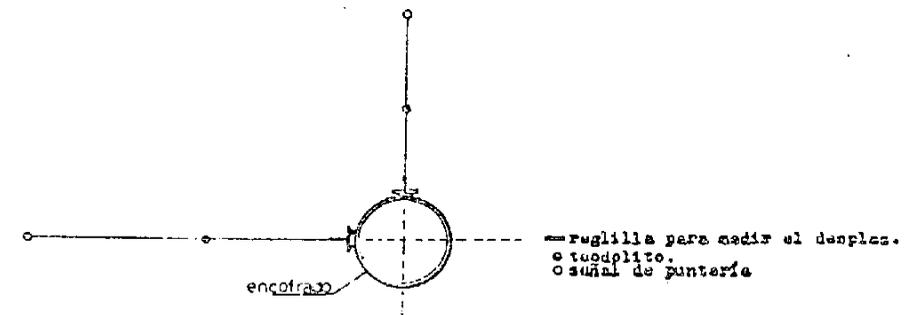
Queda entonces, en manos del Agrimensor, la elección del mecanismo adecuado de control que sin dudas será una combinación de las alternativas antes propuestas.

Sin embargo, a manera de ejemplo, podemos mencionar los métodos que son empleados con mayor frecuencia:

1. Anteojo nadiral-cenital, colimadores laser o las clásicas plomadas de alambre, materializando una cruz (a), o un triángulo (b). Trabajando por dentro de la estructura.



2. O bien, mediante el empleo simultáneo y permanente de dos teodolitos, trabajando fuera de la estructura.



Para el control de la horizontalidad del encofrado y la ubicación altimétrica de los insertos, mediante cintas métricas colgadas, en el primer caso; y con el hilo horizontal de la retícula y nivelación trigonométrica, en el segundo, o con la complementación de ambos.



La instalación de propósito múltiple provee el noroeste de Suiza de tres programas nacionales de televisión y dos de radio. Además están previstas importantes comunicaciones de ondas dirigidas para tributarios de programas de radio y televisión extranjeros a las instalaciones de antenas colectivas, así como para comunicaciones telefónicas.

Originalmente se estudió la posibilidad de construir un restaurante giratorio en la torre. St. Crispin es, sin embargo, una de las áreas de recreación más importantes cercanas a la ciudad de Basilea. El tráfico adicional de automóviles que un restaurante traería consigo sería, sin duda, molesto en esta zona de reposo. Esta desventaja, así como otras consideraciones, impulsaron a las instancias responsables a prescindir del restaurante.

#### Construcción

La torre presenta algunas características que saltan a la vista. El pilar de la torre tiene una sección en forma de estrella de tres puntas, las que se transforman al pie en tres contrafuertes. Esta construcción confiere a la torre la rigidez necesaria e importante para la exactitud de las comunicaciones por ondas dirigidas.

Las construcciones salientes de la torre están dispuestas asimétricamente. El recinto de aparatos y un tanque de agua cuelgan en el lado norte de la torre como una mochila.

El pilar de la torre, de 152 m de altura, fue construido mediante un encofrado deslizante en 51 etapas de aproximadamente 2.8 m cada una. El mástil de acero de 96 m de altura consiste de caños de acero de 1,6 a 2,7 m de diámetro.

#### Medición

Aparte de diferentes mediciones de control (especialmente nivelaciones de asentamientos) por parte de la supervisión general de las obras, corresponde a la empresa Gruner S.A. la responsabilidad por las mediciones de la construcción.

Como base para todos los replanteos fue determinado e igualado un triángulo básico. En el centro de este triángulo se construyó la torre. En los vértices del mismo fueron dispuestos serenos pilares de hormigón con placas centradoras Kern atornilladas.

El replanteo de las fundaciones, la medición de la construcción en verticalidad de los contrafuertes y el control del pilar de la torre hasta alcanzar una altura de

40 m fueron efectuados a partir del triángulo de base y un punto fijo adicional situado en la antigua torre.

Para la elevación del pilar de la torre se instalaron, en la planta baja de las tres alas de la misma, 13 consolas mudadas de placas centradoras Kern. La situación de estas placas fue determinada mediante cortas redes poligonales de precisión. A unos metros por debajo de las consolas se fijaron marcas de vidrio iluminables. Estas sirvieron al principio para el sondeo del nivel, perdieron después importancia y sirvieron en adelante sólo para el aseguramiento de las placas centradoras.

Las malas condiciones de visibilidad en la corona del muro (control en parte debajo del encofrado) dieron motivo a que los ingenieros decidieran fijar, a alturas de entre 60 y 80 cm, consolas intermedias.

El encofrado deslizante fue instalado en el extremo de la torre mediante dos plomadas ópticas de precisión Kern OL para el visado simultáneo central y lateral. Con la plomada óptica fue visado un metro con marca deslizable para obtener la lectura del frente efectivo de la construcción. De la comparación entre las lecturas electiva y teórica se obtuvo la correspondiente corrección del encofrado deslizante con avance hidráulico.

Las alturas fueron medidas verticalmente en la torre hormigonada (a partir de alturas de puntos fijos) mediante una cinta métrica y trazadas.

Para las construcciones adicionales, que serán iniciadas en la primavera de 1963, se determinó en la corona de la torre el centro de la construcción como punto de partida para el replanteo de la plataforma interior. Una vez terminada esta plataforma, se determinarán sobre la

misma puntos adicionales de pie de plomada, los cuales serán visados y transmitidos hacia arriba a través de huecos en los encofrados y techos. Con la ayuda de estos puntos también será replanteado la posición de cordones para las paredes.

#### Colocación óptima del instrumentario

El emplazamiento de ambas plomadas ópticas debió ser cambiado a menudo debido a la construcción en etapas de la torre. El centrado forzoso con la placa centradora Kern facilitó y aceleró considerablemente el ajuste del instrumentario.

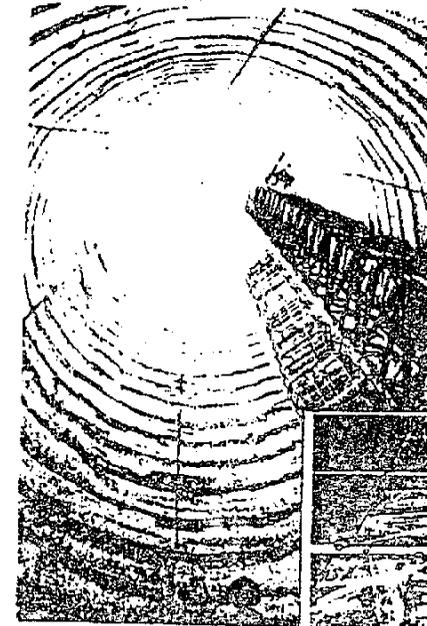
El instrumentario de horizontalización manual es cómodo gracias al extenso margen de ajuste de los tornillos capitanes, y es preferible a uno de horizontalización automática debido a las constantes vibraciones de la torre. El Kern OL tiene un anexo separado para cada dirección de visado. A fin de hacer posible la construcción robusta del instrumento, imprescindible para este tipo de trabajo, se ha prescindido del dispositivo de conmutación de la dirección de los rayos para el visado en ambas direcciones.

La sensibilidad del nivel tubular 20"/2 mm garantiza un error medio de 2 mm en una plomada de 100 m. Con esto es posible mantener la exactitud requerida.

Gracias a la utilización de instrumentario sencillas y de altísima precisión, el ingeniero logra hoy en día, con un mínimo de esfuerzo, dominar la geometría de construcciones de dimensiones gigantescas.

tales de suelo, mientras que simultáneamente se va hormigonando un pre-resvestimiento de hormigón armado, antes de proceder a la excavación de la etapa siguiente en profundidad, (Esto se hace así, para evitar los desmoronamientos).

Para poder realizar el colado de hormigón es necesario el empleo de encofrados metálicos descendentes, que se fijan mediante insertos que se colocaron en el tramo de hormigón antes realizado.



The start of something big. An aerial view of 56m diameter main tunnel access shaft at Songalia, France.

## II.8e CONTROL DE LAS OBRAS EN PROFUNDIDAD

Nos referimos aquí a la construcción de pozos, destinados a fundaciones, o a bocas de acceso para la construcción de túneles.

El método constructivo es el de efectuando las excavaciones por mantos horizon-

La forma que se lleva adelante el control, es similar al de las chimeneas, con la única salvedad, que en estos casos los controles habrá que realizarlos exclusivamente por dentro de la obra. Esto dificulta la tarea ya que el espacio queda muy reducido puesto que la extracción del material, el ascenso y descenso del personal, transporte del hormigón, materiales y equipos, se realizan también por dentro de la obra.

## Aplomado con láser en la construcción de pozos

U. Assenmann, Basilea (Suiza)

En el túnel de Sautberg junto al Lago de los Cuatro Cantones (vease Wild Reporter 10, pag. 10 y sig.) había que abrir un pozo vertical de escape de aire con una profundidad de 180 m, revestirlo y montar en él las instalaciones necesarias (fig. 1). En un espacio tan estrecho con un diámetro de 8,6 m se plantea siempre el problema del replanteo, ya que además de hacer mediciones hay que realizar en estos sitios también trabajos de otra índole. Para los trabajos de aplomado fueron tomados en consideración:

- el replanteo convencional con plomada de cordón
- el empleo de instrumentos láser de dirección vertical
- la utilización de plomadas ópticas automáticas equipadas con un ocular láser

Finalmente los responsables tomaron una decisión a favor del anteojo automático para medir Wild NL con el ocular láser Wild GLO, del que se instalaron tres ejemplares en el pozo. Las siguientes razones fueron decisivas para la opción:

- Montaje sencillo. Los anteojos fueron montados sobre placas de acero mediante su tornillo central de fijación. Las placas formaban una parte integrante del revestimiento en la cabeza del pozo (fig. 2).
- Producción automática de una línea vertical. Los compensadores de péndulo, que se encuentran dispuestos perpendicularmente en el NL, compensaban automáticamente las desviaciones de la línea vertical causadas por el movimiento oscilante de las placas de revestimiento que se necesitaban para el transporte de personas y material.
- Ningún impedimento de los trabajos de perforación y hormigonado, ya que los tres rayos de plomada permiten determinar rápidamente y sin problema el centro del pozo.

- Gracias a los tres rayos láser prometida para cada punto del pozo un triángulo de control, a partir del cual existe la posibilidad de comprobar desviaciones eventuales de la ubicación del pozo (fig. 3).
- Los rayos de plomada podían ser utilizados también para el control del encorvadamiento.
- Los tres anteojos automáticos fueron dispuestos de manera que los conductos de desagüe y abastecimiento pudieran ser montados con la debida precisión (fig. 4).

Otra ventaja fue el hecho de que ya había tres oculares láser en las obras y solamente tenían que adquirirse los tres anteojos automáticos para medir Wild NL. La combinación de estos con los oculares ha



Fig. 1. Vista desde el interior del pozo de escape de aire durante su construcción.



Fig. 2. Montaje de un anteojo automático sobre una placa de acero en la cabeza del pozo.

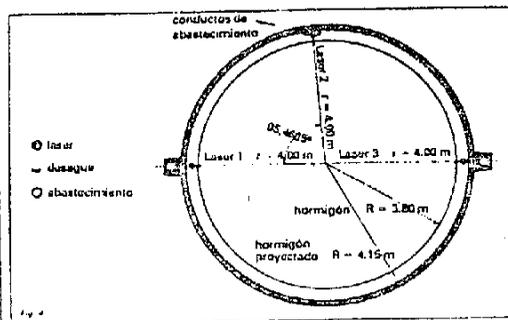


Fig. 4.



Fig. 3. Vista desde el interior del pozo que muestra el triángulo de control formado por los tres rayos láser.

procedido plenamente su eficacia. He aquí nuestras experiencias:

- Buena visibilidad dentro del pozo es indispensable ya que de lo contrario se reduce rápidamente la intensidad del rayo láser.
- Para eliminar en lo posible refracciones indeseadas, las cuerdas pueden llegar a ser molestas, debe evitarse en las proximidades del rayo láser cualquier vaso cargado por agua filtrada en el interior de la montesa.
- Es recomendable supervisar el estado de ajuste de los anteojos automáticos para puntadas verticales.
- Al montar el ocular láser sobre otro instrumento, es necesario adaptar el eje del GLO a este nuevo instrumento.



## II.9 REPLANTEO DE CURVAS

En carreteras y vías férreas, las curvas horizontales de unión, entre dos tramos rectos, llamados curvas de enlace, son arcos de circunferencia, que también se emplean con igual criterio en los proyectos de canales, acueductos y túneles.

Hasta aquí hemos mencionado algunos empleos de la curva circular, para las obras de desarrollo longitudinal, sin embargo la circunferencia, por ser la más elemental de las líneas curvas, es utilizada frecuentemente en casi todas las obras de ingeniería, presas, obras de arquitectura, controles de energía, etc.

Es por ello, que el Agrimensor, se verá obligado a trabajar en numerosas oportunidades con arcos de circunferencia, como así también a definir y proyectar curvas que deban cumplir con condiciones especiales.

### II. 9a CURVA CIRCULAR

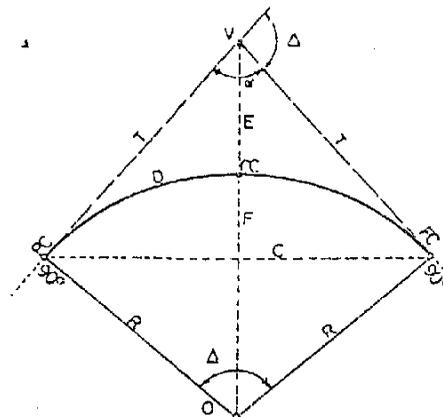
El replanteo de un arco de circunferencia para la unión de tramos rectos, requiere que conozcamos:

1. Las direcciones de las dos tangentes de empalme, es decir el ángulo que entre ellas queda determinado ( $\alpha$ ) y las coordenadas del punto de intersección (V).
2. Cualquiera de los otros elementos de la curva:

- El radio R, o las coordenadas del centro de curva.
- El valor de las tangentes T, o las coordenadas de PC o FC.
- La longitud de la curva.
- El valor de la distancia (E).
- Q las coordenadas de cualquier punto de curva.

En la generalidad de los casos, la curva está definida por la medida del Radio, pero en algunas ocasiones el condicionante es la externa.

#### Elementos de la Curva



Angulo Central  $\Delta = 180^\circ - \alpha$   
 Cuerda (PC-FC)  $C = 2.R.\text{sen } \Delta/2$   
 Tangentes  $T = R.\text{Tg. } \Delta/2$   
 Externa  $E = \frac{R}{\cos \Delta/2} - R$   
 Desarrollo o longitud del arco  
 $D = \frac{\pi.R.\Delta^\circ}{180^\circ}$   
 Flecha  $F = R.(1-\cos \Delta/2)$

## II.9b METODOS DE REPLANTEO

### 1. Abcisas y ordenadas

La distancia "y" (ordenada), de un punto cualquiera de la curva, con respecto a la tangente T, en función de la distancia "x" (abcisa) es:

$$y = R - \sqrt{(R)^2 - (x)^2}$$

#### PROCEDIMIENTO:

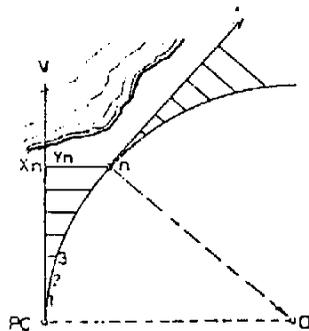
El método consiste en materializar una de las tangentes de la curva y sobre ella replantear distancias enteras o cómodas de medir. Desde estos puntos, levantamos perpendiculares con escuadra óptica y replanteamos el valor "y" correspondiente, obtenido del cálculo.

Para fuertes curvaturas o cuando la longitud de la curva es muy extensa; la determinación de puntos de la curva a partir de la tangente principal puede resultar incómoda por las grandes distancias a medir; a medida que nos alejamos de la estación el valor de la ordenada crece más rápidamente que el de la abcisa.

En estos casos debemos recurrir al empleo de tangentes auxiliares.

Supongamos que el punto n, es el último punto que podemos replantear, pues sobre la línea de la tangente hay obstáculos que lo impiden. En ese caso, trazamos por (n) una tangente auxiliar, para continuar el replanteo.

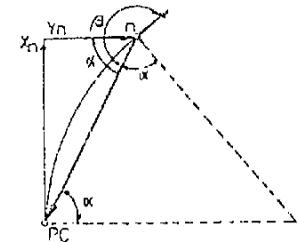
Para ello, debemos haber colocado previamente el punto O. Haciendo estación en n, apuntamos hacia O, y giramos 270° para obtener la dirección de la tangente auxiliar.



Pero en la generalidad de los casos es difícil, sino imposible materializar el centro de la curva, entonces debemos apuntar a PC.

Si conocemos las coordenadas del punto n, podemos obtener el rumbo inmediatamente, pero como generalmente sucede, este punto se colocó donde la circunstancia lo determinó, aún así conocemos x e y de ese punto.

$$\text{Luego, } \text{Tg} \alpha = x_n / y_n$$



Si a la lectura a PC, quitamos el valor  $\alpha$ , estamos apuntando a la dirección del radio, luego sumando 270° obtenemos la dirección que necesitamos.  $\beta = 270 - \alpha$

Como control, debemos cerrar en el punto FC, dentro de las tolerancias fijadas.

Este método cumple con la pauta que nos hemos fijado de tener control, pero no es rápido, ya que si el desarrollo de la curva es grande, tendremos que utilizar varias tangentes auxiliares, con la consiguiente pérdida de tiempo al trasladar el instrumento.

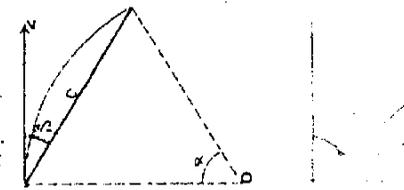
Por otra parte, no es seguro, pues estos puntos de paso, van acumulando errores.

### 2. Angulos de deflexión

Este método, se basa en el principio geométrico ya visto, de que el ángulo formado por la tangente y la cuerda es igual a la mitad del ángulo central correspondiente.

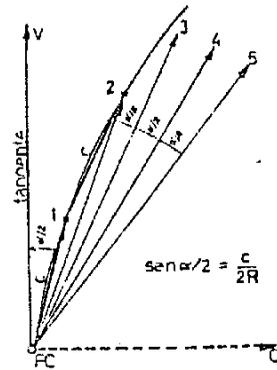
Es evidente que a cuerdas iguales, se correspondan ángulos centrales iguales y por lo tanto, ángulos semiinscritos iguales. Luego, si calculamos el valor angular para una determinada cuerda, y repetimos n veces este valor, el ángulo correspondiente al punto n, será:

$$\frac{n \cdot \alpha}{2}$$



Procedimiento:

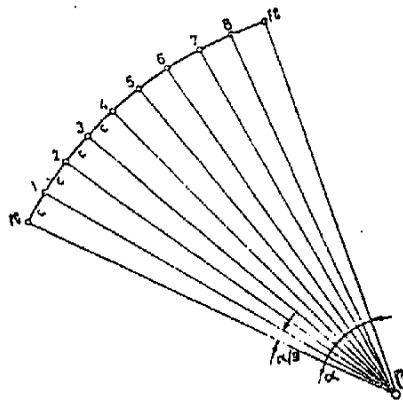
1. Fijamos un valor entero para  $c$ .
2. Calculamos el ángulo de deflexión.  $\alpha/2$
3. Estacionamos el teodolito en el punto PC, lo orientamos arrumbando con  $0^\circ$  en la dirección de la tangente.
4. Replanteamos el primer punto de la curva con  $\alpha/2$ , midiendo  $c$ . Colocamos una ficha o estaca.
5. Provocamos la lectura  $\alpha$ , los ayudantes miden nuevamente  $c$ , desde el punto colocado antes.
6. Para el tercer punto, colocamos  $3 \cdot \alpha/2$ , en el instrumento y se mide nuevamente  $c$  desde el punto anterior.



Así sucesivamente hasta completar la curva, cerrando en FC como control.

El último tramo, seguramente, la cuerda será distinta a  $c$ , pues hemos tomado una medida arbitraria, pero podemos calcularla previamente, restando al ángulo central el valor  $n$  y deducir la cuerda correspondiente.

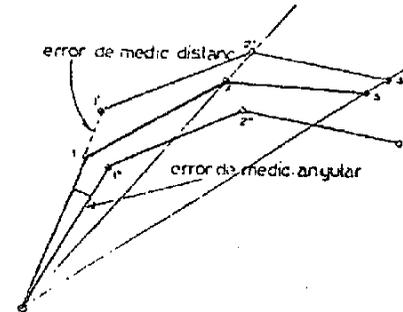
También, hubiésemos podido dividir el ángulo central en  $n$  ángulos iguales.



Pero esto nos obliga a utilizar cuerdas cuyos valores no son números enteros, lo que introduce una posibilidad de error, (recordemos que las cuerdas las miden los ayudantes).

Este método cumple con la pauta de que es rápido y tiene control, pero no con la condición impuesta de que los errores queden aislados, ya que si provocamos mal una lectura o se mide mal una cuerda, ese error se acumulará en todos los puntos que le siguen.

Por otra parte, si cometemos un error de apunte al orientar el instrumento, ese error se trasladará a todos los puntos de la curva.

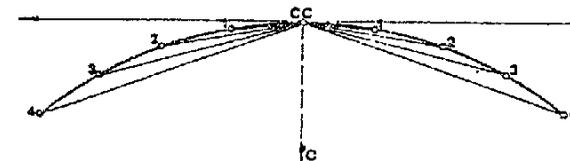


Este error angular, será más notable en los últimos puntos de la curva, pues se encuentran a una distancia grande. Esto lo podemos evitar, antes de comenzar el trabajo; orientamos el instrumento e inmediatamente tomamos la lectura en FC, si la diferencia angular, está dentro de la tolerancia, iniciamos el replanteo.

Mejor aún, si estamos estacionados en PC, orientamos el instrumento hacia FC, asegurando de esa forma no tener error de cierre por error de apunte, y controlamos con la dirección de la tangente, o con cualquier otro punto de coordenadas conocidas.

Este método, igualmente puede ser aplicado si nos estacionamos sobre cualquier punto de la curva, basta con encontrar en ese punto la dirección de la tangente.

Ideal es estacionarse en el punto CC, pues reducimos el cálculo a la mitad, las distancias se reducen y disponemos de dos puntos de control el PC y el FC.



Estos métodos vistos, son los únicos que fueron empleados durante más de cuarenta años, porque se suponía que el operador no poseía una base de trigonometría y además efectuar los cálculos, implicaba disponer en el campo, de una tabla de valores naturales y de una tabla de logaritmos, era entonces más simple, agrupar todo en una sola tabla, cuyas operaciones se redujeran a operaciones aritméticas y además de dimensiones reducidas para poderla utilizar en campaña.

Una de ellas, es la tabla confeccionada por Sarrazin-Oberbek-Höfer, autores alemanes, traducidas al español y adoptada por nuestras reparticiones de Vialidad.

En la tabla I, para ángulos centrales expresados cada 2', están calculadas las tangentes, la externa, la flecha y la longitud de arco para un radio de curva unitario, basta entonces con multiplicar el número tabulado por el radio fijado.

En la tabla II, fijando el radio y las abscisas como dato, obtenemos el valor de la ordenada, para el replanteo de la curva aplicando el 1º método. Si nuestro radio o abscisa se encuentra entre dos de los tabulados, habrá entonces que efectuar una interpolación y aquí se comete un error, al interpolar linealmente una función de segundo grado.

La tabla IV, permite obtener el valor del ángulo de deflexión a partir del radio de la curva y de la longitud del arco. Para obtener el valor de la cuerda hay que utilizar otra tabla que da las diferencias.

Otra tabla, frecuentemente utilizada, es la que se incluye en la publicación "Vademécun del Topógrafo" autor Heinz Wittke. También de origen alemán traducido al castellano, pero presenta un pequeño problema, que consiste en que las tablas están calculadas para el sistema centesimal, ello obliga al topógrafo a utilizar otra tabla, previamente, para hacer la conversión angular.

### 3. Método del "Cuarto de flecha"

Otro de los métodos muy empleados por la topografía tradicional es el llamado cuarto de flecha.

Ya vimos que la flecha era:

$$F = R \cdot (1 - \cos \alpha / 2)$$

La flecha del arco mitad será:

$$F = R \cdot (1 - \cos \alpha / 4)$$

Desarrollando en serie y adoptando nada más que los dos primeros términos:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2!} \quad \cos \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{\alpha^2}{4 \cdot 2!} \quad \cos \frac{\alpha}{4} = 1 - \frac{\alpha^2}{16 \cdot 2!}$$

Esta relación es aproximada, pues hemos despreciado los términos pequeños de la serie, pero es suficiente para la generalidad de los replanteos.

$$\text{Concluimos que: } F_1 \cong 4F_2$$

#### PROCEDIMIENTO:

Replanteamos como siempre la ubicación del PC y el FC. Luego sobre la línea por ellos formada, marcamos el punto F, que se encontrará en la mitad de la cuerda. Con una escuadra óptica levantamos el valor de la flecha, previamente calculada y colocamos el punto CC.

Ahora hacemos pasar dos cuerdas por ese punto, las cuerdas PC-CC y la CC-FC, medimos sus distancias que deben ser iguales, e iguales a la calculada, en el punto medio levantamos otra perpendicular, midiendo ahora  $f_1/4$ . Repetimos el procedimiento tantas veces como puntos querramos colocar. El próximo valor será:  $f_3 = f_2/4 = f_1/16$ .

Este método es práctico para el caso que deseemos replantar una curva sin que exista proyecto previo, que pase por dos puntos dados y no tengamos tangentes que nos condicionen. También es ideal para intercalar puntos, entre otros que hayan sido colocados por otro método, ya que ésta puede ser realizada por auxiliares, pues no es complicado dividir un número por 4.

También para replanteos rápidos y expeditivos, ya que no necesitamos emplear teodolito ni preparar planilla de observaciones en gabinete.

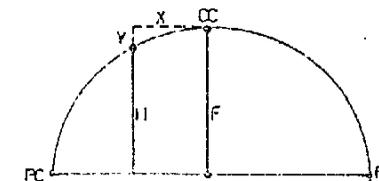
### 4. Perpendiculares desde la cuerda

Otro método, similar al anterior, es el de materializar la cuerda, marcar sobre la misma puntos a distancias regulares y calcular para cada uno de ellos la altura correspondiente. Los puntos se levantan con una escuadra óptica.

Al igual que el anterior, sólo es práctico para intercalar puntos o curvas de radio chico.

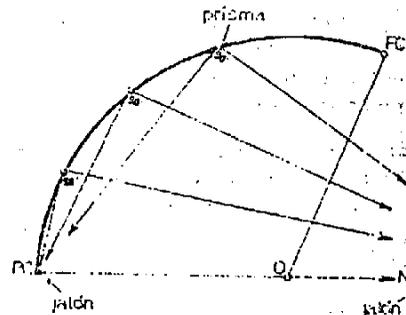
$$H = F - Y$$

$$H = \sqrt{R^2 - X^2} - R \cdot \cos \alpha / 2$$



### 5. Otro método

Es el siguiente: Valiéndonos de otra de las propiedades de la circunferencia, según la cual el ángulo inscrito en una semicircunferencia es de 90°, una sola persona puede ir replanteando la curva, sin medir nada, sólo empleando una escuadra prismática. Para ello necesitamos previamente haber replanteado algunos puntos de referencia.



Ellos son: El PC, donde colocamos un jalón, el FC, para saber donde finaliza la curva, y el punto M, (jalón) que materializa el diámetro de la circunsferencia.

Es ideal la utilización de este método para curvas de radio chico, curvas de intersección de calles urbanas, por ejemplo. Donde el Agrimensor coloca los puntos de referencia antes mencionado y el replanteo de la curva lo hacen los ayudantes mismos en cada etapa de la obra, (limpieza, excavación, compactación, colocado de moldes, etc.).

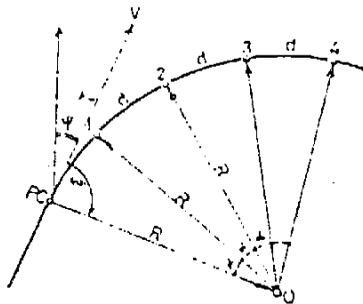
Como se ve en el croquis, en cualquier punto de la curva, en el prisma obtenemos la imagen de los dos jalones superpuestos.

## 6. Método Polar

Con el empleo de las calculadoras, no necesitamos valernos de las tablas, pues podemos calcular los parámetros en el mismo lugar de replanteo y con una mayor exactitud.

Para las curvas de radio chico, empleamos teodolito y cinta.

Para curvas de radio grande y extensas, no se justifica el método si no disponemos de un distanciómetro, ya que las distancias a medir pueden resultar muy grandes.



Para efectuar el replanteo de la curva, aplicando un método polar no es preciso que nos estacionemos sobre la curva, podemos hacerlo desde cualquier punto que sea cómodo y desde el cual tengamos visibilidad a todo el desarrollo de la curva.

Esto que hace el método sea ideal para el replanteo de curvas en camino, donde hay que replantear muchas veces la traza. Necesitamos eso sí, conocer las coordenadas del punto estación y las coordenadas de los puntos a replantear de la curva, para poder calcular los rumbos y distancias.

Para calcular los puntos sobre la curva, podemos hacerlo de dos modos:

1a) Conociendo el valor del rumbo de la tangente en el PC, calculamos el rumbo (PC-O),  $\varphi_{PC-O} = \varphi_{PC-V} + 90^\circ$

1b) Calculamos las coordenadas del centro de curva "O"

$$\left. \begin{aligned} X_o &= X_{PC} + (R \cdot \cos \varphi_{PC-O}) \\ Y_o &= Y_{PC} + (R \cdot \sen \varphi_{PC-O}) \end{aligned} \right\} R \text{ (radio)}$$

1c) Deducimos el ángulo central correspondiente al desarrollo deseado "d". (Por ejemplo d=20; si se quiere replantear la curva cada 20m)

$$\alpha = \frac{d \cdot 180^\circ}{\pi \cdot R}$$

1d) Los rumbos radiales son; (s/el esquema):

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \varphi_{PC-O} + 180 + \alpha \\ \varphi_2 &= \varphi_{PC-O} + 2\alpha = \varphi_1 + \alpha \\ \varphi_3 &= \varphi_{PC-O} + 3\alpha = \varphi_2 + \alpha \end{aligned}$$

1e) Las coordenadas buscadas de los puntos será finalmente:

$$\begin{aligned} X_i &= X_o + (R \cdot \cos \varphi_i) \\ Y_i &= Y_o + (R \cdot \sen \varphi_i) \end{aligned}$$

2) Definiendo la ecuación de la circunferencia y encontrando las raíces de la intersección de ésta con las sucesivas rectas, que pasan por el centro y cuyos rumbos varían mediante una ley constante.

Ambas formas son muy rápidas, más aún cuando disponemos de una calculadora programable.

### Procedimiento:

Se estaciona el instrumento en un punto de coordenadas conocidas. (A)

Se orienta el instrumental con otro punto conocido (B)

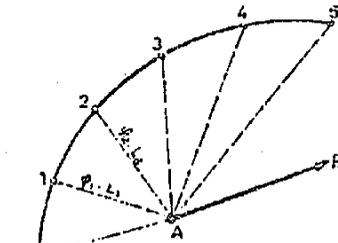
$$\tan \varphi_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}$$

Se calculan los rumbos de replanteo:

$$\text{tang } \phi_i = \frac{Y_i - Y_A}{X_i - X_A}$$

Y las distancias:

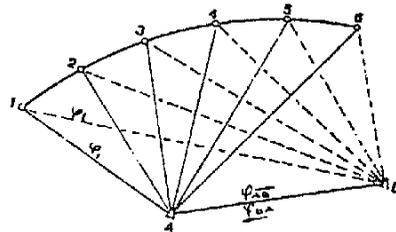
$$L_i = \sqrt{(X_i - X_A)^2 + (Y_i - Y_A)^2}$$



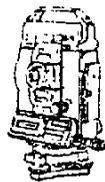
### 7. Bisección

Quando no disponemos de un distanciómetro, podemos emplear el método de bisección. El objetivo es reemplazar la medición de distancia por una intersección hacia adelante. Es decir que nos hará falta dos puntos de coordenadas conocidas donde se estacionan dos teodolitos que operan simultáneamente.

Este método es tan rápido como el polar, y cumple con todas las condiciones que nos habíamos impuesto.



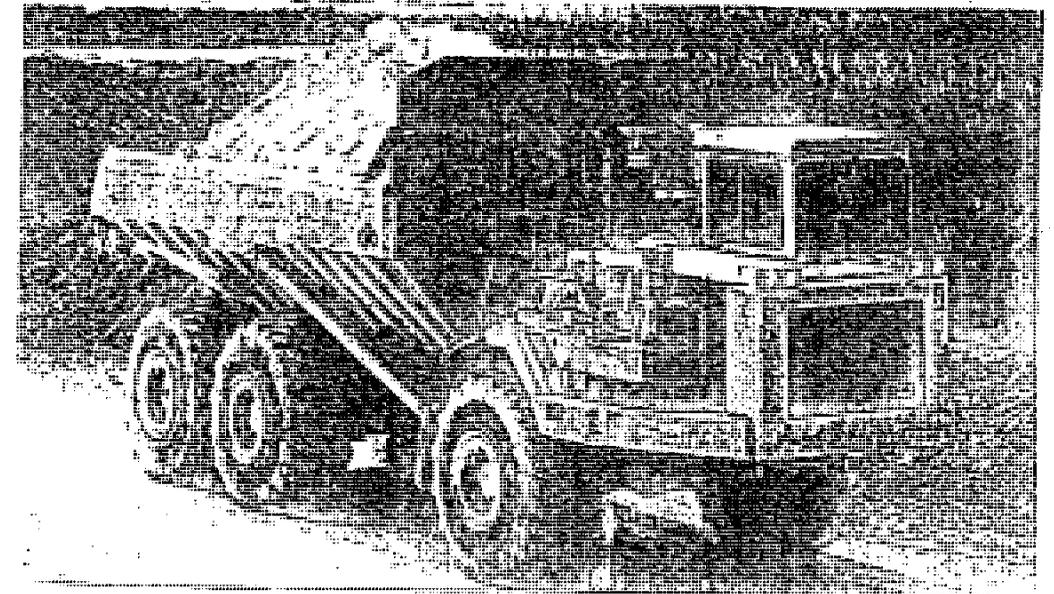
Tanto el método polar como la bisección, ofrecen la ventaja sobre los otros métodos que los puntos para el replanteo se colocan fuera de la zona de trabajo, lo que garantiza su permanencia en el tiempo. En cambio los antes vistos exige la colocación de puntos sobre la curva, por lo tanto es necesario reponerlos antes de cada replanteo, perdiéndose un tiempo considerable.



## II.10 MOVIMIENTO DE SUELOS

El movimiento de suelos consiste en realizar el traslado de una cantidad determinada de suelos desde un área a otra, con el fin de realizar una obra. Las operaciones fundamentales del movimiento de suelos pueden diferenciarse en:

1. excavación
2. carga
3. transporte
4. colocación del suelo descargado  
(comprende: distribución, humidificación, compactación)



En algunos casos cada una de estas tareas se llevan a cabo con cierto grado de simultaneidad, como es el caso de las topadoras que realizan la excavación y transporte a cortas distancias. O las motopalas que efectúan la excavación, carga y transporte de suelos, hasta márgenes de distancias mayores que en el caso anterior.

**Material:** Hay distintas clasificaciones sobre tipos de suelos en función de sus características propias y su utilización en una determinada estructura constructiva.

Desde el punto de vista del movimiento de suelos, se caracteriza a los materiales por su "facilidad de carga". Con este criterio podemos distinguir:

- a) Suelos: arcillas, limos, gravas (hasta cierto tamaño), que se cargan directamente.
- b) Rocas: granitos, piedras, calizas, esquistos, etc., que sólo pueden cargarse previo proceso de voladura o escarificación.
- c) Mezcla de rocas y suelos.

Son tres las características a tener en cuenta para un material que se debe excavar y transportar: densidad - expansión - compresibilidad.

Además debe considerarse el comportamiento de los suelos en relación con el grado de humedad que poseen en estado natural, la influencia de los factores climáticos y el porcentaje óptimo para lograr la compactación exigida.

La determinación de la velocidad sísmica de una roca, es decir la velocidad con que se propaga una perturbación, (producida por explosión o golpe) en dicho material, nos resulta útil para determinar su posibilidad de escarificación, cuanto más alta es dicha velocidad, indica que la roca es más dura y compacta, y más difícil resulta su escarificación. Como regla general el límite que fija la posibilidad de escarificación se halla alrededor de los 2500 m/seg.

## II.10a MEDICIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE SUELOS

Pueden medirse en distintas condiciones o estados del mismo:

1. En banco - midiendo el volumen que ocupa el suelo en su estado natural (es decir antes de ser excavado).
2. Suelto - después de haberse expandido como resultado de la excavación.
3. Compactado - la medición del volumen movido se realiza una vez que se han concluido con las operaciones de compactación.

Veamos la relación que existe entre ellos. Por ejemplo una misma cantidad de suelo (1 tonelada), tiene distintos volúmenes según en el estado que se encuentre:

<u>1. en banco</u>	<u>2. suelto</u>	<u>3. compactado</u>
1000 Kg.	1000 Kg.	1000 Kg.
1 m <sup>3</sup>	1,30 m <sup>3</sup>	0,75 m <sup>3</sup>

Cada material tiene un factor de expansión (porcentaje de aumento de volumen al ser excavado) y un factor de compresibilidad (porcentaje de disminución de volumen) cuando se lo compacta.

En el estudio de obras se utiliza estos coeficientes para considerar las variaciones de volúmenes. La relación de densidades se determinan experimentalmente para materiales agrupados por características iguales.

Esta consideración debe tenerse en cuenta en el cálculo, medición y pago de los movimientos de suelos. Generalmente la excavación y transporte de suelos se miden "en banco"; en cambio los terraplénese miden compactados. Esto debe tenerse muy presente, reiteramos, en el cálculo del costo de las distintas operaciones.

Por ejemplo, ya volveremos sobre el tema más adelante, en la ejecución del terraplén de un tramo de ruta están incluidos, de acuerdo a pliego, las operaciones de excavación, carga, transporte dentro de la distancia común o libre de transporte y la colocación del suelo (distribución, humedificación y compactación). Para el cálculo del costo del transporte se aplica el siguiente procedimiento:

T = tiempo fijo (carga, descarga, espera)      DS = factor de corrección  
 + tiempo de transporte (o acarreo)      E = factor de eficiencia  
 + tiempo de regreso

R = costo del transporte

$$R = \frac{\text{Capacidad del equipo (m}^3/\text{v)} \times 60 \text{ min/h} \times DS \times E}{T \text{ (min/h)}}$$

### Producción de los equipos:

Se tienen en cuenta distintos factores que disminuyen los rendimientos de los distintos equipos, en base a circunstancias propias de cada uno de los trabajos y de los operadores del mismo.

El factor de eficiencia, es el coeficiente que representa el tiempo realmente trabajado en un período determinado, por ejemplo una hora.

operación día normal : factor de eficiencia 50/60 min. = 0.83  
 operación nocturna : " " " 45/60 min. = 0.75

Además, hay que efectuar otras correcciones, que para tal fin existen tablas, que contemplan:

- la calidad del operador (excelente, bueno, deficiente)
- las condiciones del terreno (amontonado o suelto, difícil de cortar, difícil de empujar, roca, etc.)
- el método de trabajo
- la visibilidad
- la pendiente
- la transmisión (directa), tipo de hoja, etc.

Producción de las máquinas: Se debe tener en cuenta:

1. Capacidad de la máquina, de acuerdo a las características de la misma, volumen del balde o caja, potencia, sistema de transmisión, etc..

2. Tiempo del ciclo, para cada una de las partes del mismo, (carga transporte, descarga, regreso, o alguna de ellas).
3. Producción por hora, multiplicando la producción por ciclo, por el número de ciclos por hora.

$$P = p. \frac{60 \text{ min/h}}{T \text{ min/c}} ; \text{Ejemplo: } 2 \text{ m}^3 \times \frac{60 \text{ min/h}}{0.5 \text{ min}} = 240 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luego afectamos este resultado con el factor de eficiencia E, o sea:

$$P.E ; \text{Ejemplo } 240 \times 0.83 = 199.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

4. Factores de corrección, de acuerdo a las características de cada uno de los trabajos y de los equipos que se utilicen.

#### Equipos:

En el movimiento de suelos se emplean distintos equipos, entre los cuales mencionaremos los de uso más frecuente.

Cargadores frontales de ruedas y carriles 8-9

Excavadoras hidráulicas 10-11

Excavadoras de cables 1-2

Topadoras de carriles y ruedas 5-6

Palas de arrastre

Motopalas 18

Camiones convencionales

Camiones "fuera de ruta" 7

Acoplados de transporte

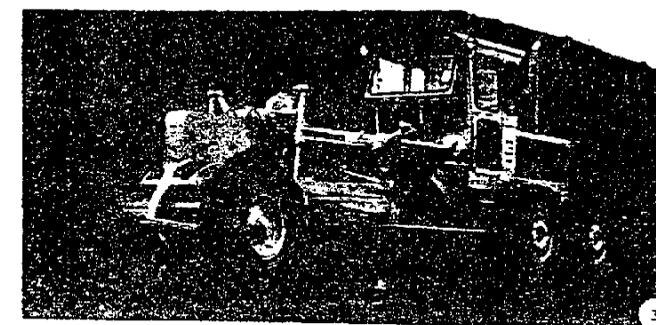
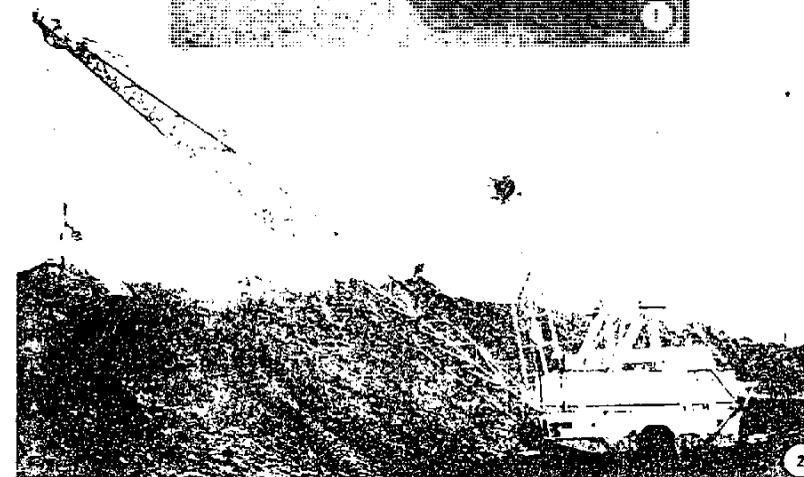
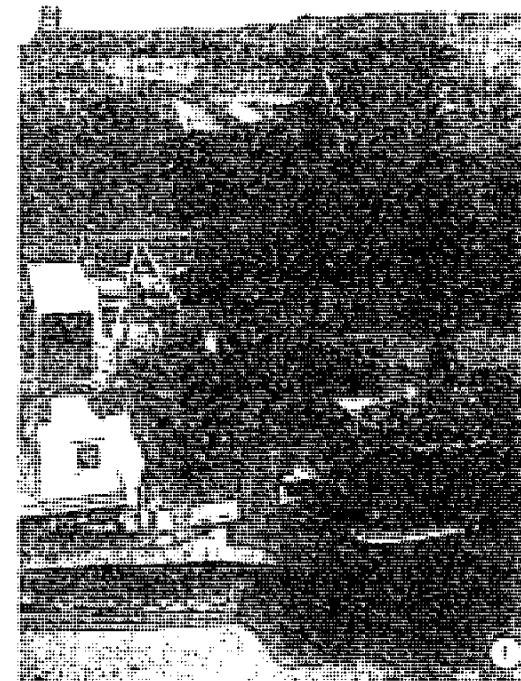
Tractores de arrastre

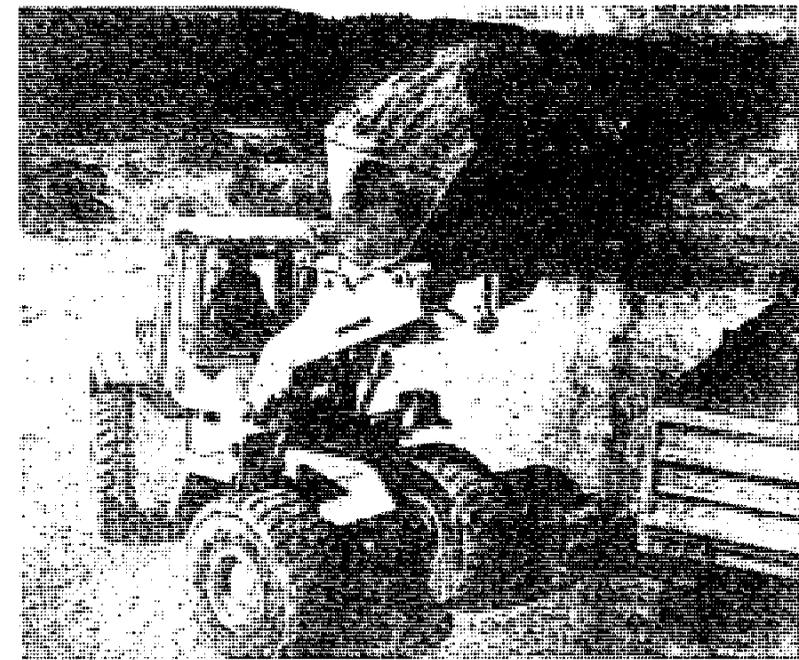
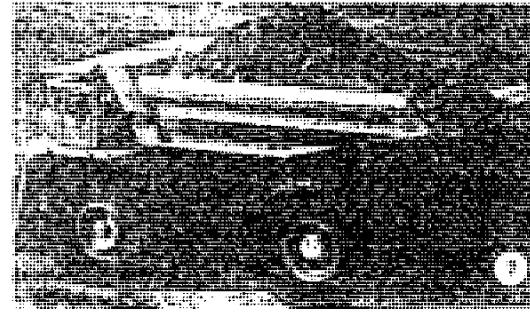
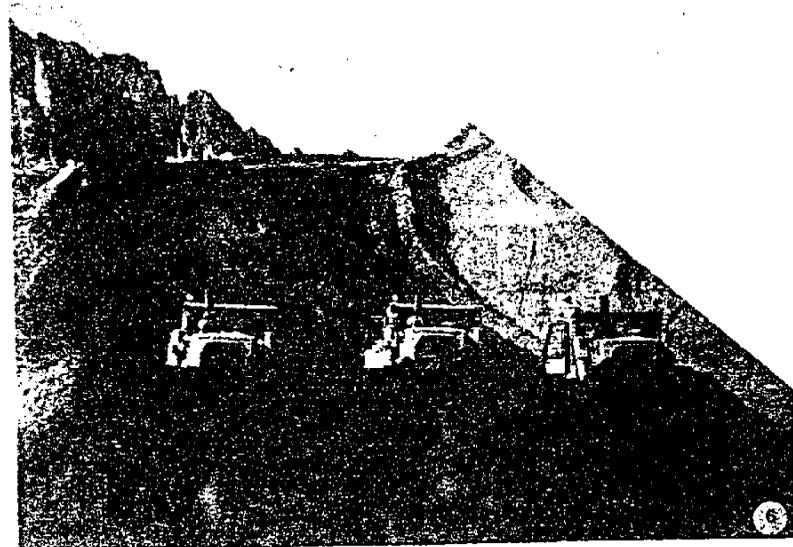
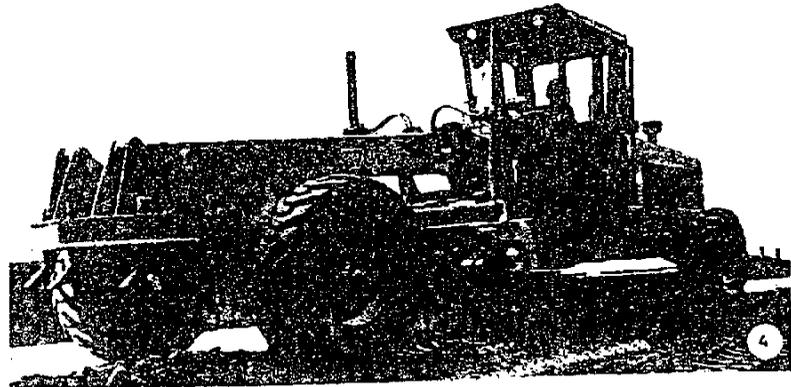
Motoniveladoras 3-4

Compactadoras 12 - 13 - 14 - 15

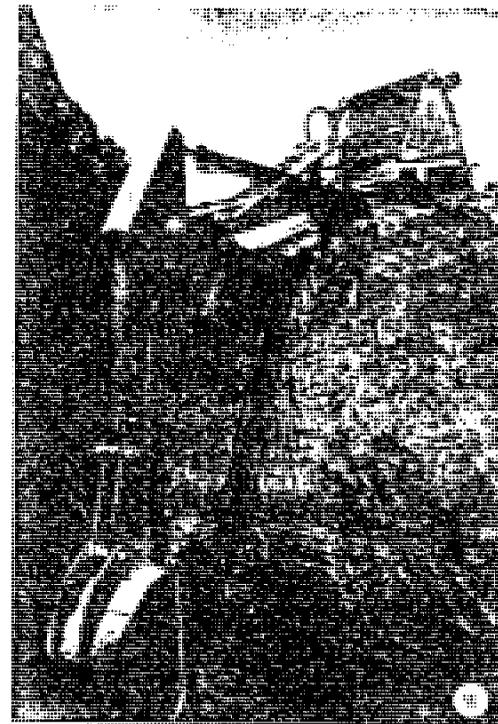
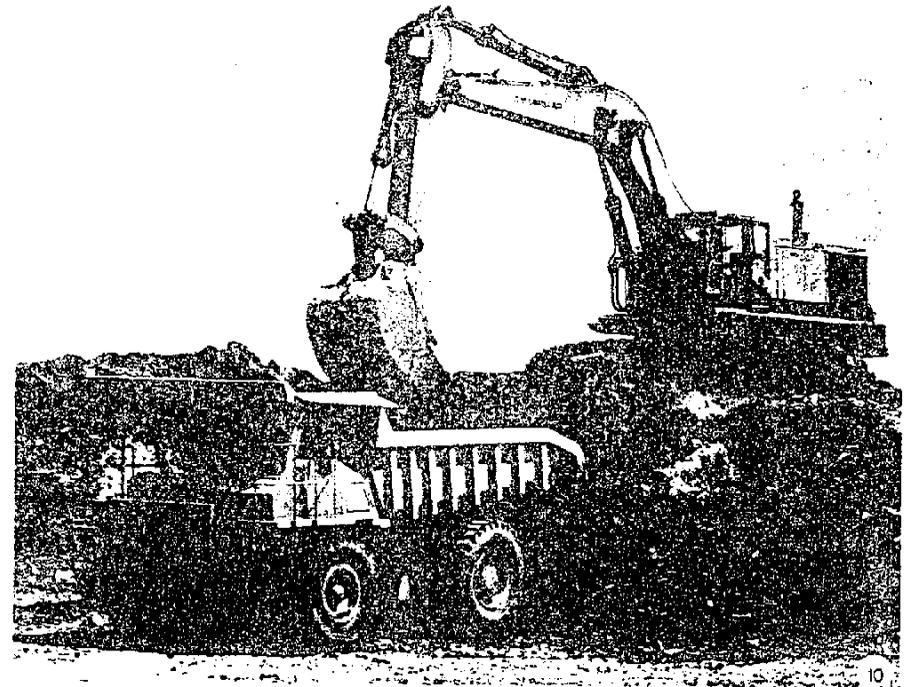
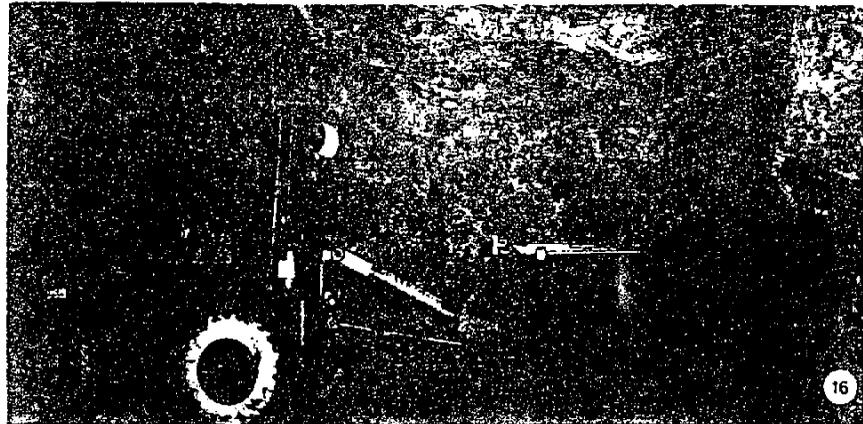
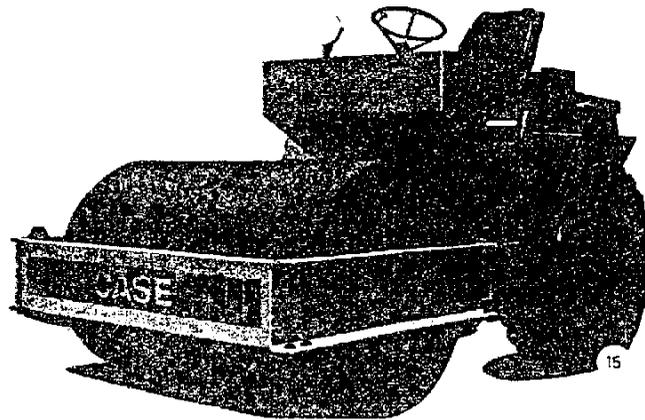
Perforatrices 16 -17

A continuación, haremos un breve resumen, muy elemental, para cada uno de estos equipos, sus características y campo de utilización. Para una mayor información, dirigirse a la bibliografía correspondiente o a los folletos de cada caso .

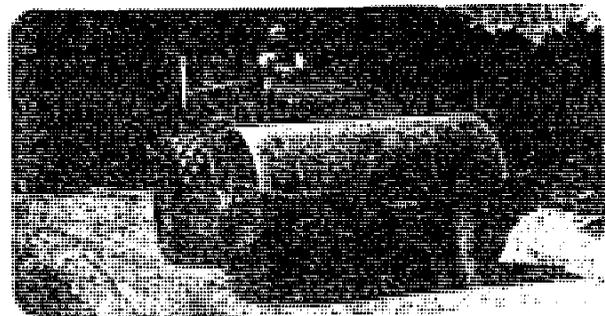
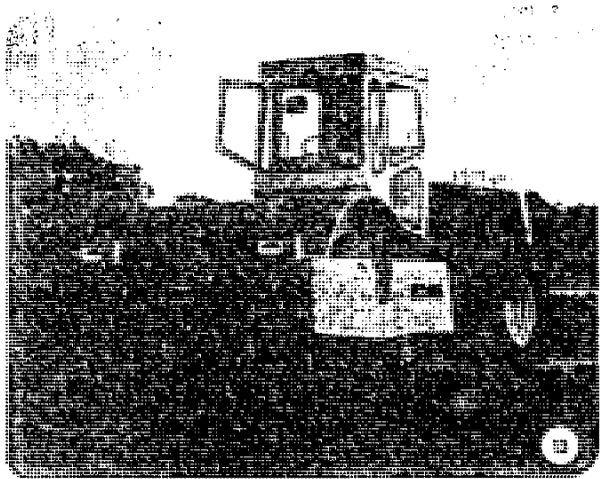




El rodillo vibrante Modelo 801 tiene un ancho de 14 pies 6 pulg. y a 8.94 toneladas. Unidad autovibrante, de mando hidro-estático, silenciosa. Especial para Asfalto con sistema rotatorio de dos ejes de agua y neumáticos tipo. Carenas opcionales traseras.



Las unidades vibrantes de asfalto tipo 801 operan en dos tamaños de 4 y 8.5 toneladas métricas con ancho de 4 y 14 pies. El Modelo 8015 queda obsoleto con el ancho de 14 pies.

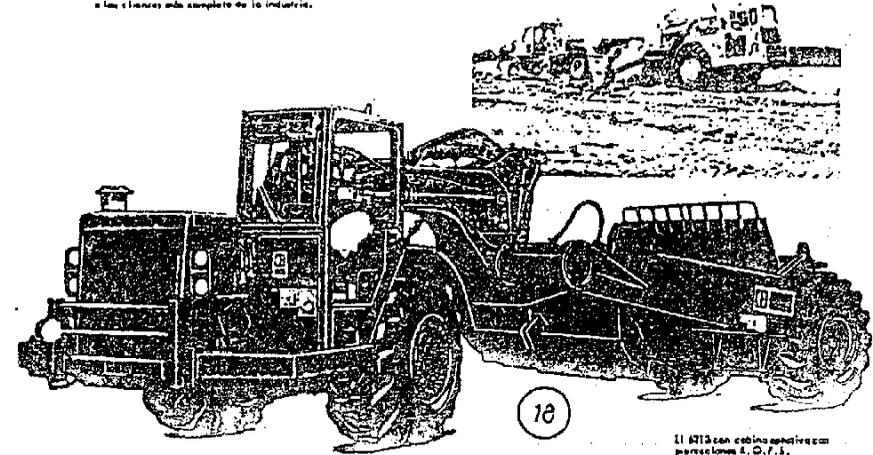


# CATERPILLAR



## características principales

- TRILLA DE CARGA RÁPIDA con capacidad de 10,7 a 15,3 m<sup>3</sup> (14 a 20 yd<sup>3</sup>). Sistema hidráulico de doble acción para mejorar la penetración de la cuchilla, el giro de la paleta y la expulsión del material.
- INGANCHE AMORTIGUADA. Abarca los ruidos de choque del camino de asfalto, restituye el recorrido de la máquina, y aumenta considerablemente las velocidades utilizables de trabajo.
- MOTOR DIESEL CAT de 330 hp (241 kW) en el volante, con avance automático de la inyección de combustible para óptimo funcionamiento en todo el rango de RPM.
- OCHO VELOCIDADES DE AVANCE hasta de 50 km/h (31 MPH) con programación automática Caterpillar.
- DE FÁCIL SERVICIO. Todos los componentes son muy accesibles y se ajustan como unidades independientes.
- CAT PLUS. A cargo de los distribuidores Cat. Le entregamos el equipo a las 4 horas más completas de la industria.



El 321B con cabina operativa con protección S.O.P.S.

**mejor Caterpillar**  
 Potencia en el volante a 1900 RPM ..... 330 hp  
 kilovatios ..... 246  
 (En el Sistema Internacional de Unidades, la potencia se mide en kilovatios.)

Motor diesel Cat, Modelo 3408, de 6 cilindros y 6 cilindros, con diámetro de 137 mm (5,4") y carrera de 165 mm (6,5"). La cilindrada es de 14,0 l (182 pulg<sup>3</sup>).

Es la potencia neta en el volante del motor de la máquina, cuando funciona en las condiciones de temperatura y presión atmosféricas correspondientes a los normas de la I.A.F., a sea a 20° C (68° F), y 744 mm (29,28") hg (10 193 hPa), utilizando "fuel oil" de 35 unidades API o 15,4° C (60° F). El equipo del motor incluye ventilador, filtro de aire, tomacorriente de agua, de lubricante y de combustible, compresor de aire y alternador. El motor mantiene su potencia especificada hasta 3000 a (7500) de revoluciones.

También incluye y con adelantos del aire que utiliza el agua de los cilindros. Pasajes de los múltiples pernos en los 17 los dos volantes de aspiración y de escape por cilindros. El mecanismo de los inyectores incluye dos balancines por cilindro, uno para cada par de válvulas de admisión y escape. Sistema de combustible de regulación variable. Los bombas de combustible no requieren ajuste, los adelantos de los inyectores se ajustan, y el diseño incluye cámara de precombustión. Filtro de aire de tipo seco con elemento primario y de seguridad.

Sistema de arranque eléctrico directo de 24 V, con batería incorporada para encender las cámaras de precombustión.

## Cargadores frontales:

La capacidad del cucharón o balde, varía de 0,5 a 10m<sup>3</sup>.

Se los utilizan para cargar materiales sueltos sobre un medio de transporte o una planta de clasificación, trituración, etc..

## Topadoras:

Consisten en un tractor de gran potencia, montado sobre carriles o ruedas, a los cuales se les adosa una hoja topadora de distinto tipo según el trabajo y material (rectas, angulares, etc.) Se las utilizan para excavar y pechar el material a cortas distancias.

#### Palas de arrastre:

Son equipos que se emplean para excavar y transportar materiales fácilmente excavables a distancias cortas. Son tirados por un tractor de arrastre sobre neumáticos.

#### Motopalas:

Son autopropulsadas y alcanzan grandes capacidades y velocidades de transporte. En función de su carga se clasifican en:

- a) con tractor de empuje - b) autocargables - c) autocargables de arrastre y empuje (push and pull)

#### Excavadoras:

Pueden ser hidráulicas con balde frontal o retroexcavador. De cable, tipo balde de arrastre (dragline) o balde almeja. Se las emplean especialmente en las excavaciones destinadas a canales o tuberías, y obras especiales.

#### Camiones volcadores convencionales:

De tracción simple o doble, de uno o dos diferenciales con capacidades que varían desde los 6 a 20 Tn. Se los utiliza en caminos de buenas condiciones y en distancias largas.

#### Camiones volcadores "fuera de ruta":

Rígidos o articulados, con dos o tres ejes y tracción parcial o total. Sus capacidades varían entre 30 y más de 100 Tn.

#### Acoplados de transporte fuera de ruta:

Son tirados por un tractor de arrastre y son de descarga inferior o lateral. De capacidad de transporte, se utilizan para distancias largas y relativamente buenas condiciones del camino.

#### Cintas Transportadoras:

Se usan para movimiento de grandes volúmenes o en circunstancias especiales (por Ej. cruce por debajo de una carretera de gran flujo de tránsito).

#### Motoniveladoras:

De distinta capacidad, según su potencia, peso, ancho de hoja, etc.. Se las

emplean para distribuir el suelo descargado y perfilar el mismo para distintos tipos de estructuras viales o hidráulicas.

#### Compactadores:

De arrastre o autopropulsados y con rodillos distintos de acuerdo al tipo de suelo a compactar (lisos, patas de cabra, punta de diamante, etc.).

#### Tanques regadores:

Se los emplea para humedificar cada capa que se compacta de terraplén, sobre camiones o sobre acoplados se monta el tanque, y el riego se realiza por gravedad o por bombeo.

#### Perforadores:

Pueden ser neumáticos o hidráulicos. Se los emplea para realizar el movimiento de rocas, a cielo abierto o en túneles. Se los clasifica por el diámetro de la broca.

En las obras de arquitectura, los movimientos de suelos se limitan a:

- Nivelación de los terrenos .
- Excavación de bases y obras de bajo nivel .

En general tienen poco peso económico, en relación con los otros ítems que componen la totalidad de la obra. Pero no ocurre lo mismo en los diques, canales y caminos, donde el ítem "Movimiento de suelos", es el más importante.

En general, para cualquier tipo de obra, y en especial para estas obras donde el trabajo de mayor envergadura radica en el movimiento de suelos; se hace necesario aplicar un minucioso análisis para la elección de los equipos y métodos de trabajo, y posterior control de los procesos ejecutivos, acompañado de un correcto cómputo métrico de los volúmenes a mover.

## II.10b COMPUTO DEL MOVIMIENTO DE SUELOS

A - Antes de comenzar con la ejecución de los movimientos de tierras, es necesario realizar un relevamiento del terreno primitivo.

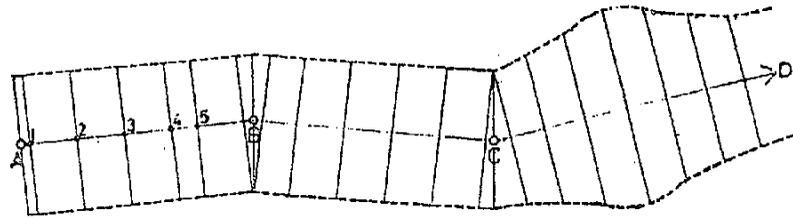
A los fines del pago de los trabajos realizados de movimientos de suelos, es necesario conocer los volúmenes de los desmontes, excavaciones y terraplenes que se ejecutaron. Para ello, al finalizar las tareas se vuelve a relevar otro relevamiento y de la comparación de ambos surgen los volúmenes emplazados.

Este procedimiento, o el conjunto de métodos empleados para las mediciones y cálculo de los "movimientos de suelo", en el léxico común de obras y en muchas de las publicaciones, se le conoce por el nombre de "CUBICACION DE TIERRAS".

A los efectos de poder llevar adelante esta comparación, es necesario que ambos levantamientos tengan el mismo sistema planimétrico de referencia. Cuando se trata de obras de desarrollo lineal, como por ejemplo son los movimientos de suelos a realizar para la colocación de tuberías, las canalizaciones, los caminos y autopistas. Y en algunos casos, para determinadas obras de desarrollo superficial; el método más apropiado de medición, es el empleo de PERFILES TRANSVERSALES.

El método consiste en levantar un perfil longitudinal coincidente con el eje de la futura obra, y tomar perfiles transversales a distancias regulares (si el terreno es llano) o en cada cambio de pendiente (si el terreno es movido).

El ancho de la faja a levantar, depende de las dimensiones de la zona de ocupación de la obra, pero siempre es conveniente levantar una mayor superficie que la necesaria.

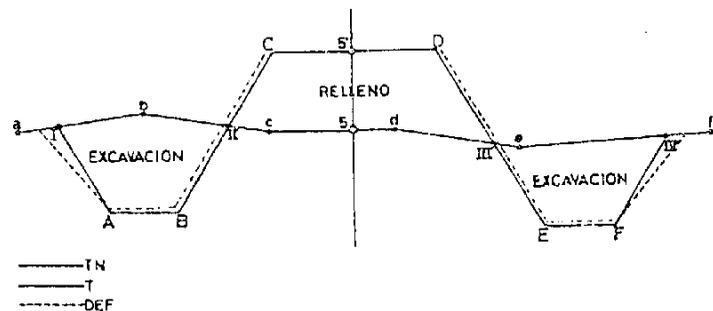


A estos perfiles los llamamos PERFILES PREVIOS o bien, "perfiles del terreno natural"... (TN).

B - Después, una vez concluidos los trabajos, reponemos los puntos del perfil longitudinal primitivo, y desde cada uno de estos piquetes replanteamos nuevamente los transversales originales.

Levantamos ahora un nuevo perfil, coincidente con la posición planimétrica del perfil previo, pero que ahora será distinto por estar afectado de los trabajos de movimiento. Este nuevo perfil transversal, recibe el nombre de PERFIL DEFINITIVO... (DEF).

Hay un tercer perfil, que es el perfil que se debió ejecutar, que no siempre coincide con el definitivo que es el real, es un perfil que no surge de mediciones sino de los planos del proyecto, lo llamamos PERFIL TEORICO... (T).



Superponiendo la gráfica de dos perfiles:

- I. El definitivo con el del terreno natural.
- II. El perfil teórico con el del terreno natural.

Obtenemos un polígono cerrado que llamamos SECCION TRANSVERSAL.

La superficie que está por debajo del terreno natural, será una sección equivalente al volumen movido de "Excavación" o "desmonte".

La superficie que está por arriba del (TN), será una sección equivalente al volumen de suelo agregado, al que llamamos "relleno" o "terraplén".

La forma de computar la sección, es decir, cuál de los perfiles adoptamos (DEF ó T) depende de los pliegos, del tipo de obra y de quién encarga la obra. Si se trata del Estado, generalmente los pliegos hacen referencia a la forma de pago explicitada en los pliegos de Vialidad Nacional.

En la Sección L.3.6. (Forma de pago), del mencionado pliego, dice:

" No se pagará ningún exceso de volumen de terraplén sobre el teóricamente calculado, aunque esté dentro de las tolerancias permitidas..."

## II.10c COMPUTO DE LAS EXCAVACIONES

A los fines de tener una idea clara del planteo, volvamos nuevamente al Pliego General de Especificaciones de la D.N.V. y de él extractaremos los conceptos básicos.

### SECCION L - 2 - EXCAVACIONES

#### "DESCRIPCION"

Este trabajo consistirá en toda excavación necesaria para la construcción del camino (o cualquiera otra obra) e incluirá la limpieza del terreno dentro de la zona de trabajo..., la ejecución de desmontes y faldeos, la construcción, profundización y rectificación de cunetas, zanjas y canales; la apertura de préstamos para la extracción de suelos, la remoción del material para destapes de yacimientos, la formación de terraplenes, rellenos y banquetas utilizando los productos excavados. Y todo otro trabajo...necesario para la terminación (de la obra)... de acuerdo con los perfiles e indicaciones de los planos...

L.2.1.2 Incluirá asimismo la conformación, el perfilado y la conservación... de taludes, banquetas, calzadas, subrasantes, cunetas, préstamos y demás superficies formadas con los productos de la excavación o dejados al descubrimiento por la misma.

#### L.2.2 CLASIFICACION

L.2.2.1 Toda excavación de materiales llevada a cabo de acuerdo con los requisitos de esta especificación, será considerada como Excavación no clasificada...

L.2.2.2 La excavación no clasificada, consiste en toda excavación, sin tener en cuenta la naturaleza del material encontrado, ni los medios empleados en su remoción...

L.2.2.3 La excavación en roca, consistirá en la excavación de toda formación de roca dura, tosca compactada o conglomerados cementados firmemente, y demás materiales que no puedan, a juicio de la inspección (de obra), excavarse económicamente sin el empleo previo de explosivos...

L.2.2.4 La excavación común, consistirá en las excavaciones de arenas, arcillas, limos, gravas, conchillas, tosca blanda, rocas sueltas o descompuestas, cantos rodados y piedras de volumen inferior a 1/4 m ...

### L.2.3 METODO CONSTRUCTIVO

L.2.3.1 Todos los materiales aptos, productos de las excavaciones, serán utilizados en la medida de lo posible en la formación de terraplenes, banquetas, rellenos... todos los productos de la excavación que no sean utilizados, se transportarán donde la inspección lo indique.

L.2.3.2 Se conducirán los trabajos de excavación, en forma de obtener una sección transversal terminada de acuerdo con las indicaciones (que surgen) de los planos o de la inspección.

NO SE DEBERA, efectuar excavaciones por debajo de la cota de la rasante proyectada, ni por debajo de las cotas de fondo de desagüe indicadas en los planos (del proyecto)...

L.2.3.7 Todos los taludes de desmontes, cunetas, zanjas y préstamos, serán conformados y perfilados con la inclinación y perfiles indicados en los planos (del proyecto)...

### L.2.5 MEDICION

L.2.5.1 Cuando el producto total de una determinada excavación, se utilice en la formación de terraplenes, banquetas, revestimientos de taludes, recubrimiento de suelo seleccionado, bases o sub-bases, NO SE MEDIRA EL VOLUMEN de la misma.

Toda otra excavación realizada en la forma especificada, se medirá por medio de SECCIONES TRANSVERSALES y el volumen excavado se computará por el método de LA MEDIA DE LAS AREAS...

Una vez efectuada la limpieza del terreno, se levantarán perfiles transversales que, conformados por la inspección y el contratista servirán de base para la medición...(perfiles previos).

L.2.5.3 Durante el desarrollo de la excavación y cada vez que ésta pase del material de una clasificación, al material de otra, la inspección localizará las líneas de separación entre los mismos, tomando las secciones transversales y mediciones necesarias, a los efectos de calcular los volúmenes correspondientes de cada una. También se harán las mediciones necesarias para determinar los volúmenes de excavación no utilizados en terraplenes, banquetas, etc. .

### L.2.6 FORMA DE PAGO

L.2.6.1 El volumen de excavación medido en forma indicada, se pagará por metro cúbico a los precios unitarios de contrato establecido para los ítem excavación no clasificada, excavación en roca, o excavación común, según sea el caso. En el ítem excavación común, se pagará solamente los volúmenes no utilizados en la formación de terraplenes... los que se pagarán de acuerdo con lo establecido en las especificaciones correspondientes..."

L.2.6.2 Dichos precios serán compensación por todo trabajo de excavación no pagado en otro ítem del contrato; por la carga y descarga del producto de las excavaciones que deba transportarse; por los trabajos de limpieza y preparación del terreno...; por el transporte de los materiales excavados dentro de la distancia común de transporte...

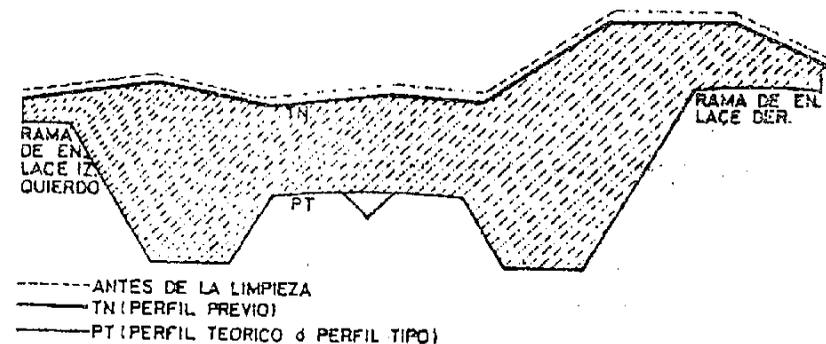
De la lectura del breve resumen antes enunciado, podemos destacar lo siguiente:

# Sólo se miden aquellas excavaciones donde el destino del material extraído no irá a formar parte del terraplén, banqueta, etc.

Pero esto no es tan así, pues aunque no se pague la excavación; sí, recibe pago, el transporte del material cuya distancia (desde la excavación hasta el destino final), supere la "distancia común de transporte" (300m.).

Esta distancia, (ya volveremos sobre este tema más adelante, en el capítulo correspondiente a "caminos"), se mide desde el centro de gravedad de la cámara de excavación, al centro de gravedad de la cámara de terraplén; y para poder determinar el centro de gravedad de cada uno de los polígonos es necesario medir y cuantificar el volumen de excavación.

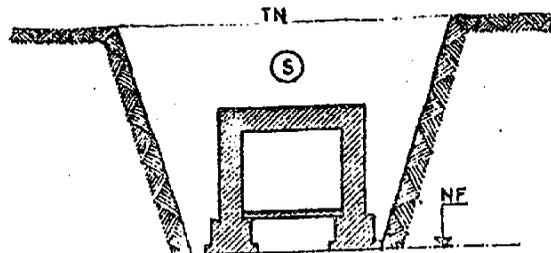
# Este volumen, responde a una sección transversal que queda encerrada entre el perfil del terreno natural (después de efectuada la limpieza) y el perfil teórico que indican los planos del proyecto.



# Observemos que las excavaciones cuyo destino NO es la formación de terraplenes, etc., reciben pago. Cómo medir dicha sección?

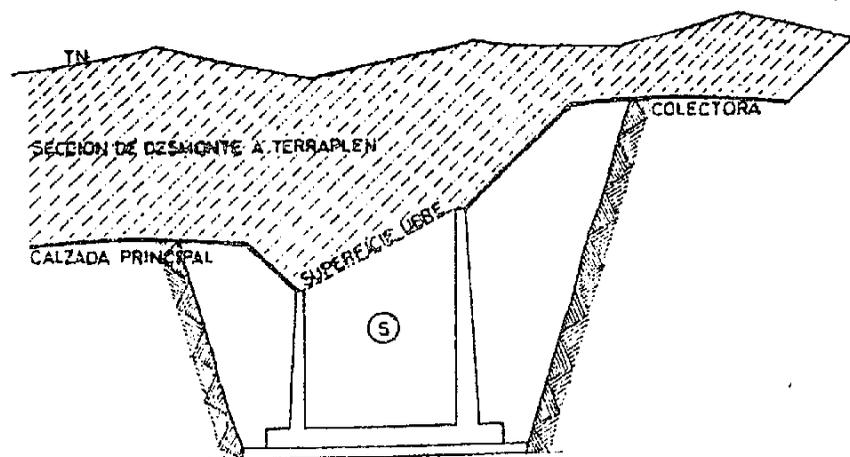
De lo antes expuesto puede inferirse que existen varias alternativas:

Puede ser la superficie encerrada entre el terreno natural y la cota de fundación de una obra.



O bien, entre la superficie libre que indiquen los planos y la cota de fundación.

Un ejemplo bien claro de cual puede ser la superficie libre indicada en planos, sería el límite que define el perfil de excavación, (ya sabemos que la Superficie superior será la destinada a terraplén). Dicha sección recibe el nombre de "Desmante".



Pero no toda la sección resultante de dicha excavación recibe pago. Para poder definir nuestra duda recurrimos nuevamente al Pliego de Especificaciones de la D.N.V. en la Sección 201, cuyo título es:

#### EXCAVACIONES PARA FUNDACIONES DE OBRAS DE ARTE.

##### DESCRIPCION

1. Bajo la denominación de esta especificación se entiende toda excavación que debe realizarse para la correcta fundación de las obras de arte, a una cota inferior a la de la superficie libre indicada en los planos.

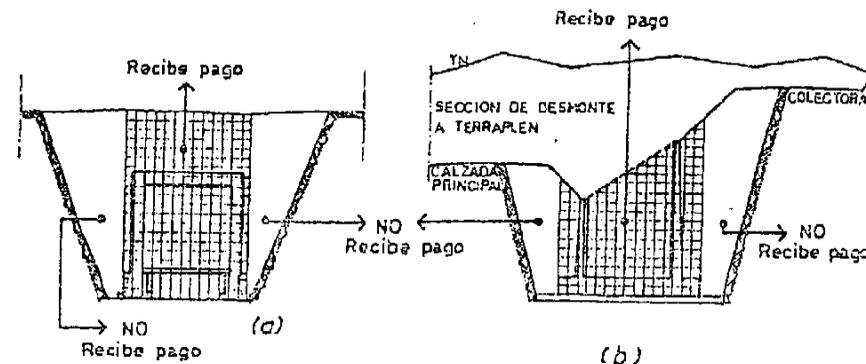
2. Entiéndase por cota de superficie libre la del terreno natural, cuando los planos no especifiquen alguna otra particular, como ser: fondos de desagües, canales, préstamos, etc....

#### VI. MEDICION

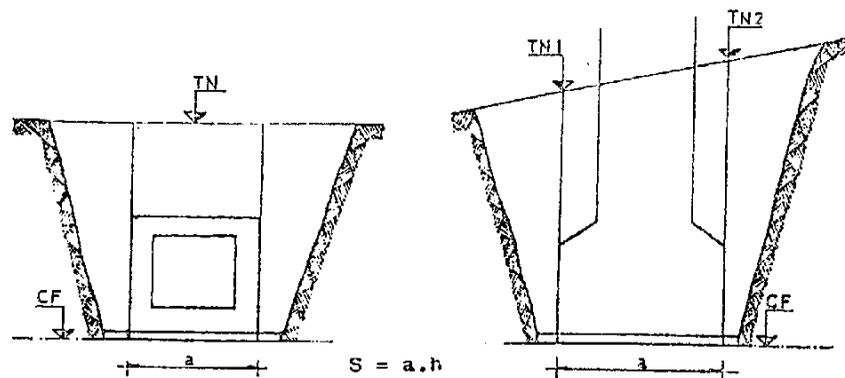
1. Toda excavación en cualquier clase de terreno ..., se medirá en metros cúbicos, siendo su volumen el resultante de multiplicar el área del plano de asiento de la estructura - si éste es horizontal - o su proyección horizontal en caso de presentar uno o varios planos inclinados -, por la altura de la excavación, hasta la superficie libre que indiquen los planos. (a)

Se tomará la altura hasta el terreno natural, cuando los planos no indiquen alguna otra cota de la superficie libre en el lugar de la estructura a fundar. (b)

2. Se adoptará la profundidad promedio cuando la excavación no fuese de altura uniforme.
3. Los excesos de excavación que el contratista ejecute para llevar a cabo los trabajos, tales como taludes, sobreanchos, etc. NO se miden, NI se pagan...



En estos casos, el cálculo de la sección transversal es muy sencillo, pues es suficiente con tomar una cota del terreno natural sobre el eje longitudinal de la obra, o bien, calcular la intersección del mismo eje con el perfil que representa la superficie libre.



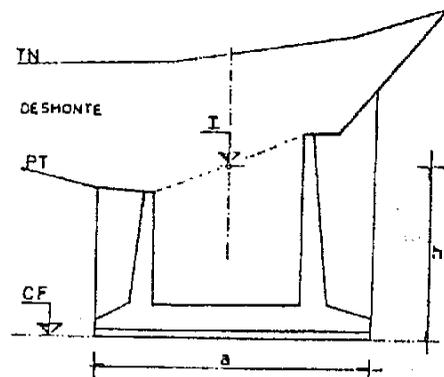
1. Donde h es directamente la diferencia de cota,  $h = TN - CF$ .

2. O el promedio de dos lecturas  $h_1 = TN_1 - CF$

$$h_2 = TN_2 - CF$$

$$h = (h_1 + h_2) / 2$$

3. O la distancia desde el punto de intersección de la superficie indicada a la misma cota de fundación.



En otro tipo de obras, donde el propósito es colocar una tubería o un conjunto de conductos, el ancho de la sección a computar está fijado en los pliegos, y es constante para cada diámetro de caños o para cada tipo de trinchera.

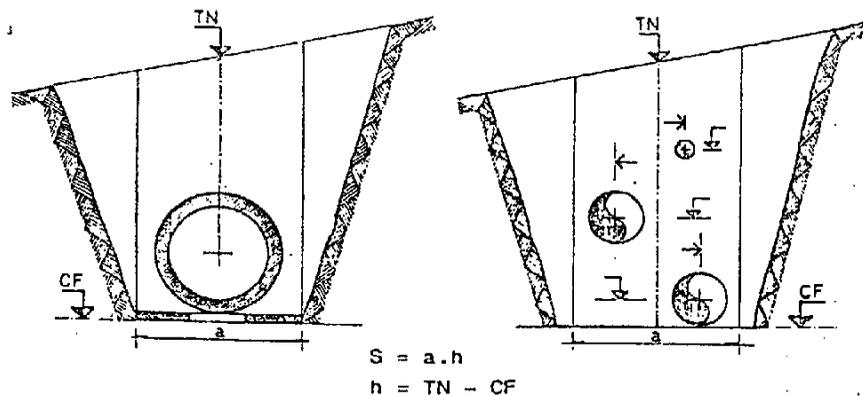
$$a = \text{Cte.}$$

Por ejemplo:

para  $\emptyset = 500 \dots a = 1.000\text{m}$

para  $\emptyset = 250 \dots a = 0.80\text{m}$

para  $\emptyset = 100 \dots a = 0.50\text{m}$



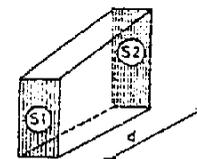
$$S = a \cdot h$$

$$h = TN - CF$$

### Cálculo del Volumen

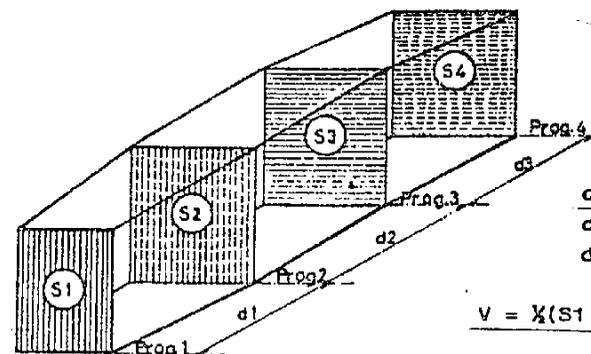
Según vimos en el apartado L.2.5.1 (D.N.V.) que la excavación se mide "...por medio de secciones transversales y el volumen ...se computará por el método de la media de las áreas..."

Este método consiste en multiplicar la distancia existente entre dos secciones transversales, por la semisuma de sus áreas.



$$V = \frac{1}{2} (S1 + S2) \cdot d$$

$S1 - S2$  (Secciones transversales)



$$d1 = \text{Progres. 2} - \text{Progr. 1}$$

$$d2 = \text{Progres. 3} - \text{Progr. 2}$$

$$d3 = \text{Progres. 4} - \text{Progr. 3}$$

$$V = \frac{1}{2} (S1 + S2) \cdot d1 + \frac{1}{2} (S2 + S3) \cdot d2 + \frac{1}{2} (S3 + S4) \cdot d3$$

### II.10d COMPUTO DE TERRAPLENES

#### L.3.1 DESCRIPCIÓN

L.3.1.1 Este trabajo consistirá en la limpieza del terreno en las áreas donde se construirán los terraplenes, y en la formación de los mismos utilizando los materiales aptos provenientes de los diversos tipos de excavación,...

L.3.3.3 La construcción del terraplén se efectuará distribuyendo el material en capas horizontales de espesor suelto uniforme y no mayor de 0.30m. Las capas cubrirán el ancho total que les corresponda en el terraplén terminado y deberán uniformarse con niveladoras, topadoras, o cualquiera otra máquina apropiada. Cada capa será compactada como se indica en L.5

L.3.3.10 Una vez terminada la construcción de terraplenes, taludes, cunetas y préstamos, deberá conformarse y perfilarse de acuerdo con las secciones transversales indicadas en los planos.

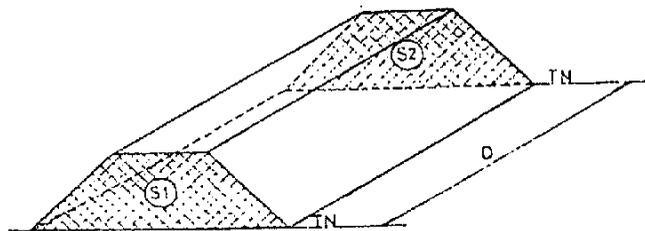
L.3.3.11 Los terraplenes y los desmontes deberán construirse hasta las cotas indicadas en los planos...admitiéndose una tolerancia (diferencia en exceso o en defecto), con respecto a las cotas mencionadas, hasta uno y medio (1½) centímetros, en los casos en que la pavimentación del camino esté incluida en el mismo contrato. Si en el contrato sólo se prevé la construcción de obras básicas, dicha tolerancias se elevará a cinco centímetros... Toda diferencia de cota que sobrepase esas tolerancias, debe ser corregida convenientemente.

L.3.5 **MEDICION**

L.3.5.1 Los terraplenes que cumplan con la densidad especificada en la sección L.5.2 se medirán en metros cúbicos de acuerdo con los perfiles transversales y aplicando el método de la media de las áreas. A este fin cada 100m o a menor distancia si la inspección lo considera necesario se trazará un perfil transversal del terreno después de compactado y antes de comenzar la construcción del terraplén. Terminado el terraplén o durante la construcción, si así lo dispone la inspección, se levantarán nuevos perfiles transversales en los mismos lugares que se levantaron, antes de comenzar el trabajo.

L.3.6 **FORMA DE PAGO**

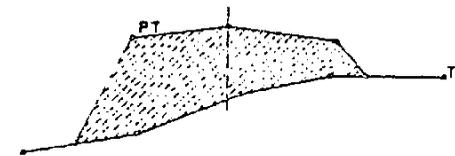
L.3.6.1 El volumen de los terraplenes medidos en la forma especificada, se pagará al precio unitario de contrato estipulado para el ítem "terraplenes". Dicho precio será compensación total por las operaciones necesarias para la limpieza del terreno; la construcción y conservación de los terraplenes y rellenos en la forma especificada, incluyendo los trabajos de compactación de la base de asiento del terraplén; excavación, carga y descarga; transporte del suelo dentro de la distancia común de transporte; conformación, perfilado, y compactación especial y el costo total del agua regada. No se pagará ningún exceso de volumen de terraplén sobre el teóricamente calculado aunque esté dentro de las tolerancias.



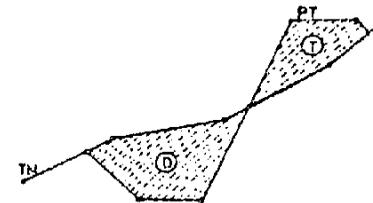
$$V = \frac{S1 + S2}{2} \cdot D$$

II.10a **AREA DE SECCIONES IRREGULARES**

Si bien, ya vimos, la sección resultante de las excavaciones se la asemeja a un rectángulo; no ocurre lo mismo con los terraplenes, que generalmente responden a un polígono irregular.



Los métodos de cálculo a los que podemos recurrir para computar la sección de terraplén, son los mismos que aplicaremos si el perfil es compuesto, es decir cuando en una misma sección transversal hay un área que representa el desmonte y otra al relleno, por ende, analizaremos este último caso que por ser más complejo incluye al anterior.



II.10f **MÉTODOS DE CALCULO**

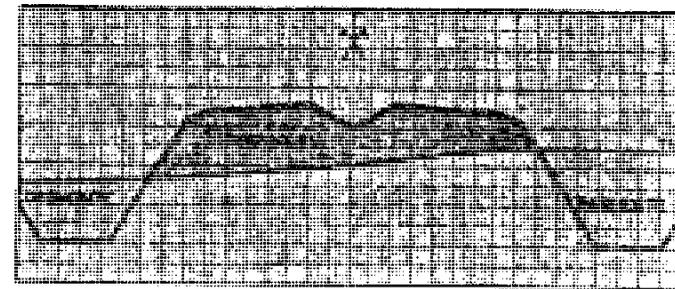
a) Método Gráfico:

Habiendo dibujado ambos perfiles y obtenido la sección transversal, se superpone a ésta un pliego de papel milimetrado transparente.

Suponiendo que la escala de la sección fuese H = 1:100 y V = 1:20, en ese caso un cuadrado de un centímetro de lado representa una superficie de 0.2m<sup>2</sup>, y un cuadrado de cinco centímetros de lado equivale a 5m<sup>2</sup>.

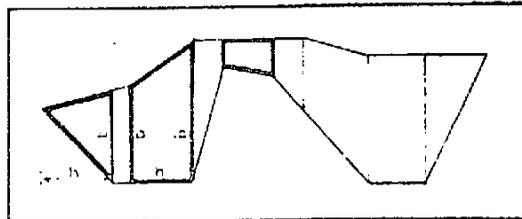
El método consiste en contar la cantidad de cuadros que están contenidos dentro de cada polígono y así obtener una superficie aproximada.

De más está aclarar que este procedimiento es por demás expeditivo y lardo, más aún cuando las superficies son grandes.



b) Método Geométrico:

Consiste en descomponer cada área formando figuras elementales tales como trapecios y triángulos.



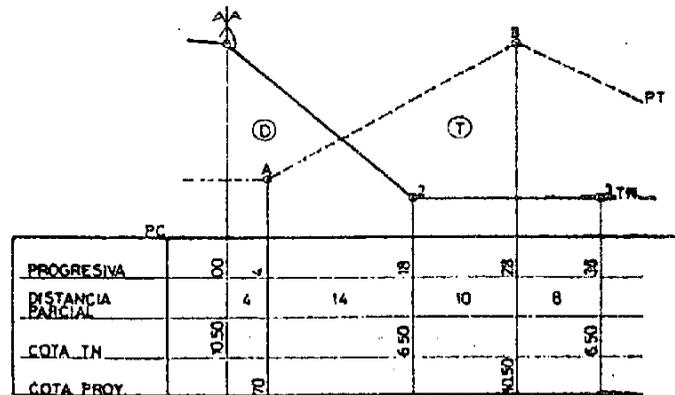
De cada uno de estos polígonos, la superficie será:

Triángulos :  $\frac{1}{2} b \cdot h$

Trapezios :  $\frac{1}{2} (B + b) \cdot h$

Donde la altura en los dos casos es la diferencia de progresivas entre dos puntos consecutivos y la medida de las bases la diferencia de cota.

Mientras que las progresivas las conocemos, no ocurre lo mismo con las diferencias de cotas, para obtenerlas debemos previamente calcular la cota correspondiente a la proyección de un punto de un perfil sobre el de otro, y lo hacemos calculando la pendiente entre dos puntos consecutivos e interpolando a la progresiva buscada, y si las exigencias no son muy rigurosas midiendo gráficamente desde el plano de comparación al punto proyectado.



1, 2, 3, etc. : Puntos relevados del PERFIL PREVIO (TN).

A, B, etc. : Vértices del PERFIL DEL PROYECTO (PT).

Para poder efectuar el cálculo, debemos previamente proyectar cada punto, de cada uno de los perfiles sobre el otro.

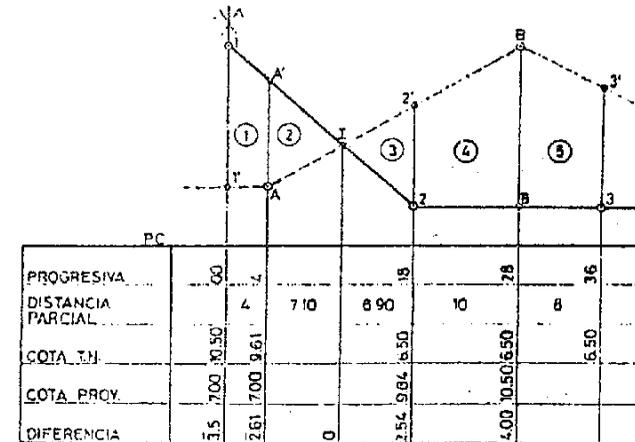
Cota A' =  $10.50 + (6.50 - 10.50) \times 4/18 = 9.61$

Cota B' =  $6.50 + (6.50 - 6.50) \times 10/18 = 6.50$

Cota 1' = Supongamos que la pendiente sea nula en el ejemplo = 7.00

Cota 2' =  $7.00 + (10.50 - 7.00) \times 14/24 = 9.04$

Determinadas las cotas de ambos perfiles en cada punto de quiebre, se calculan las diferencias entre ellas, haciendo siempre la cota del proyecto menos la del terreno natural, las diferencias negativas indican excavación.



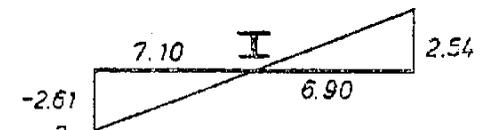
Sup 1.  $\frac{1}{2}(B+b) \cdot h = \frac{1}{2} (-3.50 - 2.61) \cdot 4 = -12.22m^2$

Sup 4.  $\frac{1}{2}(B+b) \cdot h = \frac{1}{2} (2.54 + 4.00) \cdot 10 = 32.70m^2$

Para el cálculo de las superficies de los triángulos, necesitamos conocer las distancias de cada base al vértice de intersección (alturas de los triángulos).

X1 =  $2.61 \cdot 14/5.15 = 7.10m$

X2 =  $2.54 \cdot 14/5.15 = 6.90m$



Sup. 2.  $-\frac{1}{2} \cdot b \cdot h = \frac{1}{2} (-2.61 \times 7.10) = -9.265 m^2$

SUP. 3.  $-\frac{1}{2} \cdot b \cdot h = \frac{1}{2} (2.54 \times 6.90) = 8.763 m^2$

Sección total de desmonte = ... + S1 + S2 (... + 12.22 + 9.265)

Sección total de terraplén = S3 + S4 + S5 + ... (8.763 + 32.70 + ...)

c) Método Mecánico

Una vez dibujado los dos perfiles, se recorren los perímetros que definen las secciones con un PLANIMETRO.

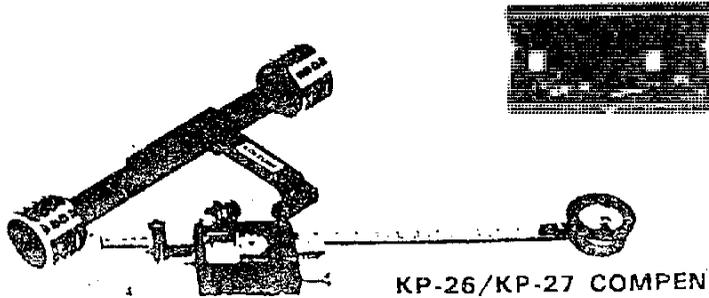
Este método ha sido el más empleado durante años por su sencillez, velocidad y seguridad. Se lo emplea desde el cómputo aproximado del anteproyecto hasta la medición final de la obra.

La exactitud de la medición es un porcentaje de la superficie medida, por lo tanto, cuanto mayor sea la escala del dibujo, mayor es la exactitud que se puede obtener.

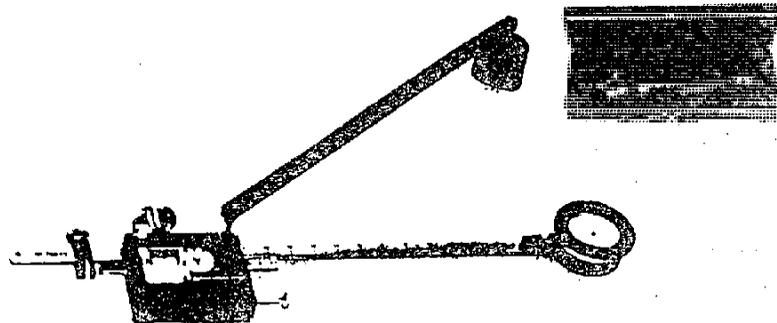
Precauciones a tener en cuenta:

- 1) Dibujar las secciones a escala grande.
- 2) Verificar la constante del planímetro sobre una cuadrícula dibujada sobre la misma copia, a los efectos que ésta tenga igual deformación que la sección a medir.
- 3) Trabajar sobre una superficie plana ubicada lo más horizontal posible.
- 4) Generalmente los perfiles se dibujan exagerando la escala vertical, conviene por facilidad en el cálculo que el factor de aumento sea 5 ó 10.
- 5) El punto trazador debe alcanzar todos los puntos del perímetro de la sección, sin que entre el brazo trazador y el brazo de anclaje, formen un ángulo menor de 15°.
- 6) El recorrido de la sección debe comenzar y terminar exactamente en el mismo punto, una discrepancia inducirá a error.

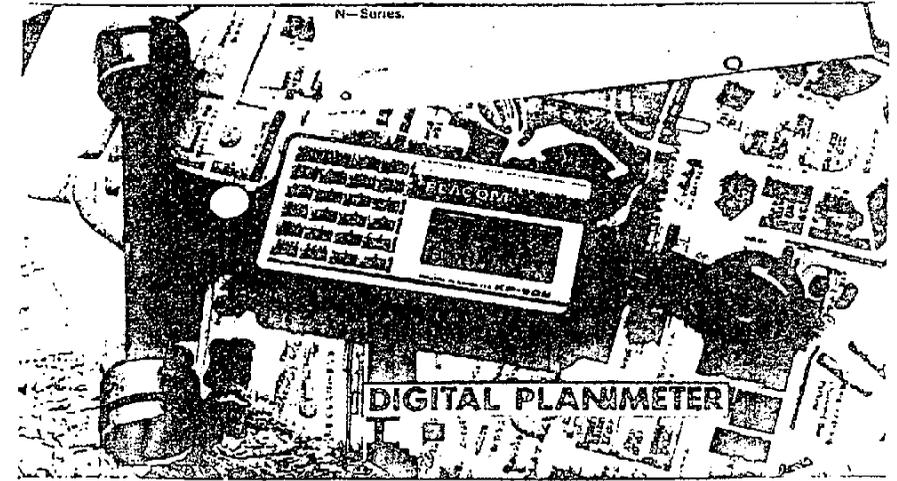
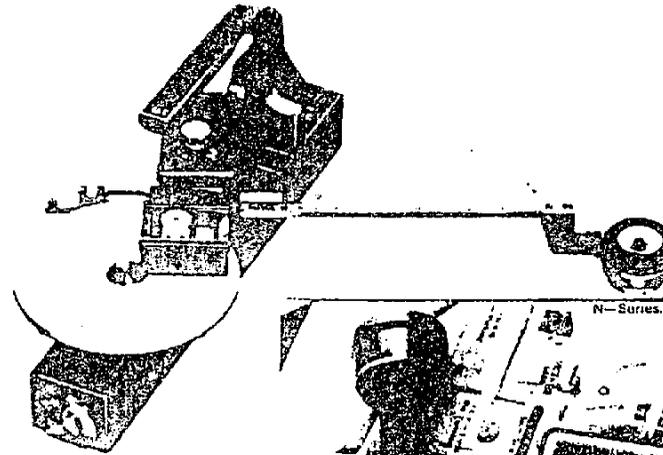
**KP-45/KP-46 BOLLER PLANIMETER WITH ZERO SETTING DEVICE**



**KP-26/KP-27 COMPENSATING POLAR PLANIMETER WITH ZERO SETTING DEVICE**



**KP-131 BOLLER DISK PLANIMETER**



**Special Features of PLACOM N-Series**

**Measurement by 6-digit pulse count**  
The N-Series measures the area by pulse count of 6-digit. This method enables a larger cumulative measurement of area (up to 10m).  
**Maximum Cumulative Measurement Value of 10m.**  
With the measurement by 6-digit pulse count, the N-Series Planimeter can measure a larger area by 100 times that ordinary planimeter.  
The conventional planimeter has a maximum cumulative area to measure only 0.1 m<sup>2</sup>. In this measurement, if every measurement value of 0.1m<sup>2</sup>, the display is to be reset to 0. This requires to transfer the numbers of how many times these results are occurred.  
With the New PLACOM N-Series, there is no need of these troublesome procedures.  
**Function of Easy Conversion of the Value of Unit and Scale**  
KP-30N and KP-30M can convert easily the measured area value into a new area value of a newly selected unit and with a newly desired scale value.  
KP-30N and KP-30M can convert the unit between m<sup>2</sup> and cm<sup>2</sup>.

**Hold Memory Function**  
In Cumulative Measurement, this Hold Memory function is effectively used.  
If an error occurs in measuring No. "N"th area, press C/RAC key. Then the pulse count value measured up to "N-1"th stoppage. No need of another measurement from the 1st area to "N-1"th area again.  
**Automatic shifting of Unit to upper Unit**  
When the measured area value overflows the displayed figures of 9 digits, the measured area value is calculated and displayed by an upper unit. When the overflow is occurred in the uppermost unit, km<sup>2</sup> scale, the measurement can be continued by pulse count display.  
**Mean (Average) Value Measurement**  
In order to get better result of measurement Mean Value Measurement is recommended. This measurement can be easily shown on the N-Series.  
**Measurement of an Area with different lateral and longitudinal scale.**  
DC or AC power supply is available.  
**Auto-Power-Off function for energy saving**

Type	Master Type		Slave Type	
	With Compensating Function	Single Function	With Compensating Function	Single Function
Display	10 Symbols	3 Symbols	4-digit Crystal 8-symbol Figures	3 Symbols
Symbol	SCALE, ZERO, HOLD, UNIT, AREA, UNIT	SCALE, ZERO, HOLD, UNIT, AREA	SCALE, ZERO, HOLD, UNIT, AREA, UNIT	SCALE, ZERO, HOLD, UNIT, AREA
Counting Function	Unit and Scale value	Unit (or UNIT)	Unit and Scale value	Unit (or UNIT)
Accumulative Measuring Value	Maximum 10m <sup>2</sup> (Scale 1:1)			
Measuring Range	Maximum scale of 10m <sup>2</sup> (Scale 1:1) Detailed scale relating to the scale		Maximum scale of 10m <sup>2</sup> (Scale 1:1) Maximum with the pulse and not inside the pulse display Maximum with the pulse and inside the pulse display	
Accuracy	Within ± 0.7% (within 1/25000 parts)			
Power Supply	1. Standard: 24V (Adapter 200V/24V Transformer, Through AC Adapter) 2. Optional: 24V, 220V and 240V (using the optional AC Adapter) (provided with auto power off function)			

d) Método Analítico

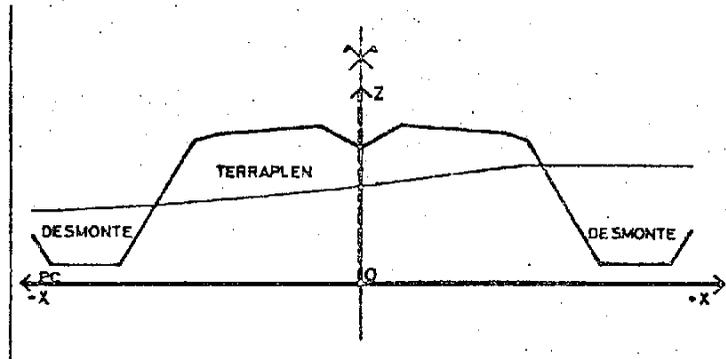
Al desarrollar el tema correspondiente a "Perfiles Transversales, y al referirnos al posicionamiento de los puntos en el levantamiento, convenimos como forma más generalizada la de medir la distancia progresiva desde el eje de la traza (caso de las obras de desarrollo lineal), tomando hacia la izquierda del mismo, las distancias con signo negativo.



Igual criterio aplicamos para el posicionamiento y dibujo del perfil del proyecto, de tal forma que las secciones transversales quedarán encerradas dentro de polígonos cuyos vértices estarán definidos por dos coordenadas planas, (Z - X).

Las ABSCISAS X - son como ya se dijo, las distancias progresivas tomadas a partir de de un eje de referencia que en el caso de las obras de desarrollo lineal coincide con el eje de la traza.

Las ORDENADAS Z - Corresponde a la cota de cada punto. Es decir la distancia del punto a un plano horizontal tomado como el cero de referencia. Como esta distancia puede ser tan grande que caiga fuera del dibujo, en tal caso se emplea una línea auxiliar que representa a un plano de comparación por debajo de los valores de altura que aparecen en el perfil.



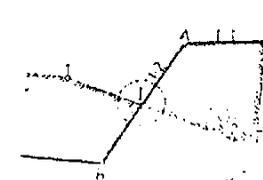
Existen varios algoritmos a los que podemos recurrir para realizar el cálculo de la superficie del área encerrada por los perfiles transversales. Quizás el más generalizado y sencillo es de Gaus, donde:

$$2 S = \sum X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1})$$

Para poder calcular el área, es necesario tener definidas las coordenadas de todos los vértices de la poligonal. Algunos surgen directamente de haber sido relevados en el terreno, otros, los de la poligonal de proyecto, por cálculo, a partir de parámetros prefijados en los perfiles tipo y la plani-almetría general de la obra. Habrá también otros puntos que para obtener sus coordenadas será necesario efectuar una intersección entre dos rectas.

Puede ocurrir algunos de estos casos:

1. Que una de las rectas definida por dos puntos (TN). La otra recta, por las coordenadas de un punto y la dirección, (pendiente del talud -PT).



La pendiente de una recta queda definida por la relación entre la diferencia de altura (desnivel entre los dos puntos); y la distancia que los separa.

Recta 1-2

$$z = i x + b$$

$$i_1 = \frac{\text{Cota 1} - \text{Cota 2}}{\text{Prog. 1} - \text{Prog. 2}}$$

$$b_1 = Z_2 - (i_1 \cdot X_2)$$

Recta A-B

$$z = i x + b$$

$$i_2 = \text{pendiente del talud (en el ejemplo } 1/2, i = 0.5)$$

$$b_2 = Z_A - (i_2 \cdot X_A)$$

luego las coordenadas del punto I, serán:

$$X_1 = \frac{b_2 - b_1}{i_1 - i_2}$$

$$Z_1 = i_1 \cdot X_1 + b_1$$

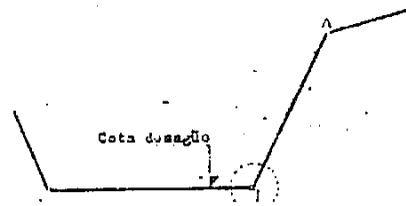
2. Que una de las rectas esté definida por un punto y una dirección, mientras que la otra sea una horizontal a una cota determinada.

Recta A-I

$$z = i_1 \cdot x + b_1$$

Recta 1-I

$$z = \text{cota desagüe}$$



Igualando los primeros términos  $i_1 \cdot x + b_1 = \text{cota desagüe (CD)}$

$$x_1 = (\text{CD} - b_1) / i_1$$

$$Z_1 = \text{CD}$$

3. Que ambas rectas estén definidas por dos puntos:

Recta 1-2

$$i_a = \frac{Z_2 - Z_1}{X_2 - X_1}$$

Recta 3-4

$$i_b = \frac{Z_4 - Z_3}{X_4 - X_3}$$



Si descartamos el método gráfico, y comparamos los otros tres métodos, observamos que el analítico y geométrico son más exactos que el mecánico, sin embargo, en la generalidad de los casos se prefiere resignar exactitud, en beneficio de la velocidad.

Si pensamos en una obra de desarrollo lineal de 15 Km, y suponiendo que se haya levantado un perfil cada 25m., en ese caso habrían dibujado 600 láminas con sus correspondientes secciones que computar. Con este ejemplo pretendemos mostrar porque se elige el método que asegura mayor rapidez de medición.

Empleando un planímetro se hace más rápida la medición en si, pero además se gana tiempo, pues no es necesario calcular ninguna intersección, ellas surgen solas, gráficamente al superponer los dos perfiles. También se gana el tiempo, que significa tener que hacer largos listados de coordenadas, en el método analítico.

En los últimos años, con el empleo de las calculadoras programables, estos métodos de cálculo comenzaron a cobrar vigencia hasta la actualidad, donde el uso del planímetro ha sido virtualmente desplazado por las computadoras.

Empleando una computadora de las llamadas personales, es posible crear un archivo

donde se almacenan todos los datos de los perfiles previos, ordenados de acuerdo a la progresiva del mismo.

De igual forma, se crea otro archivo que contenga los datos de los perfiles del proyecto ordenado de igual forma que el anterior.

Cuando se necesita obtener el cálculo de superficie de las secciones transversales se ordena la búsqueda de los dos perfiles que corresponden a una determinada progresiva, se superpongan ambos, se calculen las intersecciones, las áreas encerradas; y finalmente que acumule todas aquellas que sean de igual signo.

En la diagramación del programa de cálculo, existen varios algoritmos de resolución sin embargo los dos de uso más frecuente son a partir de los dos métodos de cálculo antes visto. Resolviendo por trapecios y triángulo, o bien planteando las ecuaciones de las rectas y aplicando el algoritmo de Gauss.

## II.10g CALCULO DE VOLUMENES

### OBRAS DE DESARROLLO LINEAL - PERFILOMETRIA

Una forma, la más usada y rápida para calcular volúmenes de suelo, es a partir de secciones transversales obtenidas del levantamiento y cálculo de perfiles, cuyo método recibe el nombre de "Perfilometría" y que se adapta perfectamente a las obras de desarrollo lineal.

Obtenidas las secciones transversales, se aplica el algoritmo que llamamos "media de las áreas" o semisuma de las áreas extremas, cuya expresión es:

$$V = \frac{1}{2} D (S_1 + S_2)$$

Tal como se pudo apreciar en la lectura de los pliegos de la D.N.V., respecto a que ellos se ordena aplicar el método de la media de las áreas, igual criterio existe en todos los demás pliegos de especificaciones de otras reparticiones oficiales.

Este método es suficientemente exacto cuando  $S_1$  es muy parecido al valor de  $S_2$ , pero es poco confiable cuando  $S_1$  es distinto a la superficie de  $S_2$ .

✓ A los fines de tener una idea entre qué límites se mueve el error que podemos cometer, analicemos los dos casos extremos.

Uno sería, cuando ambas secciones son iguales:

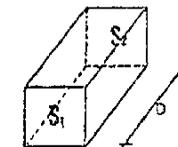
$$S_1 = S_2 = S$$

$$V_{\text{real}} = S \cdot D = V_r$$

$$V_{\text{calc.}} = \frac{1}{2} D (S_1 + S_2)$$

$$= \frac{1}{2} D \cdot 2S = D \cdot S = V_r$$

$$\text{Dif.} = 0 \text{ (cero)}$$



El otro extremo ocurre cuando alguna de las áreas extremas se reduce a un punto:

$$S_2 = 0$$

$$V_{\text{real}} = 1/3 S_1 \cdot D$$

$$V_{\text{calc.}} = 1/2 D (S_1 + 0) = 1/2 S_1 \cdot D$$

$$V_{\text{real}} \neq V_{\text{calc.}}$$

Por ejemplo:

$$\text{Si } D = 100\text{m y } l = 30\text{m}$$

$$S_1 = 900\text{m}^2$$

$$V_r = 1/3 \cdot 900 \cdot 100 = 30000\text{m}^3$$

$$V_c = 1/2 \cdot 900 \cdot 100 = 45000\text{m}^3$$

$$\text{Dif.} = + 15000\text{m}^3$$

$$\text{Error máx.} = 50\% \text{ del valor real.}$$

Es necesario aclarar, aunque para algunos dicha aclaración resulte obvia, la experiencia nos indica que no pocos incurren en el error de promediar dos áreas de distinto signo.

$$+ S_1 + (-S_2) D/2$$

Si ambas superficies fueran iguales, en ese caso el volumen sería nulo, lo cual no es correcto. Si lo es, calcular las distancias  $d_1$  y  $d_2$ .



$$V_1 = 1/2 (+S_1) \cdot d_1$$

$$V_2 = 1/2 (-S_2) \cdot d_2$$

### Método del prismaoide

Teniendo en cuenta que generalmente las secciones transversales se han relevado prescindiendo de muchas irregularidades del terreno, el volumen despreciado es tanto como el error que se comete en aplicar la media de las áreas en lugar de otro más exacto; por ende, resulta aplicable en la gran mayoría de los trabajos.

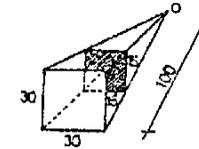
Pero si deseamos calcular los volúmenes correctamente, necesitaremos aplicar otro algoritmo de cálculo:

$$V = D/6 (S_1 + 4S_m + S_2)$$

Donde D es la distancia entre las dos secciones que sirven de base al prismaoide,  $S_1$  y  $S_2$  las correspondientes áreas de las bases, y  $S_m$  la superficie de la sección equidistante de las bases.

" $S_m$ ", no se calcula haciendo la semisuma de las áreas extremas, sino que es el promedio de las dimensiones homólogas de las bases.

Veamos el ejemplo antes visto:



$$100/6 \cdot (900 + 4(15 \times 15) + 0) = 30000 \text{ m}^3$$

Realicemos ahora un ejemplo comparativo.

Media de las áreas

$$S_1 = 300 \text{ m}^2$$

$$S_m = 1/2 (S_1 + S_2)$$

$$S_m = 137.50 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 75 \text{ m}^2$$

$$V = 187.50 \times 50 = 9375 \text{ m}^3$$

Prismaoide

$$S_1 = 300 \text{ m}^2$$

$$1/2 (-10,10) + ( -5,5) = (-7.5, 7.5)$$

$$1/2 ( 10,10) + ( 5,5) = ( 7.5, 7.5)$$

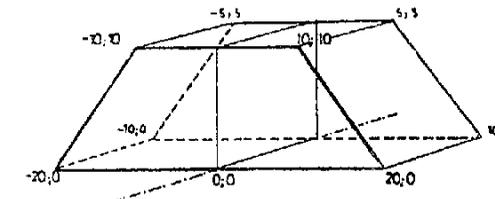
$$1/2 (-20,0) + ( -10,0) = (-15, 0)$$

$$1/2 ( 20,0) + ( 10,0) = ( 15, 0)$$

$$S_m = 168.75 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 75 \text{ m}^2$$

$$V = 50/6 \times (300 + 675 + 75) = 8750 \text{ m}^3$$

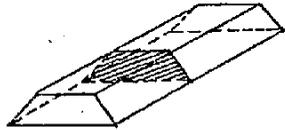


Los resultados que se obtienen aplicando el algoritmo de la media de las áreas siempre son mayores que los reales.

Podemos mencionar otro método que en ocasiones se aplica, el llamado área media, pero sólo lo recomendaremos como método expeditivo.

Consiste en suponer que la variación entre las bases del prismaoide es uniforme, de tal forma que si en lugar de relevar y calcular las secciones de las bases y luego

la sección media equivalente, podemos sólo relevar y calcular la sección que se encuentra en la mitad de la distancia que separa las bases y asimilarla.



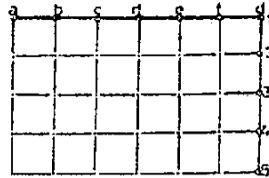
En ese caso  $d1 = d2 = D/2$

$V = D \cdot Si$

### CALCULO DEL VOLUMEN EN LAS OBRAS DE DESARROLLO SUPERFICIAL

#### a) Método de la cuadrícula

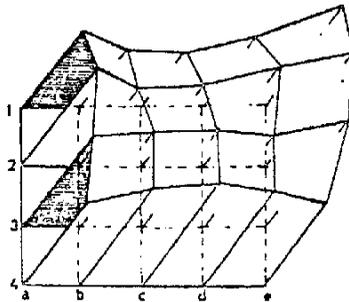
Cuando desarrollamos los métodos de relevamiento, explicamos que éste era uno de los métodos frecuentemente empleado. Consiste en materializar en el terreno una red cuadrada de puntos, luego, mediante nivelación geométrica se acotan los vértices de la malla.



Una vez finalizadas las tareas del movimiento de suelos, se repone la malla original y se toman nuevamente las cotas de los vértices.

El cálculo de los volúmenes movidos, pueden ser calculados de dos formas diferentes:

a1) Tomando cada una de las alineaciones en un sentido como si fueran perfiles transversales (perfilometría), y aplicamos la media de las áreas donde la distancia que separa las secciones será el ancho de la cuadrícula.



a2) Otra manera de resolver el problema es calculando para cada vértice la diferencia de altura entre el levantamiento último y el previo, luego calculamos el volumen de cada prisma, haciendo el producto de la superficie del cuadrado por el promedio de las cuatro alturas.

$$Vi = S \cdot h_i$$

$$S = l^2$$

Si en una excavación aparecen distintos tipos de suelos, según vimos en la clasificación de suelos, por ejemplo excavación común y excavación en roca; éstos deben calcularse por separado pues los valores unitarios son diferentes. De tal manera, que al finalizar las tareas de excavación del suelo común, será necesario efectuar un nuevo replanteo de la cuadrícula y nuevo levantamiento de niveles.

#### b. Método a partir de curvas de nivel

Cuando el área a medir y computar es muy extensa o son grandes los movimientos de suelos, el método de la cuadrícula resulta lento, pesado, incómodo y algunas veces es imposible aplicarlo.

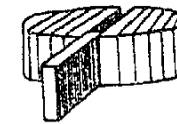
De tal manera que en estos casos puede realizarse el levantamiento previo mediante una taquimetría, y el levantamiento posterior al movimiento, con una nueva taquimetría, complementándolas mediante perfiles en las excavaciones o con nivelaciones geométricas relevando aquellos puntos que quedan ocultos al levantamiento polar.

Así vamos a obtener dos láminas, una con curvas de nivel, resultado de la nivelación del terreno natural y otra, con las curvas de nivel resultante del levantamiento final. Ambas láminas, si se las superpone, tendrán sectores donde coinciden las curvas, que serán aquellos lugares donde el suelo no fue movido.

Hay dos criterios que podemos utilizar, para obtener el volumen movido.

##### b.1. Perfilometría (Cortando en rebanadas)

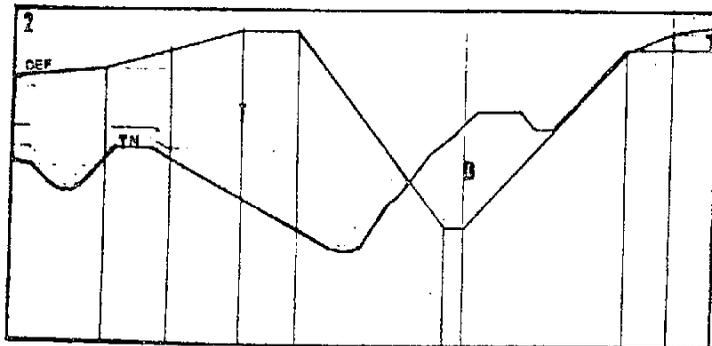
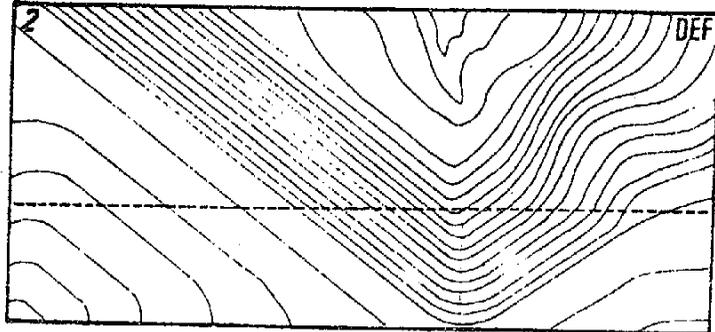
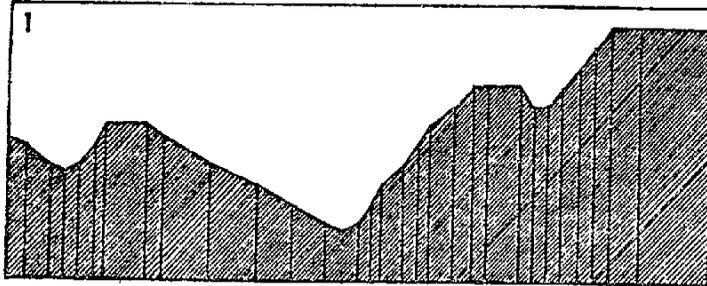
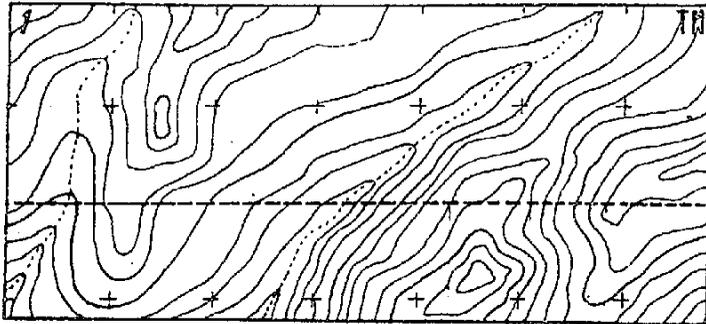
Si interceptamos el terreno con un plano vertical, obtendremos un perfil del suelo.



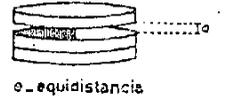
Dicho de otra forma, si cortamos el modelo del terreno (plano c/curvas de nivel), con un plano vertical, cuya proyección en el plano será una recta, obtendremos también un perfil, el cual será la imagen del perfil real.

Luego hacemos lo mismo en la otra lámina, por igual progresiva, o por iguales puntos, cortamos con un plano vertical. Superponiendo las gráficas de los perfiles obtenidos, estamos casi en iguales condiciones que si los perfiles los hubiésemos obtenidos directamente. Las secciones que así han quedado definidas, las medimos de igual forma que lo visto en perfilometría, y al volumen, lo calculamos por la media de las áreas.

Al ser éste un método gráfico, no tiene sentido medir las secciones con un método de cálculo, conviene emplear el planímetro, a menos que del levantamiento del terreno se pase a la confección de un modelo digital (por ejemplo), en tal caso el resultado de los perfiles será analítico y el cálculo del volumen inmediato.



## 6.2. CURVAS DE NIVEL (Cortando en capas)



Si el método de relevamiento que se empleó fue el de una taquimetría, lo cual trajo como resultado un plano con curvas de nivel, conviene aplicar el mismo método para el cómputo del movimiento de suelos. Es decir, una vez concluido el mismo, realizamos un nuevo levantamiento polar y luego, sobre el plano anterior superponemos las nuevas curvas de nivel resultantes. El próximo paso será calcular el volumen de cada capa, que resultará el encerrado por dos figuras planas paralelas, limitadas por dos curvas de nivel cerradas y cuyas áreas mediremos con un planímetro.

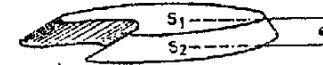
El volumen de este sólido puede calcularse exactamente mediante el algoritmo que llamamos "prismatoide"; o bien, aproximadamente, mediante la "media de las áreas".

### a) Prismatoide:

Esta expresión nos da el volumen encerrado por dos figuras planas paralelas, y una superficie generada por una línea recta que se mueve apoyándose en los dos contornos de las dos figuras.

$$V = \frac{e}{6} (S_1 + 4S_m + S_2)$$

Donde  $S_m$ , es la sección media y  $(e)$  es la equidistancia entre curvas de nivel.



El volumen total, será la suma de todas estas capas.

Las superficies  $S_1$  y  $S_2$ , las medimos con planímetros; desgraciadamente, el área de la sección media no puede calcularse, ni medirse de ninguna forma.

Un autor, Philip Kissan, nos propone para resolver el problema, el siguiente modelo: Dice que podemos efectuar una muy buena aproximación, suponiendo que las áreas limitadas por curvas de nivel adyacentes son figuras semejantes, por lo tanto la sección será semejante a ambas. Las dimensiones lineales de la sección media, será igual a la media de las bases...y como las dimensiones lineales de las figuras semejantes son proporcionales a las raíces cuadradas de las áreas de esas figuras, será:

$$\sqrt{S_m} = \frac{\sqrt{S_1} + \sqrt{S_2}}{2}$$

$$S_m = \frac{S_1 + 2\sqrt{S_1 \cdot S_2} + S_2}{4}$$

Sustituyendo en la primera expresión:

$$V = \frac{e}{6} (S_1 + 4S_2 + 2\sqrt{S_1 \cdot S_2} + S_2 + S_2)$$

$$V = \frac{e}{3} (S_1 + \sqrt{S_1 \cdot S_2} + S_2)$$

Quando el cálculo se hace mediante una calculadora programable, no es problema calcular cada capa sólida y finalmente efectuar la sumatoria de las capas. Cuando el cálculo se hace manual puede simplificarse de la siguiente forma:

Al sumar todas las capas, lo que hacemos es sumar dos veces cada una de las áreas, a excepción de la primera y última capa. Luego podemos sumar la sección de cada una de ellas más la superficie de la primera y última. Finalmente multiplicamos el resultado por dos, sumando luego la sumatoria de las áreas medias.

$$\frac{S_1 + S_2 + \dots + S_{n-1} + S_n}{2} = \sum Si$$

$$\sum S1 + S2 = 2 \sum Si$$

$$+ \frac{2\sqrt{S1 \cdot S2}}$$

$$V = \sum (Si + \sqrt{S1 \cdot S2} + S2) \cdot \frac{e}{3}$$

b)

Otro autor, propone emplear la integral de Simpson:

cuya expresión sería:  $2n \int_0^1 f(x) \cdot dx$

De la cual deduce el siguiente algoritmo:

$$\frac{1}{3} e \cdot (S_0 + 4S1 + 2S2 + 4S3 + 2S4 + \dots + 2S_{n-2} + 4S_{n-1} + S_{2n})$$

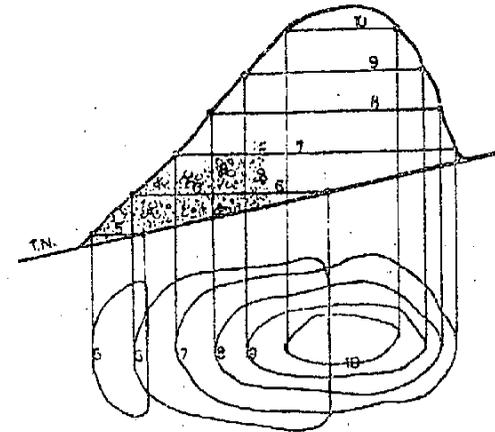
c)

Si deseamos calcular el volumen de forma aproximada, podemos aplicar la expresión ya conocida de la "media de las áreas", donde directamente el volumen del sólido, será la semi-suma de las áreas extremas, multiplicada por la equidistancia.

$$V = e \cdot \frac{(S1 + S2 + S3 + \dots + S_{n-1} + S_n)}{2}$$

Métodos de medición:

Quando el volumen a medir, sea por ejemplo el de un acopio de áridos, aplicamos el criterio de medir directamente por cada una de las curvas de nivel, debido a la sencillez de las figuras resultantes. Teniendo presente, que las últimas capas, aquellas que están en contacto con el terreno natural, toman la forma de cuñas.

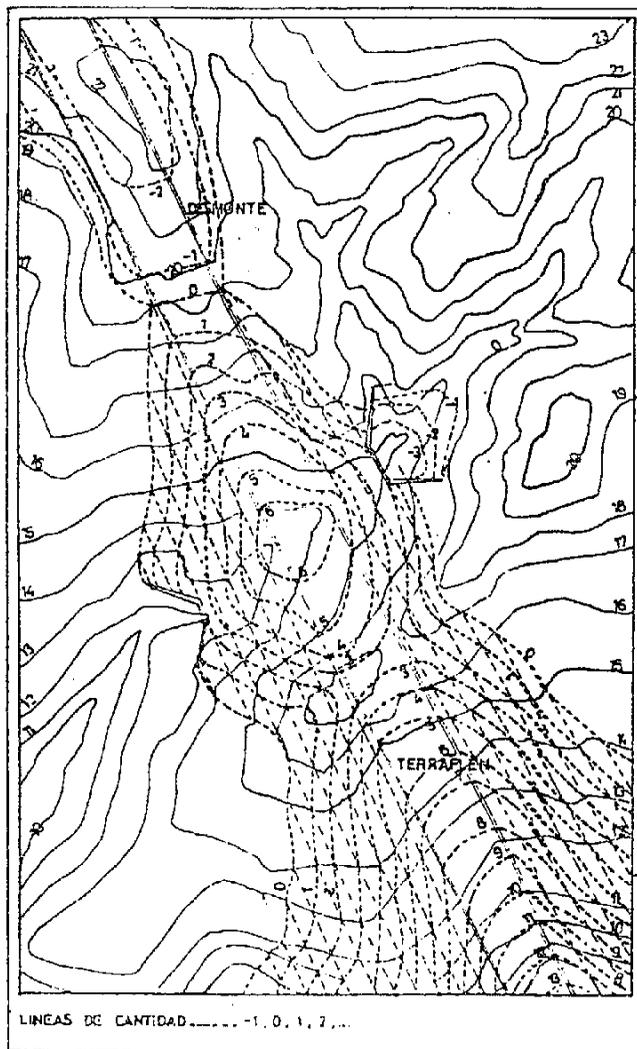


Encambio, cuando se trata de computar el movimiento de suelos de una obra, para una mayor interpretación y facilidad en la medición; es conveniente aplicar otra forma de resolver el problema:

- Sobre el plano topográfico original, dibujamos las curvas de nivel resultante del movimiento de suelos, con igual equidistancia y con otro color u otro trazo.
- Se traza la línea límite de los taludes, uniendo los puntos que son intersección de dos curvas de nivel de igual cota. Luego continuamos uniendo los puntos de intersección de curvas que se cortan a igual distancia que un múltiplo entero de la equidistancia, e, 2e, 3e, etc.

Estas nuevas líneas que van surgiendo se llaman "LINEAS DE CANTIDAD".

Por último, se recorre con el planímetro el contorno de las superficies cerradas por las líneas de cantidad, y el volumen, se calcula aplicando cualquiera, o la que mejor se adapte, de todas las expresiones de cálculo antes vistas.



## III. MEDICIONES POSTERIORES

### III.1 PLANOS CONFORME A OBRAS

**A** medida que la obra va avanzando, se pueden producir cambios que no estaban contemplados en el proyecto original, debido a errores causados por un cálculo deficiente, o en lo que a nosotros respecta, a un error en el relevamiento o en la geometría del proyecto.

Estas modificaciones se van realizando simultáneamente con el avance de la obra y por lógica se corrigen y se deben dibujar nuevamente los planos correspondientes.

Los planos que surgen de esta manera reciben el nombre de **Planos conforme a obras**.

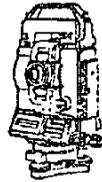
Al finalizar los trabajos de la construcción, los pliegos contemplan las formas y los requisitos que los contratistas deben cumplir, a los fines que el Comitente efectúe la recepción de la obra. Una de esas condiciones es que se presentan todos los planos conformes, incluso aquéllos que no sufrieron modificaciones ni correcciones, avalando que los planos presentados corresponden exactamente a la obra realmente ejecutada.

Cada pliego, en cada caso especifica la forma, el material, las dimensiones y la cantidad de los planos conformes, a elaborar y presentar.

La tarea del Agrimensor, será la de verificar la correspondencia entre las obras existentes a las cuales hay que acceder y los planos del proyecto; tema éste que ya se mencionó en "relevamientos", antes de comenzar con la ejecución de los trabajos.

En la generalidad de los casos, es muy difícil poder previamente, detectar y evaluar todas las diferencias que pueden plantearse a lo largo de una obra; así es que a

a medida los topógrafos vayan efectuando los replanteos, habrá que ir analizando los problemas que se presentan, realizando relevamientos parciales, corrigiendo o modificando los proyectos geométricos, haciendo modificar en consecuencia el cálculo estructural a quien corresponda, y dejando constancia de estos cambios en actas, Notas de Pedido, o bien haciendo elaborar directamente los planos conformes a obras.



### III.2 CATASTRO DE CONDUCTOS SUBTERRANEOS

Los planos conformes a obra, en especial aquéllos que definen la posición planimétrica de la obra, deberían estar vinculados a un sistema general único de coordenadas. De tal forma, que si con posterioridad se desea realizar otra obra que empalme o interfiera con la existente, pueda proyectarse sin necesidad de relevarla.

Efectuar un levantamiento de una obra, o de obras que se desarrollan sobre la superficie implica un costo innecesario, pero puede realizarse sin mayores problemas. Pero no ocurre lo mismo con las obras que están ocultas a la vista, es decir las obras que se ejecutan bajo el nivel del piso y luego quedan tapadas. Como por ejemplo los túneles para trenes subterráneos; los conductos cloacales, de desagües pluviales, de agua, de electricidad, de gas, de teléfonos, etc..

A todo este conjunto de obras los llamamos **Conductos Subterráneos**.

En nuestro país, cada vez que una empresa constructora encara una Obra Pública y en especial aquéllas de desarrollo lineal, debe ocuparse y preocuparse en primer lugar, de identificar los posibles conductos subterráneos que pudieren existir e interferir con la obra y luego, determinar la correcta posición de los mismos.

Esto debe hacerse para evitar que durante las excavaciones realizadas para las fundaciones o los desmontes, se produzcan roturas de los mismos, o lo que es peor que suceda un accidente, ya que no es sólo una hipótesis; hoy es demasiada larga la nómina de accidentes fatales ocurridos, debido al desconocimiento de la existencia de un gasoducto o un electroducto. También es necesario aclarar el perjuicio y el alto costo que debe pagar el Estado por el cambio parcial o total de un proyecto, o el costo de las reparaciones de la averías (imaginemos el corte de un cable coaxial), o el aumento de los costos por trabajo improductivo, debiendo esperar la contratista hasta que el Estado licite y adjudique el traslado del conducto subterráneo.

Todo esto podría solucionarse si existiese un catastro de ductos subterráneos con un sólo Ente Oficial que reúna toda la información existente, en especial los planos conformes a obras, y los compile en un sólo plano.

Este catastro sería de muy fácil actualización, pues una vez ejecutada una obra

cualquiera de conductos, una copia de cada plano conforme sería enviada a este Organismo coordinador, quien asentaría dicha información, manual o digitalmente con un ordenador, sobre la plancha catastral.

Pero esto sólo ocurre por ahora en los países desarrollados, aquí en cambio cada repartición es totalmente independiente, los planos conformes a obras muchas veces no reflejan la realidad, las entidades oficiales no los archiva como corresponde y muchas veces se pierde la información. Además, ocurre que con algunas entidades, que por ser nacionales, envían la documentación a la Capital donde se archiva.

Sin embargo podemos imaginarnos que en un día no muy lejano, se tomará conciencia de la necesidad de crear un Catastro de conductos, y en tal caso deberíamos seguir los siguientes pasos:

1. Creación si no lo hubiere, de un Sistema de Coordenadas que encierre la zona de trabajo, en el municipio, región o provincia respectiva.
2. Igual procedimiento, para una red de nivelación.
3. Densificación del Sistema de Apoyo.
4. Medición y cálculo de redes poligonales, atadas al Sistema General.
5. Nivelación de los vértices de la poligonal.

Cada uno de los pasos enunciados incluye la correcta acotación de errores, deducidas a partir de las tolerancias que nos impongamos lograr en el resultado final.

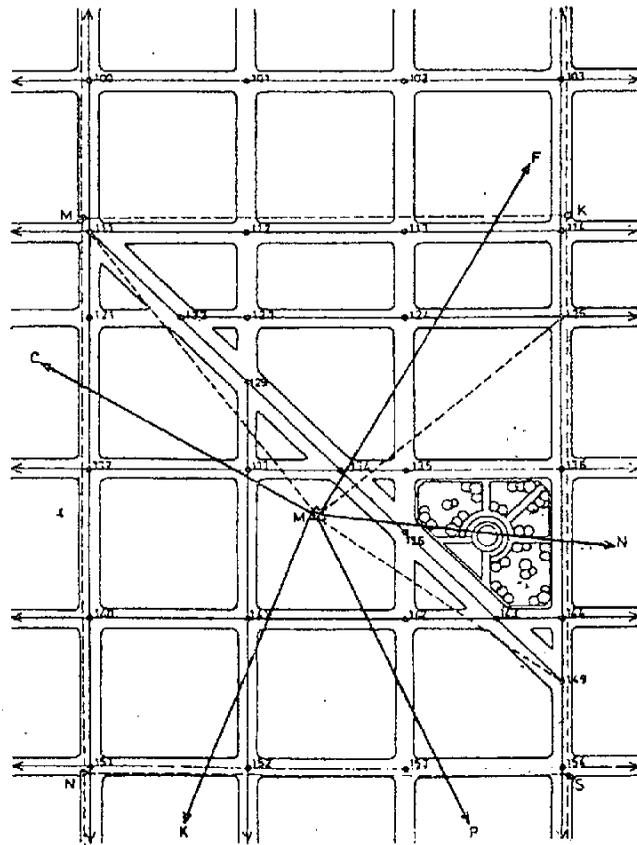
6. Identificación de las construcciones visibles de los conductos subterráneos y posterior croquizado de los mismos; Bocas de Registro, semáforos, válvulas esclusas, bocas de tormenta, hidrantes, cámaras, etc.
7. Relevamiento de los mismos.
8. Sondeos y levantamientos de los conductos, cuando no hubiere signos visibles o porque los mismos fueron tapados o destruidos.
9. Conjuntamente con el levantamiento de los servicios, se realiza el relevamiento de líneas de edificación, cordones de veredas, ochavas, alambrados, etc.
10. Compilación de la información existente, planos conformes de cada obra y las especificaciones técnicas constructivas; ubicación respecto al eje de calzada, de la línea de edificación o cordón de vereda; tapada mínima, diámetro de los ductos, etc.
11. Elección de las escalas, de la carta general de servicios, de las planchas de detalles y de las secciones transversales o cortes. Dependiendo ésta elección de la densificación de servicios que exista en cada área, de los diámetros de los ductos y de las distancias entre ellos y su importancia.

Con todo lo anterior logrado, realizamos la confección y dibujo de las planchas catastrales. Este resultado, será sólo una primera aproximación, pues entre dos bocas de registro relevadas suponemos que el conducto es recto y de pendiente uniforme. Es una aproximación, ya que sabemos que en la realidad puede ocurrir que existan quiebres en la tubería, e incluso puede ser que haya otra boca intermedia que no fue detectada por encontrarse tapada por una repavimentación de la calzada.

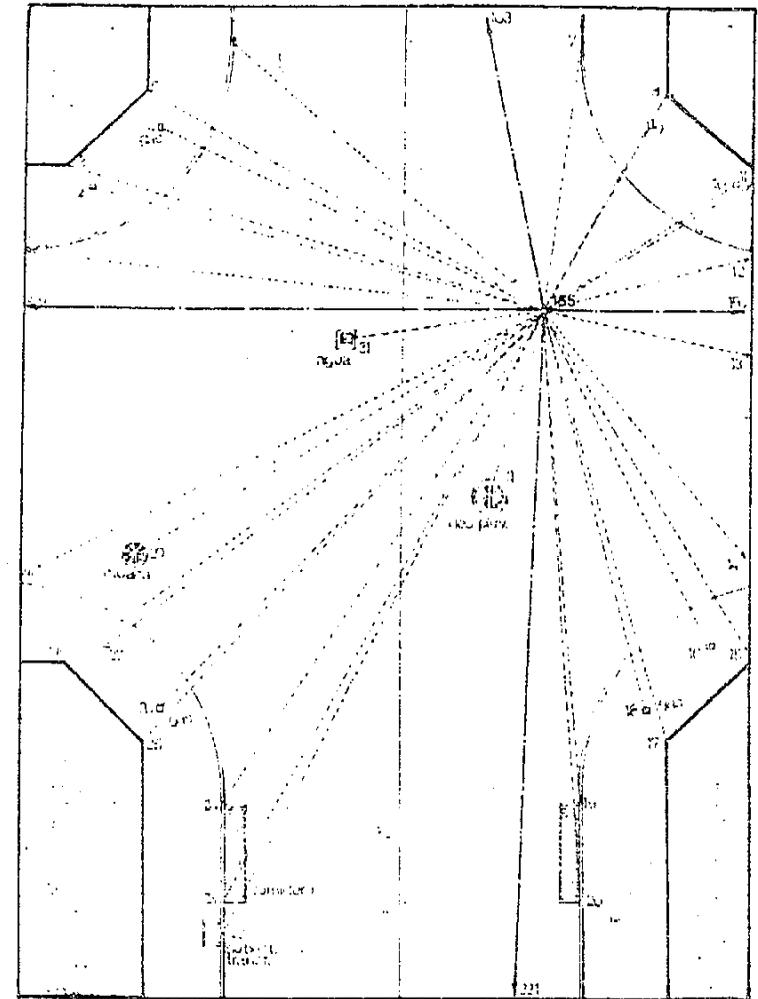
Por lo tanto, es fundamental la creación de un Ente que asuma la responsabilidad de mantener el catastro permanentemente actualizado controlando a los constructores en la etapa de elaboración de los planos conformes y obligando a los mismos a vincularlo al Sistema General. Como así también, solicitar que se incluya correctos levantamientos de las obras (interferencias), que se encuentran durante la ejecución de la misma, para la corrección de la información antes volcada.

Es importante destacar que para la determinación de la posición de un ducto, no puede hacerse gráficamente sino en forma analítica, por tal razón, en la determinación de las tolerancias, no debe partirse de la tolerancia gráfica sino que debe hacerse un estudio para cada caso, teniendo en cuenta el tipo de obra, su importancia, diámetro, exigencias oficiales, cantidad y separación entre servicios, etc.

El archivo de los datos obtenidos del relevamiento, sumados a los antecedentes, pueden ser volcados en un banco de datos, y en lugar de confeccionar la plancha de forma manual y realizar el dibujo del resultado, puede automatizarse totalmente obteniendo la plancha directamente en un plotter del computador. Trabajando de esta forma es muy simple su actualización y al comenzar el proyecto de una nueva obra, con sólo introducir las coordenadas de un punto y la dirección del eje del ducto, se obtendrían inmediatamente todas las interferencias, expresadas en coordenadas X,Y,Z, con las otras rectas, representativas de los ejes de las obras catastradas.



- ① ② ③ ④ ⑤



- ⑥ ⑦ ⑧ ⑨

### III.3 AUSCULTACION DE OBRAS DE INGENIERIA

La medición y el registro de las más pequeñas desviaciones en las obras de ingeniería adquiere cada vez mayor importancia. Estas desviaciones debidas a deformaciones de las grandes construcciones pueden ser producidas por múltiples causas, unas de origen externo, tales como la geología del terreno donde se asienta la obra, empuje del agua en los embalses, etc., y otras de origen interno, propias de la forma, elasticidad y calidad de los materiales con los que ha sido construida.

Estas deformaciones pueden afectar la estabilidad y por lo tanto la seguridad de la obra, es por ello que es preciso medir esos movimientos y determinar sus magnitudes, para compararlos con las tolerancias preestablecidas en los cálculos del proyecto y saber si están dentro del margen de seguridad.

En algunas obras de ingeniería, es necesario establecer un control periódico y permanente de observaciones, sobre todo en aquellas que están expuestas a grandes tensiones. Tales como: las estructuras de hormigón sobre las que se asientan grandes equipos como son los generadores termo-eléctricos, turbo grupos, turbinas, etc.; tribunas en voladizos sometidas a intensa carga dinámica en los estadios; los grandes silos acopiadores de granos en las zonas portuarias, afectadas permanentemente por el peso de la carga; las pantallas de hormigón de las presas, sometidas al empuje de las aguas; los rieles de un ferrocarril urbano; un puente carretero que atraviesa un río caudaloso; etc.

La planificación de los sistemas de apoyo, las mediciones topográficas y geodésicas periódicas, la compensación del sistema y el cálculo de los movimientos producidos durante un transcurso de tiempo, forman todo un conjunto llamado: AUSCULTACION DE OBRAS DE INGENIERIA.

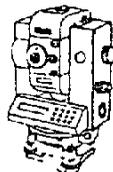
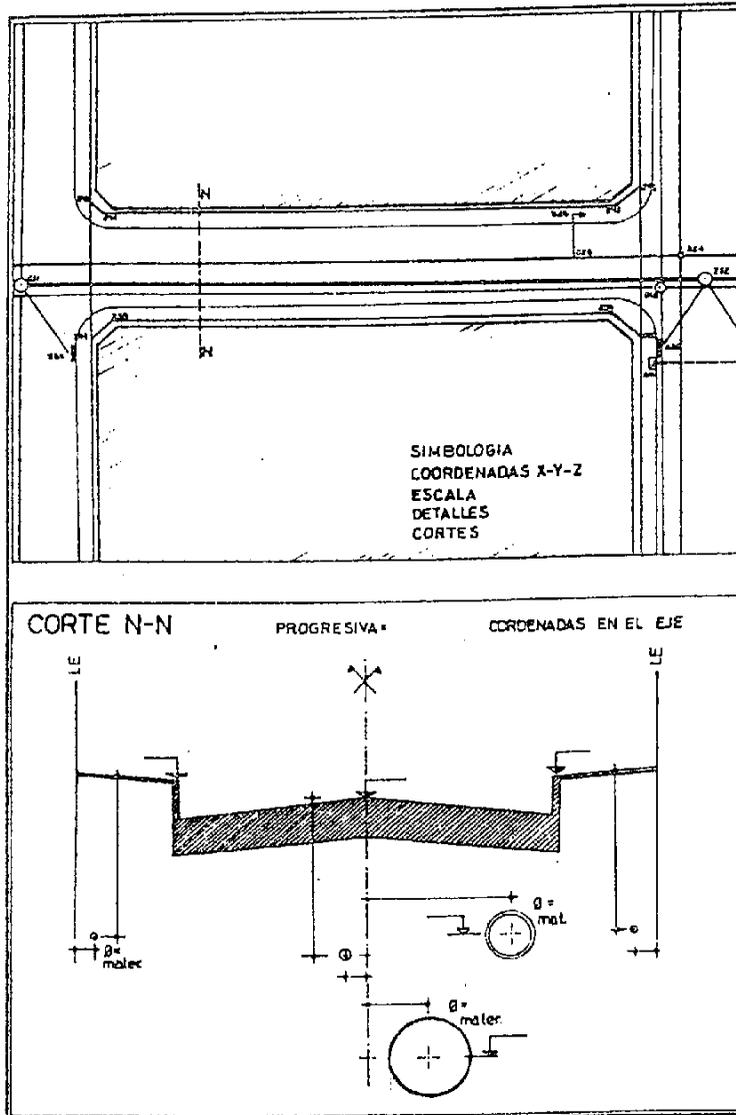
A los métodos de medición, la gran mayoría de ellos geodésicos, se suman los métodos físicos que se hacen a través de una serie de aparatos que se dejan incorporados a la estructura para medir asentamientos internos, o las filtraciones y tensiones en el caso de los diques. La mayoría de ellos conocidos con el nombre de sensores remotos, pues el instrumento está colocado dentro de la estructura, pero las mediciones se efectúan y se registran en una oficina ubicada lejos de la obra, transferidas las mismas a través de pulsos eléctricos.

#### Los movimientos a medir

En general se busca determinar los desplazamientos de una serie de puntos perfectamente determinados de antemano, cuya posición se conoce, como asimismo cuantificar su valor, dirección y sentido.

El estudio se refiere a dos movimientos claramente diferenciados y con exactitudes a veces distintas también.

Uno es el movimiento relativo entre dichos puntos y el otro es el movimiento del conjunto respecto al sistema de referencia. Nos interesa entonces determinar los incrementos producidos ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  y  $\Delta Z$ ); los dos desplazamientos horizontales están referidos a los ejes principales de la obra, longitudinal y transversal. En el caso de las presas de arco o puentes curvos interesa conocer las componentes radiales y tangenciales.



El tercer movimiento ( $\Delta Z$ ) está referido normalmente a una cota "0" (cero) predefinida o bien a una cota origen referida al nivel del mar.

En la obra, deberán materializarse dos redes de puntos fijos; a saber:

A) Una red que denominaremos red control, la cual no debe participar en el fenómeno que se pretende estudiar, es decir, será una red cuyos puntos estén ubicados en lugares donde se garantice su estabilidad, suelos compactos, prácticamente incomprensibles.

El establecimiento de esta red, de hecho, encarece los trabajos, puesto que hay que extenderse a áreas muchos más amplias que las estrictamente necesarias para el estudio en sí. Y por otra parte, este conjunto de puntos estables de referencia exige construcciones apropiadas tales como pilares de hormigón, cuya fundación suele ser costosa para asegurar su inmovilidad, pues no debe olvidarse que en la compensación, las coordenadas de estos puntos serán consideradas fijas.

B) Una segunda red, que llamaremos red de testigos, que es la que nos va a permitir conocer el valor de los posibles movimientos; son puntos que van a quedar fijamente unidos a la estructura que se quiere estudiar y que se van colocando a medida que la obra se va construyendo.

En algunos casos, pueden ser colocados una vez terminados los trabajos de obra, como es el caso de las bases de los silos, o las bases de los puentes. Pero en otros casos esto no es posible, como por ejemplo: cuando se quiere medir el movimiento de excentricidad de un eje mecánico, éste se transmite al exterior a través de un testigo, que pasa por un ducto el cual se dejó inserto en la estructura de hormigón, o cuando se desea medir las flexiones de una viga inaccesible, o bien las pantallas de los diques, etc.

El proceso de auscultación, pasa por tres etapas:

- 1º Planificación de la red de control y acotación de errores.
- 2º Medición y cálculo de compensación de la red de control.
- 3º Mediciones periódicas para la determinación de los movimientos.

### III.3a PLANIFICACION DE LA RED DE CONTROL - ACOTACION DE ERRORES - INSTRUMENTAL

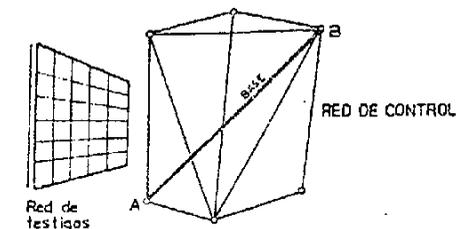
Al determinarse el incremento a que está afectado un punto por diferencia de dos observaciones sucesivas, es necesario pasarlo por dos tamices, para poder aseverar con absoluta seguridad, cual es el valor de la deformación. Debemos limpiar el resultado, despejándolo de la incidencia del error de medición y del error del sistema.

Por ello debe planificarse: el sistema de apoyo, el instrumental a utilizar y los métodos de medición. Así por ejemplo, sería inútil emplear un distanciómetro de exactitud  $\pm 5\text{mm}$ , cuando los movimientos a detectar son del orden del mm.

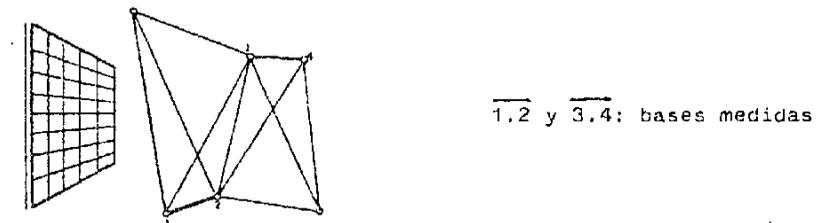
Es muy importante determinar la configuración, o la forma de la red de control, para ello hay que precisar qué tipo de observaciones se va hacer. En el estudio planimétrico, se harán observaciones angulares, de distancias o ambas combinadas.

Cuando los lados son pequeños, se obtiene una mayor exactitud con observaciones angulares que empleando medidas electrónicas de distancia, salvo que, se disponga de

un taquímetro especializado como es el caso del Kern ME 3000, cuya precisión es de  $\pm 0.2\text{mm} + 1\text{mm}/\text{km}$ , si no es así, conviene medir una base de distancia larga y reducir la base mediante observaciones angulares.



Si por el contrario, se dispone de un alambre de invar, como es el caso del DISTOMETER ISETH de Kern, este instrumento está equipado de un alambre de invar a tensión constante y de un reloj medidor de longitudes (la precisión que puede alcanzarse es de  $\pm 0.03\text{mm}$ ), conviene medir bases cortas y luego ampliar la base mediante observaciones angulares.



Cuando la red de control, es de dimensiones reducidas, como es el caso del control de bases de equipos pesados, no hay otra alternativa más que el empleo de mediciones utilizando el alambre de invar, o bien mediciones indirectas empleando la estadía de de invar o mira bala.

En la medición para la determinación de las coordenadas de los puntos de la red de testigos, generalmente utilizamos observaciones angulares, empleando el método de biscción, puesto que, aunque se dispusiera de un taquímetro ME 3000 (Mekometer) la gran mayoría de los puntos de control son inaccesibles, imposible llegar a ellos para estacionar un prisma, es decir que, aunque el sistema de control se mida con este aparato, las observaciones a la red de testigos serán angulares. Es por ello que indefectiblemente se deberá contar con un teodolito geodésico, similar al T3 de la casa Wild, aparato de precisión que nos permite apreciar la décima de segundos. Actualmente están apareciendo en el mercado, taquímetros electrónicos equipados con rayo laser que permiten determinar la distancia a un objeto sin necesidad de colocar un prisma de reflexión, sin embargo las exactitudes que se consiguen son inadecuadas para este tipo de estudio.

Por ejemplo el distanciómetro FENNEL 250, mide hasta los 100m con una precisión de  $\pm 1\text{cm}$ , y a los 250m (distancia máxima)  $\pm 10\text{cm}$ .

Para determinar la tercera coordenada  $Z + \Delta Z$ , hay que considerar otro tipo de observaciones, estas pueden ser de dos tipos, nivelación geométrica y nivelación trigonométrica. La segunda sólo puede ser considerada para este tipo de estudio en contadas ocasiones, cuando los lados son pequeños y las tolerancias altimétricas sean del orden del cm. Generalmente debemos emplear la nivelación geométrica, para ello debemos disponer de un nivel de alta precisión como es el Wild N3, donde en el micrómetro óptico se leen los valores hasta 0.1mm y se puede estimar el centésimo, ello es posible ya que el altímetro tiene incorporado un sistema de placas planoparalelas, la retícula con trazo horizontal y trazos cuneiformes posibilitan visar exactamente señales de puntería y trazos de graduación de las miras de invar, siendo la sensibilidad del nivel tubular de 10"/2mm con microscopio de coincidencia para el calado de la burbuja. El aumento del anteojo es variable con la distancia, es decir produce un efecto ZOOM, acercando las imágenes a medida que la distancia aumenta, así por ejemplo, para una visual de 2m, el aumento es 21X, en cambio para una distancia de 100m,  $V = 46X$ .

El equipo debe completarse con 2 miras de invar, las cuales según el tipo de obra pueden variar desde 10cm. hasta los 3m. Generalmente en las galerías de inspección de las presas y en túneles se emplean miras de 1 ó 2m de longitud.

#### ESTUDIO DEL DISEÑO

Antes de proceder a la materialización en el terreno de los pilares y señales de puntería, y de establecer la técnica de observación, es preciso efectuar una correcta acotación de errores, o sea asegurarse fehacientemente que el diseño de la red y los métodos de observación van a cubrir la totalidad de los requisitos establecidos. Este estudio no es sencillo y requiere de técnicas de simulación para dar una buena respuesta.

La simulación mediante un ordenador, permite predeterminar las exactitudes que se van a obtener en las coordenadas a partir de una configuración dada.

A partir de un diseño gráfico, hecho sobre una carta, obteniendo a escala las medidas de los lados y ángulos, se puede conocer, antes de efectuar cualquier trabajo de campo, los pesos con los que se deberán hacer las mediciones desde cada estación, para que el resultado final esté dentro de la tolerancia fijada.

De esta forma, podemos probar distintas alternativas, diversos modelos geométricos, hasta lograr optimizar la red, que será cuando obtengamos la menor elipse de error en cada punto, con la menor cantidad de trabajo de campo.

Una vez establecido el diseño definitivo, de la red, puede procederse con pasos firmes a la señalización y medición de la misma.

#### III.3b MEDICION Y CALCULO DE COMPENSACION DE LA RED DE CONTROL

Al efectuar la acotación de errores, dejamos de lado los errores de centración y de puntería. Estos deben ser eliminados, ya que no se pueden introducir en la compen-

sación de las observaciones, puesto que serían errores groseros. Para ese fin, los instrumentos se centran sobre pilares de hormigón, con placa metálica de centrado forzoso o bien con bolillas de acero insertos en los mismos. Las señales de puntería también se dejan empotradas en pilares de hormigón, asegurando su inmovilidad y para que la visual sea exactamente la misma entre observación y observación.

De la acotación de errores surgirá el método de medición a aplicar y la cantidad de series y giros en cada caso.

De más está recordar, que en la medición deberán aplicarse todas las reglas dictadas por la Geodesia, además de evitar los grandes saltos térmicos, emplear iluminación artificial en las señales de puntería, iluminación interna en los dispositivos de lectura y sombrilla en la estación. Toda precaución será poca para conseguir resultados tan ajustados como los que se buscan.

Finalizadas las observaciones, que siempre superarán a las necesarias; se procede al cálculo en conjunto del sistema, determinando para cada vértice su coordenada X e Y compensada, y los errores del sistema  $dX$  y  $dY$  de cada punto, los cuales deberán estar por debajo de los movimientos a determinar.

#### III.3c MEDICIONES PERIODICAS PARA LA DETERMINACION DE LOS INCREMENTOS

Cada obra en particular y las condiciones fijadas en el proyecto, indicarán la cantidad y la periodicidad de las observaciones. A manera de ejemplo, en la auscultación de centrales térmicas, las observaciones de deformaciones (asientos, inclinaciones, inflexiones, flexiones, etc.) de las construcciones, se realizan:

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| a) Durante el período de construcción | a.1) Apenas terminado el hormigón.             |
|                                       | a.2) Antes de montar el equipo.                |
| b) Durante la explotación             | b.1) Luego de montar el equipo.                |
|                                       | b.2) Luego de la primera puesta en marcha.     |
|                                       | b.3) Después de cada parada durante dos meses. |
|                                       | b.4) Al año y a los tres años de explotación.  |

En cambio en las presas de hormigón, las observaciones se realizan dos veces al año, coincidiendo con el máximo y mínimo volumen de embalse, y con las máximas y mínimas temperaturas ambiente.

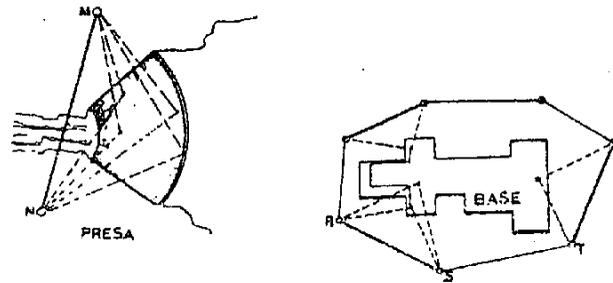
#### METODOS - Bisección

Este método es el que se aplica con mayor frecuencia debido a que la red de testigos suelen ser puntos inaccesibles a la medición directa. El método es el mismo para cualquier caso que se presente, no lo vamos a reiterar, pues ya ha sido expuesto en relevamiento y replanteos.

Sólo cambia la posición y la cantidad de puntos a observar; por ejemplo, si se trata de la pantalla de una presa, con sólo dos puntos de la red de control, visualmente dominante, es suficiente para levantar los 30 ó 40 puntos de la red de testigos. En cambio, si se trata de un puente carretero, seguramente necesitaremos dos o más bases a cada lado del eje.

Si se tratara del control de la base de una máquina, se necesitarán varias bases de observación, pues de cada una de ellas sólo se levantarán entre 5 y 10 puntos. En todos los casos, se aplicará el método de Bessel o Schreiber, haciendo tantas series como lo haya aconsejado la acotación.

Estos métodos de medición se complementan con otros propios de cada tipo de obra (colimaciones, calibración de juntas, etc.), y los métodos físicos ya mencionados.



### Métodos complementarios

Para medir las deformaciones lineales de índices marcados sobre elementos mecánicos, se ubican éstos sobre una recta, se levantan los dos extremos por el método visto y luego con un alambre de invar se miden los desplazamientos relativos.

En las juntas de dilatación de las construcciones que soportan las grandes máquinas, se colocan dos plaquetas sobre los cuales se trazan dos índices, uno de ellos se mide desde el sistema de control, y el otro con calibre desde el primero.

Debido al espacio reducido de las grandes usinas o fábricas, no siempre pueden materializarse los vértices del sistema de control con pilares de hormigón como en las presas o puentes, es por ello que hay que recurrir a otras formas, tales como pilares metálicos adheridos a la fundación mediante bulones de anclaje, o construcciones metálicas especiales adheridas a las columnas del edificio; en sectores ubicados lo más alejado posible de la influencia de las máquinas, los cuales permanecen fijos durante el período que dure la auscultación.

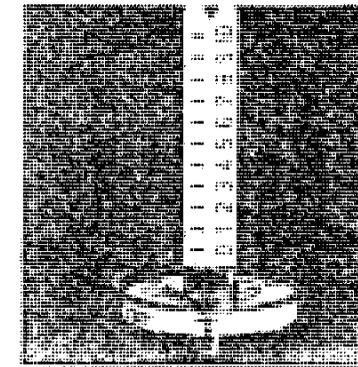
### Colimación de mirillas

Este método, muy empleado en Europa, se aplica principalmente para medir los desplazamientos de ciertos números de puntos alineados y que se sitúan, sobre pilares de puentes, en los pilares del coronamiento de las presas o sobre el eje mecánico de una máquina.

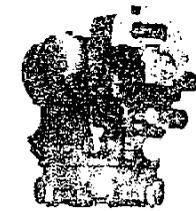
Se materializa un eje con dos pilares en cada extremo, uno para la estación de un teodolito y otro para la señal fija. Los desplazamientos se miden directamente a través de unas mirillas o señales de puntería colocadas originalmente sobre la línea, las cuales se desplazan para ser alineadas nuevamente en cada observación mediante un tornillo de movimientos lentos, tomando lectura sobre una escala fija, al décimo de milímetro. Como siempre, en toda observación, es necesario realizar una serie de lecturas y tomar la media; normalmente, estos puntos (las señales) están ubicadas a



DISTOMETER ISETH



Mira GVI131 para nivelaciones industriales con burbuja para su centrado



TEODOLITO GEODÉSICO



ALÍMETRO CON PLACA PLANOPARALELA

5.7.2 Bulón de contraje con tapa de protección (fig. 30)  
El bulón de contraje está fijado en un pilar de observación. La abertura del bulón permite que la bota de contraje quepa exactamente en éste. Para proteger esta abertura contra influencias del ambiente (suciedad, agua, etc.) hay una tapa protectora que se atornilla firmemente cuando no se usa el bulón con contraje de bota.

5.7.3 Nivel esférico para encajar (fig. 30)  
El nivel esférico para encajar entra exactamente en la abertura del bulón y sirve para la puesta en vertical del bulón de contraje en el hormigón del pilar, todavía blando.

5.7.4 Signo para encajar (fig. 30)  
El signo para encajar cabe exactamente y sin juego en la abertura del bulón de contraje. El signo puede girar en cualquier dirección y sirve así de punto de mira para punterías precisas hasta unos 300 metros. No es necesario proceder a un alineamiento exacto hacia el teodolito.

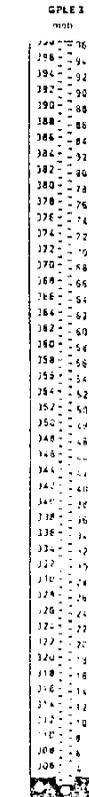


Fig. 30 De izquierda a derecha: bulón de contraje con tapa de protección; nivel para encajar; signo para encajar; bulón señal

5.7.5 Bulón señal (para cimentar edificios, fig. 30)  
El bulón señal queda permanentemente empotrado en el edificio en cuestión o en la roca de construcción. El signo tiene el mismo diseño como es descrito en el 5.7.4. Para más información sobre métodos de determinación en obras de construcción, véase el folleto Th 133a «El método geodésico para la determinación de diques de embalses».

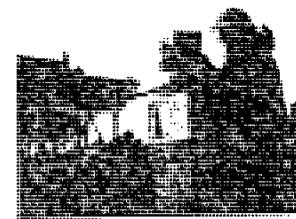
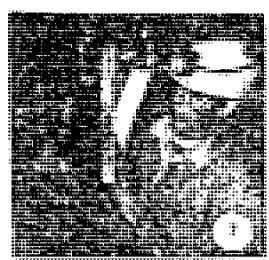
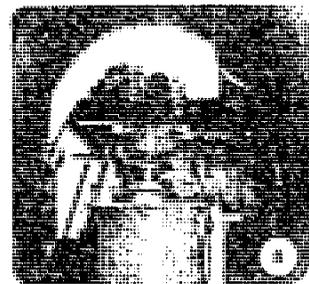
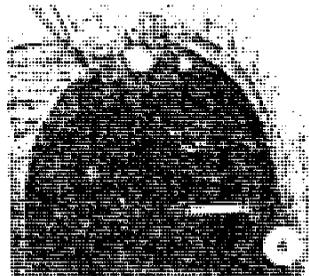
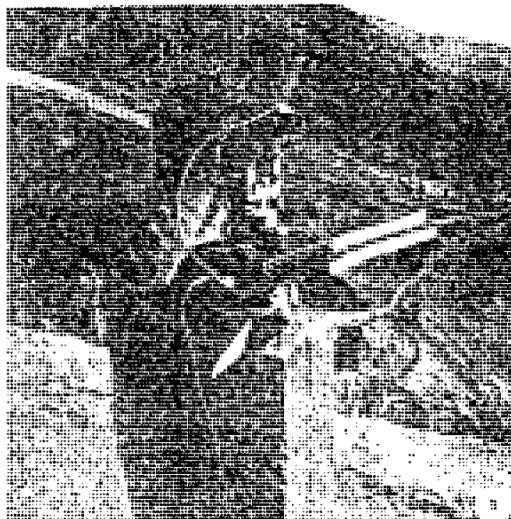


Fig. 29 Base nivelante G114 con bota de contraje y con brandeburgo de protección



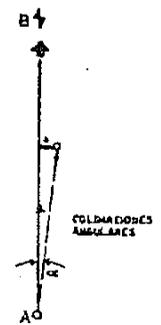
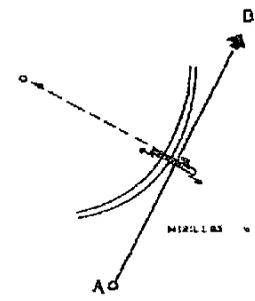
MIRA INVAR

Accuracy	
Resolution	±0.1mm
Stability of instrument constant	±0.1mm
Fractional accuracy	±0.1ppm
Met sensor	±0.5ppm



escasos cms. de los pilares y hay que evitar las visuales rasantes sobre las masas de hormigón para no cometer errores por refracción.

En los casos de las presas de arco, las mirillas se ubican directamente en la dirección en que se desea medir el movimiento, radial.



Colimaciones angulares

En el método anterior observamos que no era necesario hacer mediciones angulares, sino alineaciones. En cambio este otro, utiliza también un eje fijo de referencia, pero en lugar de leer en mirillas móviles, se mide el ángulo formado entre la recta de referencia y la señal que se ha desplazado. Conocidas las distancias entre el teodolito y los puntos, midiendo el ángulo, se calcula el valor del arco. Este método tiene la ventaja que, no necesita, se miden las distancias con elevada exactitud,

$$a = \frac{\alpha \cdot R}{\rho} \quad \therefore \frac{\partial a}{\partial L} = \frac{\alpha \cdot dL}{\rho}$$

$$da = 0.2mm, \quad \alpha = 15'' \Rightarrow dL = \frac{0.2 \times 206265}{15''} = \underline{2.7 \text{ m!}}$$

en cambio sí se requiere de una elevada precisión en la medición angular:

$$\frac{\partial a}{\partial \alpha} = \frac{L \cdot d\alpha}{\rho}; \quad d\alpha = \frac{0.2 \times 206265}{100000} = \underline{0.4''}$$

Dada la sencillez, ahorro de instrumental (las mirillas son muy costosas y también la construcción de las casetas que protege al sistema contra la lluvia y la humedad), y exactitudes, hace que este método vaya desplazando rápidamente al anterior.

Para poder aplicar este método se precisa disponer de un teodolito geodésico y el método de medición será el de efectuar, varias series de reiteraciones.

Poligonales

Cuando ninguno de los métodos anteriores puede aplicarse, recién recurrimos a las

poligonales y es el caso de mediciones en túneles y galerías de inspección.

Para ello se parte de un punto considerado fijo del túnel, o si se trata de una galería, sobre la roca. Estas poligonales siguen la forma del túnel o de la presa, comenzando en un extremo y terminando en el otro; también fuera del túnel (imaginemos que estamos controlando los desplazamientos del túnel subfluvial) o en la roca, si fuese una galería.

En las poligonales, es necesario medir los ángulos y los lados con elevada exactitud, no hay control ya que las poligonales son abiertas. Para la estación del aparato se construyen bases metálicas que van empotradas en las paredes y que se mueven conjuntamente con toda la estructura. Como generalmente los lados son cortos, pueden ser medidos con alambre de invar.

En las galerías de los diques, se dejan insertos en la estructura del hormigón, péndulos y desde dos vértices de la poligonal efectuamos lectura al hilo vertical de los mismos. De esta forma, quedan ligadas las poligonales efectuadas en los distintos niveles de galerías con el sistema de testigos superficial.

Estos hilos son de acero especial, llamados cuerdas de piano, 0,4mm de espesor. Generalmente, uno ó dos de estos hilos se lo reemplaza por otro de invar, de tal manera que sirva de nexo entre la nivelación de la superficie con las interiores (en el caso de galerías), o sirva de paso entre la nivelación de una base en planta baja con otra ubicada en un nivel superior.

Estos hilos se mueven libremente dentro de una vaina que pasa a través de las tongadas de hormigón y que impide que en las galerías, túneles, etc. los mueva el viento, dejando sólo una ventanilla, a través de la cual se realizan las observaciones.

A continuación se detalla esquematización de los siguientes controles:

#### FIGURAS

1. del Sistema de Apoyo de una presa.
2. de la verticalidad de la estructura intermedia de un puente.
3. de las deformaciones de una presa.
4. de movimientos en la galería de una presa.
5. del montaje mecánico.
6. de deformación de un puente. (Ruta 19 -Avenida de Circunvalación de la Ciudad de Córdoba).
7. de un túnel.

# 3

## APLICACION EN OBRAS

# I. CAMINOS

Tal como fue expresado en el Prólogo, nuestra idea original al escribir esta publicación, era la de dividir en tres Capítulos a ésta, donde el tercero de ellos trataría lo expuesto en el Capítulo anteriormente descrito, aplicado a cada tipo de obra en particular, adaptándose a las características propias que ellas le imprimen.

Sin embargo, en esta edición, no fue posible efectuar este desarrollo por lo que nos vemos limitados a tratar solo la primera parte Obras de desarrollo lineal, y dentro del amplio espectro que ésta abarca, el tema Caminos, por considerar que es el más complejo de ellos y que en alguna medida se relaciona con los demás.

## I.1 GENERALIDADES

### I.1a CLASIFICACION

**A** los caminos, podemos clasificarlos desde varios puntos de vista:

I) Por su importancia en la red nacional

- a) Troncales o Primarios: Son las rutas nacionales, o bien las rutas provinciales, que unen polos de desarrollo o ciudades importantes, hacia ellos convergen todos los caminos.

- b) Secundarios: De menor importancia, por lo general no son pavimentados y soportan un tránsito menor que los anteriores.
- c) Terciarios: Son caminos de poco volumen de tránsito. Generalmente unen zonas de producción con los centros poblados. El mantenimiento está a cargo de los consorcios camineros zonales. Su traza responde a polígonos coincidentes con los límites de propiedad.

II) Por el uso o el destino al cual están afectados

- a) Comerciales: El diseño geométrico tiende a lograr el menor costo de transporte a través de obras que permiten condición de operación permanente y óptimas.
- b) De fomento: Su destino es favorecer el desarrollo de una determinada región. Todas las otras variables quedan subordinadas a ésta.
- c) De turismo: El tránsito por estos caminos, está provocado para que el turista pueda observar y disfrutar de las bellezas naturales.
- d) Especiales: Se incluyen aquí todos los caminos, cuyo destino sea acceder a un determinado lugar: hospital, colonia de vacaciones, centro de investigación, etc.

III) Por el volumen de tránsito que soportan

Las normas vigentes de Vialidad Nacional, clasifica los caminos según 6 categorías:

Especial	15.000 v/día
Categoría I	entre 5.000 y 15.000
Categoría II	entre 1.500 y 5.000
Categoría III	entre 500 y 1.500
Categoría IV	entre 150 y 500
Categoría V	menores de 150

De acuerdo a la categoría asignada al camino, se fijarán todos los parámetros del mismo y la función o el destino, será una característica complementaria del diseño.

I.1b VELOCIDAD DIRECTRIZ

De todos los factores que inciden en la concepción geométrica del camino, el factor seguridad, es el de mayor peso. Por ello, todos los elementos del camino, como son: radios de curvas, visibilidad en los cruces, curvas verticales, separación entre calzadas, amplitud de las mismas, ancho de la zona de ocupación, banquetas, peralte, etc.; deben cumplir por sí solos y en conjunto, una serie de condiciones que los hagan compatibles, de modo tal que la seguridad se mantenga a lo largo de todos los puntos de la vía.

El denominador común, es la velocidad que se adoptó como máxima, para ese camino y que se denomina Velocidad Directriz y que se define: "La velocidad máxima a que se puede circular con seguridad, un conductor de habilidad media, manejando un vehículo en condiciones normales...".

I.1c CONTROLES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

Un camino, es una línea que une dos puntos, salvando una serie de obstáculos intermedios. Estos obstáculos tienen una importancia primaria o secundaria, de acuerdo si el trazado debe obligatoriamente pasar o no por determinado punto.

Controles primarios: Estamos obligados a pasar la traza por ellos.

Controles secundarios: Nos permiten elegir entre varias alternativas.

Son controles primarios los centros urbanos de salida y llegada, otra población intermedia que necesitemos unir a la red, un río al cual sólo puede atravesarse por un determinado lugar.

Al atravesar campos, el costo de la indemnización de la zona de ocupación, aparece como controles secundarios.

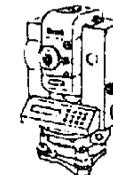
I.1d ZONA DE OCUPACION

Si bien la vida útil de un camino, se calcula en 20 ó 25 años, la vida útil de la zona de ocupación debe ampliarse, pues hay que prever, puedan construirse calzadas adicionales.

El ancho de la zona de ocupación, generalmente es de:

Categoría especial	150m
Categoría I	120m
Categoría II	100m
Categoría III	80m
Categoría IV	60-80m

Quando se dice que debemos conocer la ubicación de los controles, significa que debemos determinar éstos sobre un plano cartográfico.



## I.2 RECONOCIMIENTO

Consiste en recopilar todos los antecedentes necesarios que suministren información, tanto de la topografía del terreno como las específicas, tales como volúmenes de tránsito.

En lo que se refiere a Cartografía, disponemos de las cartas del I.G.M., de Minería y las planchas del Registro Gráfico Catastral.

Otro elemento es la restitución fotogramétrica, empleando escalas 1:50.000 en las zonas de llanura y 1:25.000 en las zonas de montaña.

Finalmente, la fotointerpretación directa del mosaico aéreo.

Una vez reunida toda la información, hay que analizarla, compilarla y contrastarla.

De esta elaboración, surgirá la definición de una faja, dentro de la cual se encontrarán las posibles trazas alternativas.

Habrà dentro de esa faja, elementos que resistan el paso de la traza, tales como obras de ingeniería (edificios, torres, silos, molinos, cisternas, etc.) y otras que lo faciliten, tales como caminos existentes, divisorios de campo, etc.

En las zonas accidentadas, es la topografía el factor de mayor peso que define la elección de la faja. Y más precisamente las pendientes máximas admisibles.

En las zonas de suaves ondulaciones, se tiene en cuenta los dos elementos antes mencionados. Pero las condiciones de drenaje requieren una atención especial.

El próximo paso consiste en trasladar el equipo a campaña y en base a observaciones directas, y un programa específico de información, se formulan varias alternativas posibles dentro de la faja definida con anterioridad.

En el terreno se realiza relevamiento expeditivo destinado a valorar las pendientes y ubicar los distintos tipos de suelo que el equipo de Geólogos indique.

Ahora ya se puede tener un panorama o una idea más clara de las obras necesarias y se puede hacer una estimación de costos para cada una de las alternativas y compararla entre sí.

### I.2a TRAZADOS PRELIMINARES

Del estudio económico surgirá una línea, como la más conveniente, la cual puede presentar en algunos tramos, una o más variantes.

Se replantea esa traza preliminar y sus posibles alternativas, materializando lo que comúnmente se denomina línea de bandera.

Se envía una comisión de topógrafos, que deberá replantear la traza preliminar y las variantes, haciendo pasar por ella un perfil longitudinal, levantando transversales.

Con estos datos, se vuelve a calcular ahora, con mayor exactitud, el costo del transporte y el movimiento de suelos, a fin de determinar el trazado definitivo.

Esta traza que hemos seleccionado, es lo que se denomina poligonal de base porque será la que se utilice como base para el estudio integral del proyecto.

Es necesario aclarar, que para poder replantear la traza preliminar, fue necesario antes, planificar y medir un sistema de apoyo. Que dadas las características de la obra, ya vimos que lo más adecuado era la poligonal.

### Empleo de la Fotogrametría

Siendo la Fotogrametría una disciplina, requiere un exhaustivo y pormenorizado estudio y práctica cotidiana, durante años, para una optimizada dedicación.

Ante ello y por la innumerabilidad de variables a manejar, desde la programación de un vuelo hasta la obtención de cartografía por este medio, sería un tema de profundo desarrollo en esta publicación, lo que implicaría salirse de su contexto específico.

Por tal motivo expondremos una de sus metodologías de trabajo, en forma general, pudiendo no ser ésta excluyente y sin entrar en detalles.

Habíamos mencionado que para el reconocimiento utilizaríamos cartas a escalas pequeñas, 1:100.000, 1:50.000 ó 1:25.000, según las dimensiones de la futura obra; con equidistancias de 20 ó 25 m.

Si no se dispone de estos documentos, deberá recurrirse a las restituciones fotogramétricas, realizando un vuelo a gran altura con la utilización de una cámara supergranangular, del tipo Super-Aviogon 8,8/4 SAGA.

Conviene recordar que para una altura de vuelo de 6.000 m. se corresponde con una escala de la foto de 1:70.000, o bien para 8.000m. la escala será de 1:90.000; desprendiéndose lo dicho del siguiente análisis:

$$\frac{f}{d} = \frac{h}{D} \implies \frac{f}{h} = \frac{d}{D}$$

$$E_f = \frac{d}{D} = \frac{f}{h}$$

f: distancia focal

h: altura de vuelo

d: distancia proyectada

D: distancia en el terreno

E<sub>f</sub>: escala de la foto

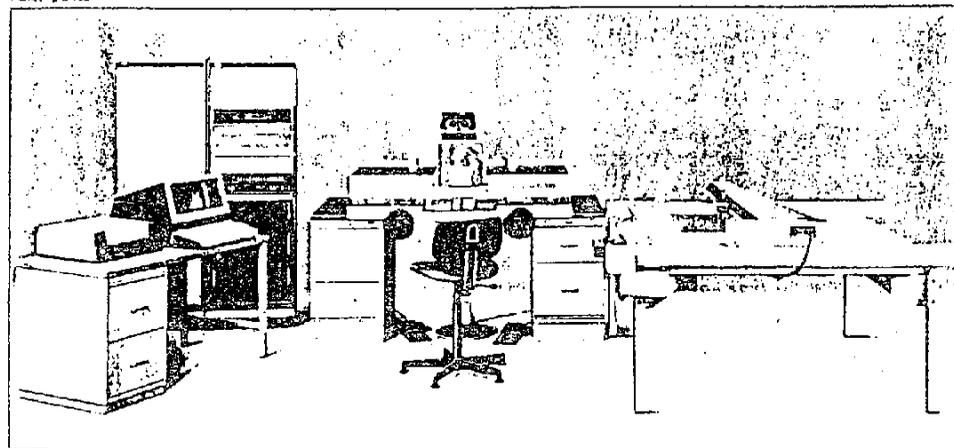
Los vuelos y por ende los fotogramas, deben apoyarse sobre puntos de control planimétricos y altimétricos, bien identificables en los fotogramas, donde la precisión planimétrica debe ser tal que sirva luego para las otras etapas del plan.

Una vez fijada la zona donde se encontrarán los trazados preliminares, es necesario realizar otro vuelo a menor altura para obtener una carta en escala 1:5.000. Para tal fin puede emplearse nuevamente una cámara del tipo Universal-Aviogon 15/4 UAGA, y en ese caso, será necesario volar a 3.000 m. obteniendo una foto a escala 1:20.000 con equidistancias entre 2 y 5m. En esta etapa pueden emplearse los mismos puntos que para la anterior, sin embargo, teniendo presente que hemos materializado una poligonal de apoyo para el relevamiento y posterior replanteo de la obra, ésta nos sirve en

gran medida para el apoyo terrestre de la restitución, siempre y cuando se los hayan elegido convenientemente. Aún así deberá densificarse con puntos, no menos de cuatro por fotograma, uniformemente distribuidos para lograr el control y orientación del par fotogramétrico. No olvidemos además, que la precisión altimétrica y planimétrica necesaria para estos puntos de apoyo fotogramétrico es de aproximadamente los 10 cm; como así también la posibilidad que nos brinda para su densificación, la Aerotriangulación.

Cuando ya se ha definido la traza preliminar (línea de bandera en la topografía), se pasa al levantamiento de detalles de la zona afectada, y en especial a la determinación fotogramétrica de los perfiles transversales, con la ayuda de los Aviolyt AC1 ó BC2 de la casa Wild, o bien el Planicomp C100 de Zeiss.

Planicomp C 100



La precisión altimétrica obtenida sobre los puntos del perfil alcanza el dm. en casos favorables, dependiendo de las aptitudes del operador y de la forma del terreno.

Una computadora programada especialmente, recibe los datos entregados por los calculistas que dieron forma geométrica a la traza preliminar, al igual que los datos, en forma automática, que le envía el restituidor analítico. Esta reduce el nivel corregido de cada perfil, teniendo en cuenta la altura verdadera del punto de control vertical situado cerca del eje de la carretera. Luego, efectúa el cálculo del volumen de tierras y suministra la superficie de cada perfil, el volumen entre perfiles, e indica la suma de terraplenes y desmontes.

Finalmente compara estos resultados con los parámetros preestablecidos para el transporte de suelos y efectúa una corrección de traza. Se continúa así hasta obtener el definitivo y en ese momento la mesa de dibujo (AVIOTAB TA2 ó DZ5) dibujará automáticamente el perfil longitudinal y los perfiles transversales.

## I.2b TRAZADO DEFINITIVO

Para la confección del proyecto, se requiere realizar un exhaustivo trabajo de relevamiento, intentando obtener un modelo geométrico del terreno real. Recordemos que además debemos relevar información selectiva.

Si no se empleó la fotogrametría, levantaremos los perfiles transversales en el terreno, no significando ello, que el único método sea a través del empleo de cintas y nivelación geométrica. Sino que también podemos emplear métodos polares midiendo las distancias con taquímetro electrónico y los desniveles con nivelación trigonométrica, utilizando el mismo instrumento y desde la misma estación.

Para la construcción de los perfiles transversales, nos apoyamos en el eje de la traza definitiva.

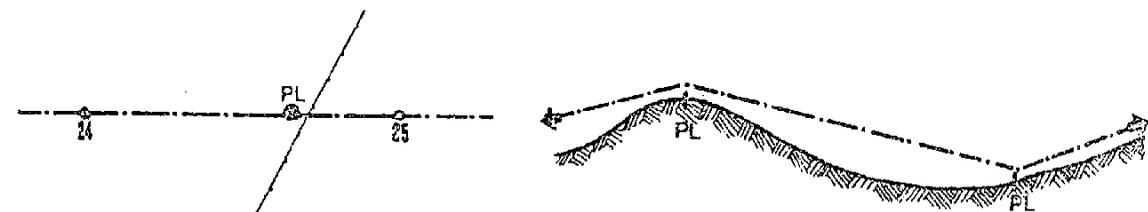
El primer paso es entonces materializar dicha traza. Lo realizamos colocando mojones en los vértices (V) de la poligonal, lo cual hacemos desde los puntos del Sistema de Apoyo. Luego colocamos los puntos de línea, (PL).

Estos puntos de línea, tienen que permitir que desde cualquiera de ellos, podamos materializar la alineación correspondiente al eje, es decir deberá observarse simultáneamente el anterior y posterior, PL.

Irán entonces, un PL en cada dorsal, cuando el terreno es ondulado.

En caso de terreno llano, se colocará un PL en distancias no mayores de 1000m, para garantizar una buena visibilidad entre puntos. Estos se colocan sobre los alambrados, para evitar que el laboreo de los campos los destruya.

Sobre la línea deberán dejarse también estaciones llamados Hectométricos, colocados cada 100m y numerados en forma correlativa, que servirán para identificar las progresivas del camino.



Finalmente realizaremos lo que llamamos el piqueteo, que consiste en colocar estacas, a las cuales les asignamos letras minúsculas, (a, b, c...) a partir de la hectométrica. Los piquetes se replantean a distancias regulares, submúltiplos de 100m, por ejemplo: 10, 20, 25, 50m, etc.

También se dejan piquetes en los siguientes casos:

- En cada cambio de pendiente del perfil longitudinal, coincidente con la traza.
- Se densificarán los piquetes, cuando se observe cambios de pendientes a uno u otro lado de la traza, dentro de la zona de ocupación.
- En cada cruce de límites de propiedad, midiendo el ángulo entre ellos formado.
- En cada cruce de colectores de agua, definiendo el perfil.
- En cada cruce de líneas de alta, media y baja tensión.

f) En cada cruce, (si es que se puede definir) de conductos subterráneos, tales como acueductos, gasoductos, etc.

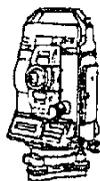
g) En cada cruce de calles, camino o carretera y otro en el fondo de las cunetas.

A medida que vamos avanzando con el replanteo de la traza, vamos colocando periódicamente y siempre fuera de la zona de ocupación, mojones de puntos fijos altimétricos. Los cuales serán nivelados por otro equipo de topógrafos teniendo en cuenta las características ya establecidas en cuanto se refiere a método de medición, tolerancias y compensación.

**MOJONES:** Los vértices, puntos de línea y puntos fijos altimétricos, serán de hormigón de aproximadamente 0.15 x 0.15 x 0.40m.

Los estacones hectométricos de madera dura de 3" x 3" x 0.50m.

Los piquetes, estacas de madera, de 0.05 x 0.05 x 0.25 m.



### I.3 RELEVAMIENTO DE DETALLES, HECHOS COORDINANTES Y/O OCULTOS

Tras informaciones que debemos registrar en el levantamiento Planialimétrico, que estarán estrechamente vinculadas a la realidad y que deberán estar expresadas en forma clara y precisa:

#### Límite de posesión

Relevaremos el límite de posesión, el cual se verificará luego con las planchas catastrales, para confrontar si coincide con el límite de propiedad.

Indicar como éste está materializado: alambrado, pinca, cerco vivo, muro de mampostería, etc.

#### Alambrados existentes

Hay que relevar todo alambrado que se encuentre dentro de la zona de ocupación ya sea que los mismos crucen la traza o sean paralelos a ella, hasta una distancia de 50m fuera de la zona. Anotando las características del mismo: medianero o interno, tejido o de hilos, tipos de postes y estado de conservación.

#### Acequias

Deberá levantarse, siendo extremadamente cuidadosos con las cotas, las acequias,

canales de riego y los acueductos. Los cuales deberán respetarse rigurosamente en el proyecto.

#### Cruces con caminos y vías férreas

Para poder proyectar los intercambiadores o distribuidores que se construyen en los cruces de vía, es necesario aportar información de una extensa zona hacia ambos lados del eje de la traza, pues las ramas de aceleración y desaceleración para acceder o dejar la autopista, se extienden una longitud considerable. Por ende, si esta distancia no está precisada, conviene relevar hasta una longitud de 500m del eje.

Los proyectistas deberán conocer datos tales como: Un perfil longitudinal levantado por el eje del camino y perfiles transversales (incluyendo las cunetas laterales y los alambrados). Si fuese en zona urbana es importante agregar las cotas de los umbrales de las viviendas, líneas eléctricas y su posición respecto, a las líneas de edificación y ductos de conducción subterráneos (agua, gas, cloaca, etc.).

#### Líneas

Depende de la categoría y del ancho de la zona de ocupación, si una determinada línea permanece o no en su lugar, durante y después de ejecutada la obra. Pues hay que estudiar la posibilidad de colocar, fuera de la zona de ocupación, a cada lado una torre que permita levantar la línea, asegurando en todos los puntos, que entre la calzada y la catenaria, se conserven las alturas mínimas necesarias para el paso sin peligro de vehículos de carga. Si ello no es posible, habrá que proyectar un cruce subterráneo.

Por ello, al levantar una línea, por lo menos relevamos dos postes o torres de cada lado de la faja. También levantamos los niveles de fundación de la estructura y la altura de los cables en los puntos más bajos de la catenaria.

#### Cruces de río

En la zona de emplazamiento del puente, deberá relevarse las costas del río por lo menos en una extensión de 800m a cada lado, para elegir el lugar más adecuado y tener un conocimiento de las características del cauce, su variación, tipo de suelo y comportamiento en las crecientes extraordinarias.

Se levantará un perfil longitudinal por la línea de baguada y perfiles transversales ubicando la línea de crecientes ordinarias y extraordinarias.

Será quizás aún más conveniente realizar un levantamiento planialimétrico conjunto.

#### EDIFICIOS

Todas aquellas edificaciones existentes dentro y fuera de la ocupación hasta distancias de 100m, en las zonas rurales. En zonas urbanas esta longitud se reduce a 10 ó 20m.

Es importante también relevar los accesos a propiedades y las servidumbres de tránsito, para que los proyectistas prevean las obras necesarias que permitan mantener estos servicios.

### Obras de arte existentes

Se relevará y se indicará sus características más importantes (tipo, luz, altura, longitud, etc.) y el estado de conservación. Para mayor ilustración, en estos casos, convendría acompañar de un perfil longitudinal que pase por la obra de arte y un perfil transversal aguas arriba y aguas abajo.

### Grupos de árboles

Se relevará el perímetro de la superficie que ocupa un monte, y si fuesen árboles aislados se los levantará para darles ubicación. Se consignará tipo de especies y variedades, con el objeto que los proyectistas decidan su permanencia o no, tratando de dejar estos a un costado de la calzada a distancia prudente.

### Marcas, señales y mojones existentes

Identificando si corresponde a límites de propiedad, puntos de un sistema de apoyo del I.G.M., Minería, o puntos altimétricos.

### Zonas en que existen o suelen existir aguas retenidas

Ya sea dentro o fuera de la ocupación; vertientes o manantiales naturales, aún se encuentren fuera de ella.

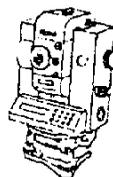
### Nombre de los propietarios o poseedores

A medida que se va ejecutando el levantamiento, se van también registrando los nombres de los poseedores o posibles propietarios a los cuales afectará la nueva traza del camino.

Esto tiene por objetivo, servir de base para la búsqueda de antecedentes en los Registros de Propiedad y Oficinas de Catastro, es nada más que un recurso para una mejor ubicación y rapidez en los estudios de títulos.

Una vez decidida definitivamente la posición de la traza, y su ancho de ocupación, se llevarán adelante, las mensuras de afectación por cada una de las propiedades, las que se ejecutarán en un todo de acuerdo con los estudios de títulos.

Sobre la base de este relevamiento y unida a la información compilada sobre volúmenes de transporte, aforo de las cuencas hídricas, estudios de suelo, etc., se elabora el PROYECTO.



## I.4 PROYECTO GEOMETRICO

### I.4a DETERMINACION DE LOS RADIOS DE CURVAS EN FUNCION DE LA VISIBILIDAD

El camino se proyecta para una determinada velocidad directriz, esta velocidad condiciona las distancias de frenado y sobrepaso. Es decir, que para detener totalmente un vehículo que se desplaza a una velocidad igual a la directriz, se necesita cubrir una determinada distancia, ella se denomina distancia de frenado.

Distancia de frenado	Velocidad Directriz V (km/h)							
	80	90	100	110	120	130	140	150
$l_a$	122.70	153.00	186.70	223.70	264.00	307.70	354.70	405.00
$l_b$	107.40	133.70	162.85	194.85	229.70	267.40	309.00	351.40
$l_c$	91.30	113.30	137.65	164.35	193.40	224.80	259.60	294.70
$l_d$	80.00	99.00	120.00	143.00	168.00	195.00	224.00	255.00

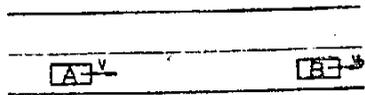
donde:

- $l_a$  = distancia de frenado cómodo - absoluta seguridad - oportunidad de frenado frecuente.
- $l_b$  = distancia de frenado medio - gran seguridad - oportunidad de frenado ocasional.
- $l_c$  = distancia de frenado relativamente enérgico - suficiente seguridad - oportunidad de frenado muy escasa.
- $l_d$  = distancia de frenado enérgico - para precaria seguridad - oportunidad de frenado prácticamente nula.

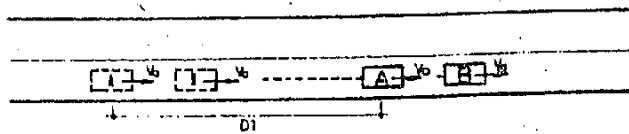
Por otra parte, un vehículo que se desplaza a una velocidad igual a la directriz, se ve bloqueado por otro que se desplaza en el mismo sentido pero a una velocidad inferior. Para poder superarlo necesita transitar por la otra calzada durante el tiempo que tarda en pasarlo, esa distancia recorrida se denomina distancia de sobrepaso.

La confección de la tabla que aparece más adelante y que es el resumen de una serie de cálculos realizados, para determinar la distancia de sobrepaso, fue confeccionada en base al siguiente criterio:

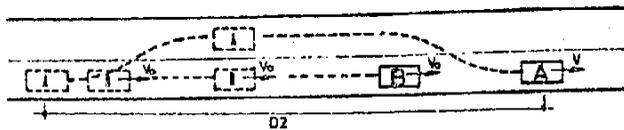
1. El coche "A", se desplaza a la velocidad directriz, hasta que alcanza al vehículo "B", quién se desplaza a la velocidad  $V_0$ .



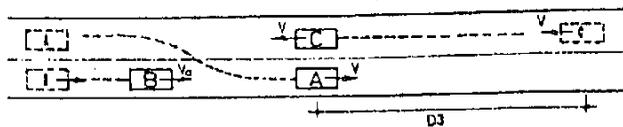
2. Durante una distancia  $d_1$  acompaña al otro vehículo, por ende, disminuye su velocidad hasta igualarla a la del otro coche,  $V_0$ .



3. El coche "A", acelera mientras cambia de trocha, y mantiene la aceleración hasta alcanzar nuevamente la velocidad directriz, cuando lo ha pasado, vuelve nuevamente a su carril, recorriendo la distancia  $d_2$ .



4. Mientras "A" efectuaba la maniobra descripta, otro coche "C", puede venir en sentido opuesto con una velocidad igual a la directriz. En igual tiempo que el de sobrepaso, el vehículo "C" recorre la distancia  $d_3$  y debe suceder que al cruzarse ambos coches, "A" ya haya vuelto a su trocha original.



Luego la distancia total necesaria para el sobrepaso, será:

$$D = d_1 + d_2 + d_3$$

v	Km/h	50	65	80	95	110
$v_0$	Km/h	35	50	65	80	95
$x = 0,19 \cdot v_0 + 6$	m	12,5	15,5	18	21	24
a	$m/s^2$	1,28	1,25	1,12	0,95	0,60
$t_2 = \frac{7x + \frac{N}{7a}}$	seg	7,50	8,94	10,31	12,05	14,77
$d_1 = 0,833 \cdot v_0$	m	29	42	54	67	79
$d_2 = 2x + \frac{v_0 \cdot t_2}{3,6}$	m	98	155	222	309	438
$d_3 = \frac{v}{3,6} \cdot t_2$	m	104	161	229	317	451
$D = d_1 + d_2 + d_3$	m	231	358	505	698	968

Es evidente que en todo el recorrido del camino debemos tener distancias de visibilidad mayores a las de frenado y sobrepaso.

En caso que el camino sea recto y en terreno llano, no se presenta este problema. Distinto cuando éste contenga curvas horizontales y verticales.

Por lo tanto debemos conocer o calcular esas distancias de frenado y sobrepaso para poder calcular los radios mínimos.

Pueden presentarse dos casos: en el primero los elementos son aislados, edificios, árboles, etc. y el segundo, la presencia de un talud de desmorte o bien un alambrado cubierto de malezas.



La línea visual, será tangente a dichos obstáculos.

Las curvas horizontales del tipo de las indicadas se denomina "curvas ciegas", mientras que si los obstáculos se encontraran del otro lado del camino, la visibilidad sería total.

Es necesario, que en las curvas ciegas, el arco que sustiene a la cuerda visual sea mayor que la distancia de frenado, (de sobrepaso no, porque en las curvas rige la prohibición de adelantarse).

Pueden presentarse dos casos:

Que el arco visual sea menor que el desarrollo de la curva; en ese caso se aplica esta fórmula:

$$D_{\min} = 2R \cdot \cos \frac{R - m}{R}$$

Donde (D) es el valor necesario del arco visual, y (m) es la distancia del eje al obstáculo. De allí despejamos el valor de (R), radio mínimo necesario.

Que el desarrollo de la curva previsto sea menor que el arco visual:

$$D_{\min} = 2 \cdot \frac{R(1 - \cos \frac{\Delta}{2})}{\sin \frac{\Delta}{2}} + \frac{2\sqrt{RA^2}}{3500}$$

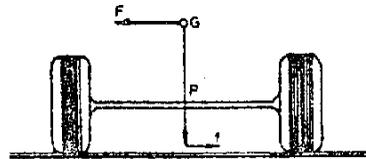
#### I.4b CURVAS HORIZONTALES

Además de existir en las curvas la visibilidad necesaria, es indispensable que cubra otras alternativas, para que pueda sortear la curva sin peligro:

- Que las curvas tengan un radio mínimo y el peralte conveniente para estabilizar la fuerza centrífuga.
- Que en la zona de curva, exista un sobreebanco que permita que el vehículo quede inscripto permanentemente dentro de su trocha.
- Que el paso entre una dirección recta y una curva se haga intercalando una transición para evitar la brusca aparición de la fuerza centrífuga.

#### Radio mínimo - Peralte - Sobreebanco

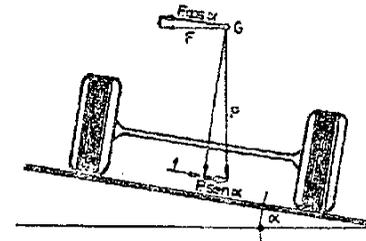
Al ingresar a la curva, se presenta la fuerza centrífuga (F), que pone en peligro la estabilidad del vehículo. Si F es mayor que la reacción que ofrece el rozamiento de las cubiertas, éste se deslizará tangencialmente a la curva. Si en cambio el rozamiento es mayor que F, el vehículo volcará.



- P: peso del vehículo  
 F: fuerza centrífuga  
 $F = \frac{PV^2}{g \cdot R}$   
 f: coeficiente de fricción lateral

Ambos factores pueden equilibrarse, peraltando la curva, es decir, dando al plano de la calzada una inclinación  $\alpha$ . Lo expresamos a través de la pendiente i, ( $i = \tan \alpha$ ).

La condición de equilibrio es:



$$\frac{PV^2}{g \cdot R} = P_i + P_f$$

$$\frac{V^2}{g \cdot R} = i + f$$

De la expresión anterior, podemos despejar (R), y obtenemos el radio de curva necesario para una determinada velocidad directriz y pendiente del peralte:

$R = \frac{k \cdot V^2}{f+i}$ , pasando V de Km/h a m/seg, y  $g = 9,81$  se obtiene  $k = 0,007865$  y para el coeficiente de fricción (f), las normas de diseño geométrico de la D.N.V. sugiere la siguiente expresión:

$$f = 0,186 - 0,0007 \cdot V$$

Así por ejemplo, para una velocidad directriz de 80Km/h corresponde  $f = 0,14$  y para una de 100Km/h un coeficiente  $f = 0,13$

#### Valores máximos del peralte

Los valores del peralte se fijan de acuerdo al siguiente criterio:

- Condiciones topográficas (llanura o montaña)
- Condiciones climáticas (zonas de heladas, nevadas o no).
- Condiciones de operatividad (zona urbana o rural, si hay intersecciones, interferencias).

<u>Peralte Máximo</u>	<u>Condiciones de la ruta</u>
10%	Zonas rurales-montañas-sin helada o nieve.
8%	Zonas rurales-llanas-sin heladas o nieve.
6%	Zonas sub-urbanas o zonas rurales sujetas a heladas o nieve.
4-3%	Zonas urbanas o radios de curvas amplios.

El perfil transversal de la calzada, en los alineamientos rectos, está constituido por dos segmentos de rectas, simétricos respecto al eje, cuya pendiente transversal varía entre el 1% y el 2.5%. Para radios de gran magnitud no es necesario peraltar las curvas.

Velocidad directriz	Radios que no necesitan peralte
80 Km/h	Mayores que 3.500 m.
100 Km/h	Mayores que 6.000 m.
120 Km/h	Mayores que 8.000 m.
140 Km/h	Mayores que 10.000 m.

Uno de los criterios que se sigue, para peraltar las curvas, es el siguiente:

Mientras se transita por el alineamiento recto, el perfil de la calzada es de gálibo normal, con las pendientes transversales iguales y simétricas respecto al eje central, tal como el graficado en (1).

Poco antes del comienzo de la transición especial,  $(0, 4 \times L_0)$  según algunos autores; comienza a levantarse al borde exterior de la calzada hasta el punto TE., donde la pendiente de la semicalzada exterior es nula, luego sigue creciendo su valor hasta igualarse al de la semicalzada interior.

Llegando a este punto, sigue subiendo el borde exterior, mientras que simultáneamente va bajando el borde interior de la curva, rotando sobre el eje de la calzada, hasta alcanzar el valor máximo establecido de peralte, el cual se logra exactamente en el punto de empalme de la transición espiral con el principio de curva circular (EC). Luego se mantiene constante la pendiente de peralte durante todo el trayecto del arco circular, volviendo luego a repetirse todo el esquema en sentido inverso hasta alcanzar el gálibo normal, al finalizar la transición espiral, es decir donde comienza nuevamente la recta.

Este paso del perfil transversal al perfil del peralte requiere que se realice de una manera progresiva. Es decir que la longitud de la transición debe ser una función del peralte adoptado.

Esta longitud necesaria, está dada por la siguiente fórmula:

$$L_e = 2.72 \frac{V}{A} \cdot (0.007865 \frac{V^2}{R} - i),$$

donde "A" es la aceleración, de la aceleración centrífuga en  $m/seg^3$  y se adopta como

$$A = 0.45 m/seg^3$$

Partiendo de la base que se ha adoptado como transición a la clotoide.

Por último hay que tener presente que para que el aspecto de la curva sea agradable, la longitud no deberá ser inferior a la 1/10 parte del radio de la curva circular.

#### Sobreanchos

Para mantener en las curvas las mismas condiciones de seguridad, en el cruce de vehículos que en las rectas, es necesario introducir un sobreancho. El vehículo al describir una curva, ocupa un ancho mayor, ya que mientras las ruedas delanteras

giran adaptándose al radio de curva, las ruedas traseras, fijas, tienden a seguir la dirección tangencial.

Esta dificultad aumenta con la velocidad y con la distancia entre ejes del vehículo, pero disminuye a medida que los radios de curvas son mayores.

Para el cálculo del sobreancho, se toman las dimensiones de un vehículo representativo; la velocidad, es la directriz.

En el caso de curvas con transición, el sobreancho se distribuye por partes iguales hacia ambos lados del eje, aún así, en algunos casos se prefiere ubicar todo el sobreancho sobre el borde interior de la curva.

Hay dos sobreanchos: Geométrico:  $S_1 = R - \sqrt{R^2 - (L^2 + l_1^2 + L_1^2 \dots)}$

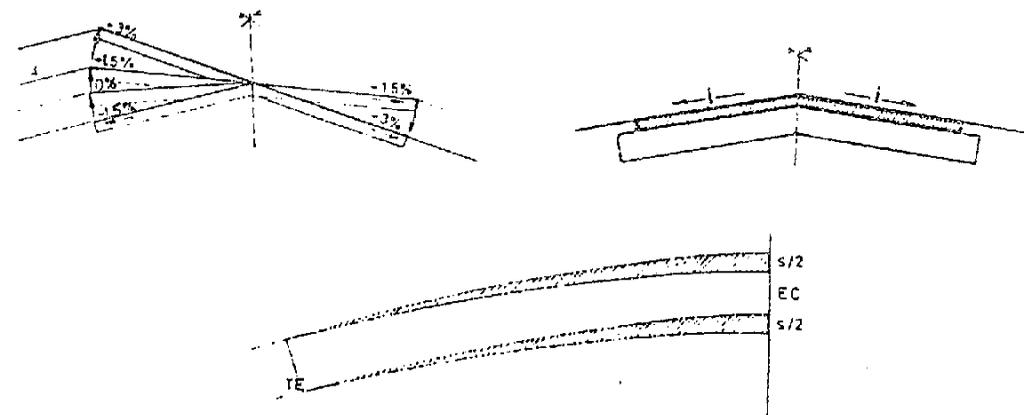
Sicológico:  $S_2 = \frac{V}{10\sqrt{R}}$

donde:

- L: Longitud entre ejes del vehículo.
- l: Distancia entre eje trasero-camión y eje delantero-acoplado.
- $L_1$ : Longitud entre ejes del acoplado.
- S: Sobreancho.
- R: Radio de curva.
- V: Velocidad directriz.
- n: Número de trochas.

$$S = n ( R - \sqrt{R^2 - 36} ) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

En definitiva el sobreancho comienza en el principio de la transición y alcanza su valor máximo en la curva circular.



#### I.4c CURVAS VERTICALES

Para obtener un cambio gradual entre dos rasantes rectilíneas continuas de pendientes diferentes, es necesario introducir entre ellas una curva vertical.

El diseño geométrico de las curvas verticales deberá asegurar las siguientes condiciones:

1. Seguridad para el tránsito.
2. Comodidad para los ocupantes del vehículo.
3. Buena apariencia estética de la rasante.
4. Drenaje superficial adecuado.

Pudiéndose emplear curvas verticales circulares, parábolas cuadráticas o parábolas cúbicas.

Por su simplicidad, las reparticiones de vialidad han adoptado la parábola de segundo grado. Para individualizar estas curvas parabólicas se utiliza su parámetro, o sea el radio de curvatura en el vértice.

$$p = X^2 / 2Y$$

#### Curvas verticales CONVEXAS

Se trata de definir cuáles son los parámetros que cumplen con las cuatro condiciones pre-establecidas.

1. Seguridad para el tránsito.

Es necesario que la distancia de visibilidad desde el ojo del conductor hasta el posible obstáculo sea igual a la detención.

Se estima que la altura del ojo del conductor se encuentra a 1.10m del suelo, la altura del objeto a 0.20m y la altura de los faros a 0.65m.

Efectuando una serie de combinaciones, con estas variables, con la velocidad directriz, la diferencia algebraica de las pendientes y las pendientes medias, surgen los valores de los parámetros mínimos.

Por ejemplo, para una  $V = 100 \text{ Km/h}$ , dif. de pendiente = 1,4

$$i_m = 2\% \quad p = 4.000$$

$V = 80 \text{ k/h}$ , dif. de pendiente = 1,15

$$i_m = 4\% \quad p = 5.714$$

2. Comodidad de los ocupantes del vehículo.

Al circular un vehículo por una curva vertical, sus ocupantes están sujetos a una aceleración radial determinada por la velocidad de aquél y el radio de curvatura. Respecto a cual es el máximo valor admisible hay discrepancias, variando entre

1.20/seg<sup>2</sup> a 0.15m/seg<sup>2</sup>. Se adopta 0.30 m/seg<sup>2</sup>.

Para calcular el parámetro equivalente, basta con reemplazar en la siguiente expresión:

$$p = \frac{V^2}{a} \text{ (velocidad directriz) } \\ a \text{ (aceleración radial)}$$

$$\text{implicando para : } a = 0.30 \text{ m/seg}^2 \quad p = 0.25 V^2$$

Es decir que para una velocidad de 100 Km/h,  $p = 2500$  (parámetro mínimo).

3. Apariencia estética de la rasante.

Desde el punto de vista estético, para evitar que la rasante presente un aspecto estético no satisfactorio, se ha fijado para las curvas verticales convexas una longitud mínima dependiente de la velocidad directriz.

$$p_{\text{min}} = \frac{0.7 V}{i} \text{ (diferencia algebraica de pendientes)}$$

Independientemente de la velocidad, se ha fijado como límite inferior el valor 400 para los parámetros mínimos.

4. Drenaje superficial adecuado.

El problema del drenaje sólo se presenta en las curvas verticales con pavimentos provistos de cordones, en el punto que la tangente a la rasante es horizontal.

Si el parámetro es grande hay una extensa zona prácticamente horizontal y los errores propios de la construcción, de 2 cm por ejemplo puede impedir el drenaje, pero esto es improbable pues parámetros grandes de 4000 ó 5000, sólo se dan en caminos rurales y éstos no llevan cordón.

#### Curvas Verticales CONCAVAS

Las condiciones, que debe cumplir el diseño geométrico de estas curvas, son las ya mencionadas.

1. Seguridad en el tránsito:

En este caso, hay que analizar las relaciones, teniendo en cuenta que las dificultades de visibilidad sólo pueden presentarse cuando el vehículo circula de noche, pues de día las condiciones de visibilidad son totales.

Para ello se parte de la altura de los faros y se busca los valores del parámetro, que permita una distancia iluminada mayor a la distancia de frenado.

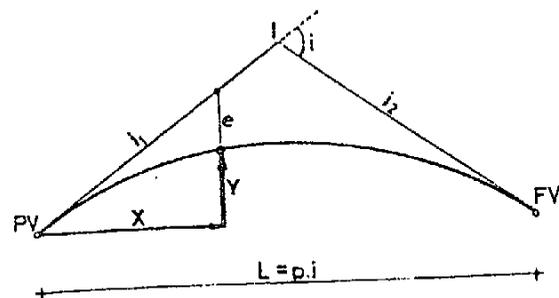
2. Comodidad de los ocupantes del vehículo: Se aplica igual criterio que en las curvas convexas.

3. Apariencia estética de la rasante: idem.

4. Drenaje superficial adecuado: idem.

Llamando "i" a la diferencia algebraica de pendientes, para un valor mínimo de éste, no se considera necesario introducir curvas verticales. Así por ejemplo para V= 80 Km/h, i= 0.50; V= 100 Km/h, i= 0.40; V= 120 Km/h, i= 0.33.

### Cálculo de cotas sobre la rasante, para el replanteo



$$i = (i_1 - i_2)$$

$$e = \frac{i \cdot x^2}{2L}$$

$$Y = i_1 x - \frac{x^2}{2p} \quad p = \frac{L}{i}$$

$$Y = i_1 x - \frac{ix^2}{2L}$$

Para determinar la cota de un punto cualquiera sobre la rasante, en una curva vertical, debemos tener como datos:

Progresiva del punto a determinar la cota.

Progresiva del inicio de la curva vertical o del PI y conocer la longitud L.

Cota del PCV.

Para determinar la cota de un punto cualquiera, debemos tener los siguientes datos:

- 1) Progresiva del punto
  - Progresiva del PV
  - Cota del PV
  - Pendiente i1
  - Pendiente i2
  - Parámetro de la curva

- 2) Progresiva del punto
  - Progresiva de PI
  - Cota del PI
  - Pendiente i1
  - Pendiente i2
  - Longitud de la curva

Ejemplo (1), aplicado a una curva convexa

Progresiva = 5035  
 Progresiva PV = 5000  
 Cota PV = 127.50  
 i1 = 0.4%  
 i2 = -0.967%  
 p = 6000m

Ejemplo (2), aplicado a una curva cóncava

Progresiva = 5035  
 Progresiva PI = 5041.01  
 Cota PI = 127.336  
 i1 = -0.4%  
 i2 = 0.967%  
 L = 82.02m

i = 1.367%  
 L = p.i = 6000 \* 1.367/100 = 82,02m  
 X = 5035 - 5000 = 35m  
 Y = (0,004x35) - [(0,01367x1225)/(2x82,02)] = 0,038  
 Cota = 127,50 + 0,038 = 127,538

i = -1.357%  
 $\Delta Y = 41.01 \times (-i) = 41.01 \times 0,004 = 0.164$   
 Cota PV = 127.336 + 0.164 = 127,50  
 Progresiva PV = 5041.01 - 41.01 = 5000  
 X = 5035 - 5000 = 35m  
 Y = -(0,004x35) + (0,01357x1225 / 164,04) = -0,038  
 Cota = 127,50 - 0,038 = 127.462

### Pendientes

En general la influencia de las pendientes, se hace sentir en mayor medida sobre los camiones, que sobre los automóviles.

Por lo tanto, en los proyectos, la magnitud de la pendiente máxima deberá fijarse en función de las características y el volumen de camiones, dentro de la corriente vehicular.

### Pendiente máxima

Surge de:  $i_m = \frac{Pa \cdot f \cdot r}{Po + Pr}$ , donde:  
 Po: peso del camión  
 Pa: peso adherente  
 f: coeficiente de fricción  
 Pr: peso del remolque  
 r: resistencia a la tracción

Considerando el caso más desfavorable, con pavimentos poco rugosos:

$$i_m = 10\%$$

Si hubiésemos considerado automóviles en lugar de camiones, la pendiente máxima sería:  $i_m = 18\%$ . Si el camino se encontrara en zona de heladas o nieve, las pendientes máximas para camiones sería del 2% y para automóviles 5%.

### 1.4d CURVAS DE ENLACE

No encontraremos con distintos tipos a saber:  
 Espirales, Lemniscata, Radioide de Leber y la Parábola Cúbica.

El pasaje de un tramo recto a un tramo circular, sin curva gradual de enlace, produce dos efectos importantes.

I) El del peligro: que significa el giro repentino del tren delantero para conseguir la tangencia del mismo con la nueva línea de circulación, como consecuencia de la inercia del vehículo.

II) El de la incomodidad: para los pasajeros del vehículo como consecuencia de la brusca aparición de la fuerza centrífuga.

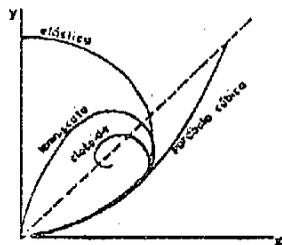
Para evitar ambos efectos, instintivamente el conductor recorre una traza distinta

a la que le corresponda, debiendo a tal efecto salirse de su trocha con el peligro que significa circular de contramano.

El problema puede resolverse, pasando de la alineación recta a la curva circular, por intermedio de una transición, que con un radio de curva infinito en el punto de tangencia con la recta, vaya disminuyendo progresivamente éste hasta coincidir con el radio de la curva circular.

Para darle una definición geométrica a esta curva, distintos autores, han propuesto distintos modelos matemáticos.

- Clotoide o Espiral de Euler o Espiral de Cornu: El radio de curvatura es inversamente proporcional al arco, (desarrollo de la curva);  $R = K / L$ .
- Lemniscata de Bernouilli: El radio de curvatura es inversamente proporcional al radio vector o cuerda;  $R = K / C$ .
- El Radioida de Leber o Curva elástica: El radio es inversamente proporcional a la abscisa;  $R = K / X$ .
- La Parábola cúbica:  $y = K \cdot x^3$ .



Todas estas curvas se confunden prácticamente en la primera parte de su desarrollo.

La parábola cúbica puede utilizarse en curvas grandes, por lo cual su empleo se ha generalizado en los proyectos de ferrocarriles; en los caminos en cambio, nuestras reparticiones viales han adoptado la Clotoide o Espiral de Euler.

#### Curva espiral (Elementos)

La ecuación de la curva se expresa de la siguiente forma:

$$L_i \cdot R_i = \frac{V^3}{A}$$

donde  $L_i$  es la longitud desde el origen al punto de radio  $R_i$ ;  $V$  es la velocidad directriz en m/seg. y  $A$  es la aceleración de la aceleración centrípeta, cuyo valor se adopta en 0.45m/seg.

Es decir que la longitud de la espiral es:

$$L_e = \frac{V^3}{0.45 \times R_i}$$

#### Simbolos empleados en la transición y su significado

- P.I. Punto de intersección de las tangentes principales.
- T.E. Punto común de la tangente y la espiral.
- E.C. Punto común de la espiral y la curva circular.
- C.E. Punto común de la curva circular y la espiral.
- E.T. Punto común de la espiral y la tangente.
- Rc Radio de la curva circular.
- Le Longitud de la curva espiral.
- L Longitud desde T.E ó E.T. hasta un punto cualquiera de la espiral.
- Lc Longitud de la curva circular entre E.C y C.E.
- Te Segmento de la tangente principal entre T.E y P.I y viceversa con E.T.
- T.L. Longitud de la tangente larga de la espiral.
- T.C. Longitud de la tangente corta de la espiral.
- C.L. Cuerda de la espiral entre T.E. y E.C.
- k,p. Coordenadas de PC respecto a T.E.
- $\Delta$  Angulo de las tangentes principales.
- $\Delta_c$  Angulo de las tangentes en E.C y C.E o ángulo al centro del segmento Lc de curva circular.
- $\theta_e$  Angulo de las tangentes en los extremos de la espiral.
- $\theta$  Angulo de la tangente en T.E con la tg. en un punto cualquiera de la espiral.
- $\beta_c$  Angulo de deflexión desde T.E a E.C., o sea el ángulo formado por la tangente en T.E y la cuerda larga.
- $\beta$  Angulo de deflexión desde un punto de la espiral a otro punto cualquiera de la misma. Dicho ángulo se forma con la tg. en ese punto y la cuerda de ambos puntos.
- $x_c, y_c$  Coordenadas del punto E.C con respecto a T.E.
- $x, y$  Coordenadas de un punto cualquiera de la espiral respecto a T.E.
- C Cuerda de la curva circular.

#### Cálculo de $\theta$ y $\theta_e$

Teniendo como dato la longitud de la espiral  $L_e$  se deduce ( $\theta$ )

$$\theta = \frac{L^2}{2 \cdot L_e \cdot R_c} \quad \text{y} \quad \theta_e = \frac{L_e}{2 \cdot R_c}$$

y dividiendo ambas expresiones se obtiene:

$$\theta = \theta_e \left[ \frac{L}{L_e} \right]^2$$

NOTA:  $\theta$  y  $\theta_e$  expresados en radianes.

## Coordenadas de un punto cualquiera de la espiral

Será de nuestro interés determinar las coordenadas para el replanteo, de la espiral.

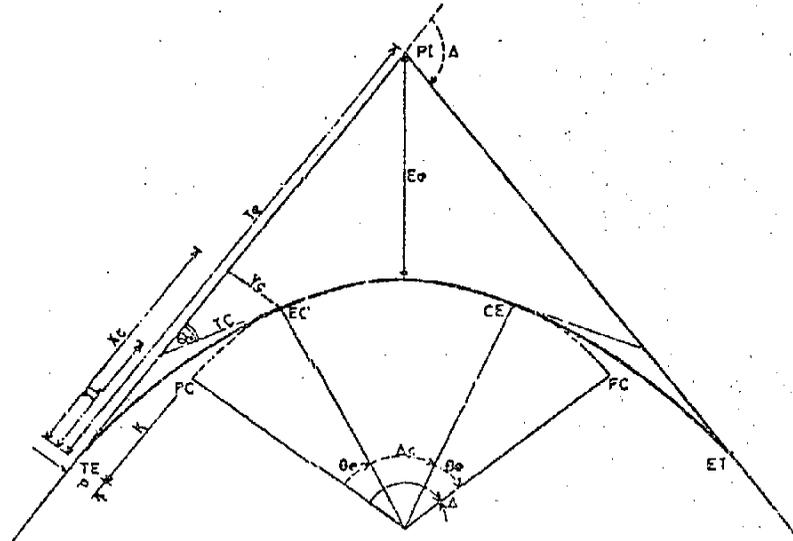
Ellas se obtienen a partir de elementos diferenciales, luego se desarrollan en serie y finalmente se integran, para obtener:

$$x = L. \left( 1 - \frac{\theta^2}{10} \right)$$

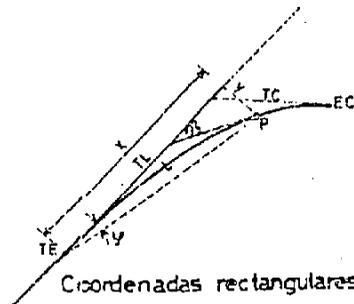
$$y = L. \left( \frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} \right) \quad \theta \text{ (en radianes)}$$

Los demás elementos  $p$ ,  $k$ ,  $T_1$  y  $T_c$ , son también funciones de  $L$  y de  $\theta$ .

Distintos autores han elaborado tablas que permiten el conocimiento de los elementos de la espiral en función de  $\theta$  y para una longitud unitaria. Así por ejemplo Vialidad Nacional ha adoptado la tabla de Barnett.



Curva compuesta formada por un arco circular y transición espiral



Coordenadas rectangulares

## Replanteo

### Replanteo por abscisas y ordenadas:

Este método consiste en ubicar distintos puntos de la curva espiral por coordenadas rectangulares, tomando como eje de abscisas la tangente de la curva espiral, como eje de ordenadas la normal a la misma y como origen del sistema el punto E.T o T.E. Los valores se determinan aplicando la fórmula antes explicitada.

También pueden obtenerse los valores, empleando la tabla II del volumen antes mencionado.

### Replanteo por deflexiones desde T.E.

El método consiste en ubicar puntos de la espiral por medio de ángulos de deflexión desde T.E, repitiendo la distancia "c" desde el punto estación hasta el que se quiere ubicar.

El ángulo de deflexión  $\phi$ , se determina a partir de las coordenadas  $x$  e  $y$ , es decir:

$$\phi = \frac{\theta_e}{3} \cdot \left[ \frac{L}{L_e} \right]^2 - c$$

Es práctica común dividir la longitud de la espiral en 10 partes iguales.

Luego:

$$\phi_1 = \frac{L_e}{6Rc} \cdot \left[ \frac{1}{10} \right]^2 - c$$

$$\phi_2 = \frac{L_e}{6Rc} \cdot \left[ \frac{2}{10} \right]^2 - c \text{ y así sucesivamente...}$$

Este método tabulado, en la tabla VI. Para longitudes de transición de 40 a 200m y radios de 35 a 1.500m.

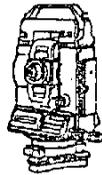
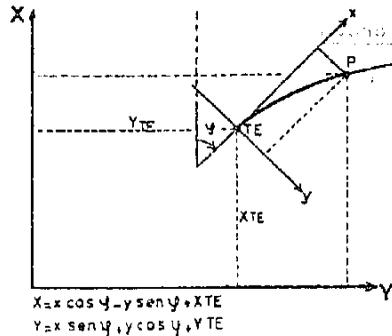
Si se emplean tablas, se comete el mismo error que antes habíamos mencionado en curvas circulares, es decir, el de interpolar linealmente.

Por otra parte, si deseamos replantear una curva completa: transición, curva circular, transición, estos métodos nos obligan colocar el T.E, E.C, C.E, y el E.T y la dirección de la T.L.

En cambio, si definimos puntos por coordenadas, podemos replantear inmediatamente toda la curva desde un solo punto por un método polar, o desde dos vértices por bisección.

Todo el trabajo de cálculo consiste en transformar un sistema local de coordenadas  $(x, y)$  al sistema general  $X, Y$  del sistema de apoyo. Donde  $X_0$  e  $Y_0$  son las coordenadas de T.E y el ángulo de giro el rumbo de la T.L.

De esta forma evitamos los cálculos en campaña, no colocamos punto auxiliar, no interpolamos, hacemos una sola estación, y fundamentalmente no acumulamos errores.



## 1.5 REPLANTEO DEL PROYECTO

Confeccionado el proyecto del camino, éste queda expresado en un conjunto de planos y pliegos.

Habrán un grupo de planos que se refieren a la PLANIMETRIA GENERAL, donde estarán contenidos los lineamientos generales o globales del proyecto, tales como los radios de curvas del eje de la traza, coordenadas de los vértices, ubicación de los puentes, las obras de artes, edificios a demoler, ubicación de los planos de detalles, etc.

Otro grupo, Perfiles Longitudinales con ALTIMETRIA, donde estarán expresadas las pendientes de la rasante, la cota de la misma en correspondencia con cada progresiva, curvas verticales y perfiles longitudinales correspondientes a las cunetas.

Por otra parte, los PLANOS DE REPLANTEO, en mayor escala y generalmente sectorizados por intercambiadores, donde se definen las coordenadas y progresivas de los principios de curvas, los vértices y los fines de curvas. Los radios de las curvas de empalmes, las narices, (donde hacen contacto las ramas de acceso con las calzadas principales), parámetros de las curvas espirales, etc.

Otro grupo, donde se definen la altimetría en detalle, de las calzadas principales de las ramas de acceso y de las colectoras de servicio. Es decir, PERFILES longitudinales y transversales, CALZADAS ACOTADAS y CURVAS DE NIVEL.

Finalmente, los planos de detalles correspondiente a las OBRAS HIDRAULICAS, planos de cada PUENTE, de las alcantarillas, de los muros de sostenimiento, etc.

## 1.5a SISTEMA DE APOYO

Quando se encara la tarea del replanteo de la obra, el primer paso es la planificación del sistema de apoyo.

Suponiendo se conserve aún el sistema que se utilizó en el relevamiento, será necesario revisarlo y reconstruirlo ajustándose a las exactitudes exigidas para nuestro replanteo, como así también densificarlo con una mayor cantidad de puntos que faciliten la tarea de campaña.

Si se trata de un camino rural, el sistema de apoyo más conveniente, por lo simple, es una poligonal, que bien puede ser paralela a la traza, ubicada fuera de la zona de trabajo para garantizar su inmovilidad, o bien la misma poligonal de proyecto, donde se ha abalizado correctamente los vértices, a los fines de reponerlos luego de cada construcción de capa.

Si en cambio la obra se trata de una avenida de penetración urbana, tales como son las autopistas urbanas, las avenidas de circunvalación, etc.; a nuestro juicio el esquema que mejor se adapta es el de replantear una red de triángulos, de lados cortos (aproximadamente 200m), cuyos vértices son materializados desde una poligonal de origen construida por el eje de la traza. Esta densificación de puntos que conforman triángulos, nos brinda las siguientes ventajas: los ubicamos fuera de la zona de trabajo, siempre desde un punto del sistema tendremos, al menos buena visibilidad hacia otros dos del mismo, el traslado hacia otro punto para colocar la señal de puntería es rápido, y fundamentalmente, en las zonas donde se ejecuten terraplenes, va a ser imposible mantener la visibilidad entre los puntos enfrentados, quedándonos en consecuencia, de la manera planteada dos poligonales, una a cada lado de la obra.

Resumiendo entonces, el primer paso es construir una poligonal sobre la base de la poligonal existente, procurando que los lados sean lo más largo posible. Hacer una correcta acotación de errores para adecuar las exigencias de la medición a las tolerancias de la obra; con el instrumental disponible deducimos los métodos emplear para la medición de los ángulos y distancias. Medimos, vinculamos a un Sistema General, si fuera posible, y compensamos.

Ya definidas las coordenadas de los vértices de nuestra poligonal, encaramos la tarea de relevar aquellos puntos que existen en la realidad y a los cuales va a estar atada nuestra obra. Tales como los ejes de las calles que intersectan el proyecto, cañales que obligatoriamente deben empalmar con canales a construir, puentes y obras de artes menores que van a ser aprovechadas, edificios que lindan con el proyecto a ejecutar y sobre todo las líneas (materializadas o amojonadas) que representan el límite entre la propiedad privada y la propiedad de uso público, es decir las líneas de afectación. Tendremos, de esta forma definido cada punto con sus coordenadas y cada línea con su ecuación en el mismo sistema de referencia que la poligonal de apoyo.

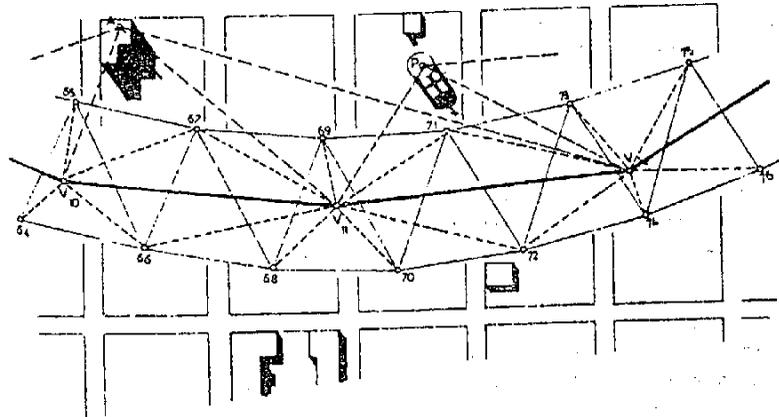
El próximo paso es entonces, comparar estos valores obtenidos con los que están expresados en el proyecto, valorando la dispersión obtenida. Si ocurre que ciertos puntos en algunas zonas, éstos exceden las tolerancias constructivas, será necesario modificar parte del proyecto con el objeto de adecuarse a la realidad.

En otros casos la solución es más simple, y la readecuación con el proyecto origi-

nal se logra modificando el sistema de referencia de la poligonal de apoyo, como puede ser el caso que entre la poligonal que se empleó para el relevamiento que sirvió de base al proyecto y nuestra poligonal, exista un giro debido a un error de orientación.

Habiendo adoptado una u otra solución, ya estamos en condiciones de construir el modelo propuesto. Desde los vértices de nuestra poligonal ajustada, colocamos los puntos que materializan los vértices de la red de triángulos radiando polarmente con un taquímetro electroóptico, o bien mediante bisección. Para tal fin, previamente hemos calculado las coordenadas aproximadas de estos puntos, garantizando figuras regulares y asegurando que los mismos queden ubicados fuera de la zona de ocupación o en las veredas de la futura obra. Previamente, también, hicimos la correspondiente acotación de los errores de medición, necesarios para el logro de las exactitudes impuestas.

A medida que vamos densificando nuestro sistema de apoyo principal, vamos también midiendo y calculando las coordenadas de aquellos puntos que ya hemos mencionado es decir, los puntos reales visualmente dominantes (pararrayos, antenas, etc.)



#### Sistema de Puntos fijos altimétricos

Para construir el sistema de apoyo altimétrico, seguimos exactamente los mismos pasos.

Al materializar la poligonal geométrica, efectuamos una nivelación en ida y vuelta entre puntos que se encuentren a distancias iguales a una jornada de trabajo, pasando por los vértices de la poligonal, calculamos los desniveles y tomamos los valores promedios, vinculamos con puntos acotados de I.G.M. y relevamos aquellos puntos antes vistos.

Luego damos cota a los vértices de los triángulos efectuando rodeos intercalados entre los puntos acotados de la poligonal de base.



#### I.5b PERFILES PREVIOS

A partir del sistema de apoyo, replanteamos puntos de la traza, tales como los vértices y puntos de línea, para luego poder alinear el eje, los principios y fines de curvas, etc.

Luego volvemos a contruir el piqueteo necesario para levantar nuevamente un perfil longitudinal sobre el eje y perfiles transversales. El criterio para la selección de estos puntos, no es necesario reiterarlo pues ya lo hemos visto, en reiteradas oportunidades.

Mientras un equipo de topógrafos va construyendo el piqueteo otro grupo va levantando los perfiles. Este equipo está integrado por personal de la empresa contratista y por topógrafos representantes de la repartición de Vialidad, y los perfiles levantados reciben el nombre de Perfiles Previos.

Estos se hacen en forma conjunta, porque el interés de ambos es que se asemejen lo más posible a la realidad, aún así habrá diferencias de criterio en cuanto al método o a la selección de los puntos, que habrá que compatibilizar.

Recordemos que cuando hablamos del cómputo del movimiento de suelos, allí dijimos que éste se hacía comparando el perfil teórico del proyecto con el perfil previo, deducido la capa de suelo vegetal.

El perfil teórico ya está definido, es fijo. En cambio el perfil previo lo estamos definiendo ahora. Un error de lectura en un punto fijo o calcular mal un plano visual puede significar una considerable diferencia económica, (recordemos la importancia de la incidencia que sobre el monto de la obra tiene el transporte del movimiento de suelos).

Este levantamiento se hace sobre planillas que adquieren el carácter de actas y quedan archivadas en la Dirección de Vialidad.

Este procedimiento es general para cualquier tipo de obra; siempre antes de comenzar con el replanteo hay que levantar perfiles previos. Y esto lo remarcamos, ya que más de una vez ha sucedido que éstos difieren considerablemente con los ejecutados en el relevamiento, como así también que por olvido no se hicieron, y luego no hubo una base real para el cálculo y cobro del movimiento de suelos.

Hemos expresado en otras oportunidades que por razones de tiempo y economía, una obra no comienza en un solo punto, sino que se hace desde varios frentes de ataque.

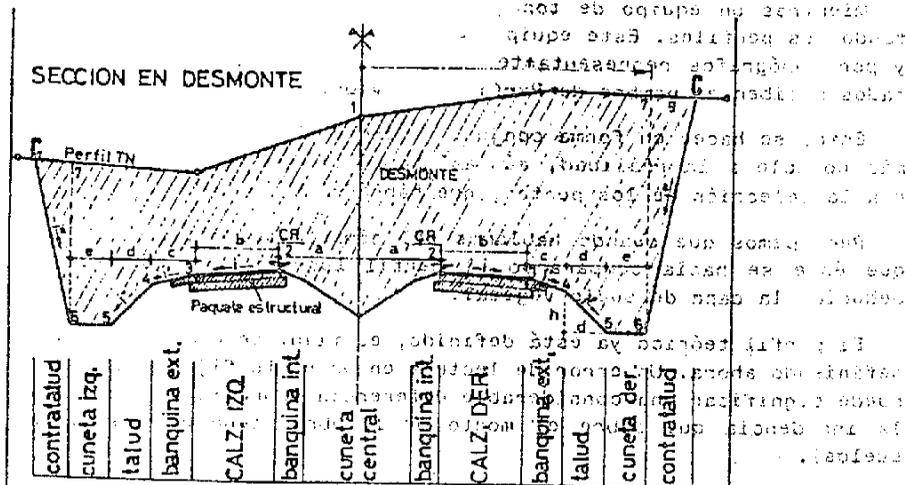
En los caminos en particular, hay que separar dos tareas bien diferenciadas. El movimiento de suelos por un lado y la construcción de puentes y obras de arte por otro.

En la construcción de las obras de arte, ya mencionamos que éstos deben ejecutarse antes que los terraplenes, por lo tanto, las alcantarillas que va en terraplén, se construyen apenas comenzada la obra, y éstas están dispersas a lo largo de todo el desarrollo del proyecto.

Por otra parte vimos también, que los suelos remanentes de una cámara de desmonte se transportaban para la compensación del terraplén, ello significa, que comenzamos a trabajar en el movimiento de suelos simultáneamente en dos puntos que pueden estar bastante alejados entre sí.

### I.5c REPLANTEO DEL PERFIL EN DESMONTE

Nuestro trabajo consiste en replantear el perfil teórico definido para cada progresiva. Cuando la cota de la rasante se encuentra por debajo del terreno natural, para llegar a él, hay que realizar un desmonte. Para ello se define y replantea la línea de corte. En el croquis el punto C.



Para demarcar estos puntos podríamos proceder de la siguiente forma:

- 1) Replanteamos el eje de la traza sobre el terreno natural (1).
- 2) En esa progresiva, el perfil teórico tiene la cota (2) de rasante, a una distancia (a) del eje.
- 3) Conocemos el ancho de calzada (b) y el ancho de la banquina (c) y sus pendientes transversales correspondientes, calculamos las cotas (3 y 4).
- 4) De la altimetría determinamos la cota correspondiente al fondo de cuneta (5) en la progresiva, por lo tanto determinamos el valor de (h).

Para una h determinado, el proyecto fija la pendiente del talud correspondiente; luego podemos determinar (d).

- 5) Los pliegos fijan un ancho mínimo de cuneta (e). Si se exige pendiente transversal, calculamos la cota (6).
- 6) Replanteamos en el terreno la distancia  $f = (a+b+c+d+e)$ , y determinamos la cota (7).
- 7) Calculamos la diferencia 7-6 que multiplicada por la pendiente del contratalud  $i'$ , obtenemos la distancia al punto C. Eso es así, si el plano que pasa por 7 fuese horizontal.

Pero no es así, entonces, replanteamos esa distancia obtenida (g) y tomamos un nuevo punto (8). Hacemos la diferencia 8-7, volvemos a multiplicar por la pendiente  $i'$  y seguimos hasta que la diferencia no sea significativa.

Si en obra se dispone de una computadora, podemos proceder de esta otra forma:

Creamos un archivo y guardamos los datos obtenidos de, los perfiles previos, los parámetros del perfil tipo y de la altimetría.

Luego introduciendo los siguientes datos:

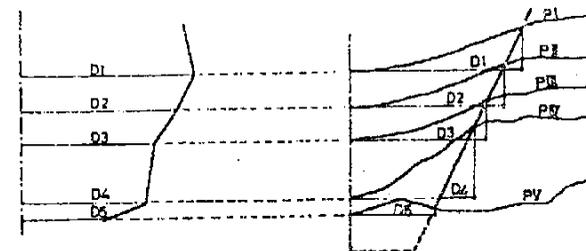
Progresiva y código que identifique al perfil tipo: La computadora busca la cota de rasante y cuneta correspondiente, efectúa el procedimiento de cálculo antes visto y determina inmediatamente las coordenadas de los puntos C, por intersección de rectas.

De esta forma, antes de ir a campaña, tenemos un listado de las coordenadas de estos puntos.

Además del gran ahorro de tiempo que esto significa, ganamos en seguridad, pues disponemos de un control (lo que siempre se busca en los replanteos), ya que al materializar la distancia del corte, tomamos la cota del punto y esta debe coincidir dentro de las tolerancias con la calculada.

Es muy importante ser prolijo y cuidadoso en la demarcación de esta línea, ya que si se desmonta un volumen mayor que lo expresado en el proyecto, este trabajo no recibe pago. Más aún, los caminos de montaña, donde el movimiento de rocas es más costoso.

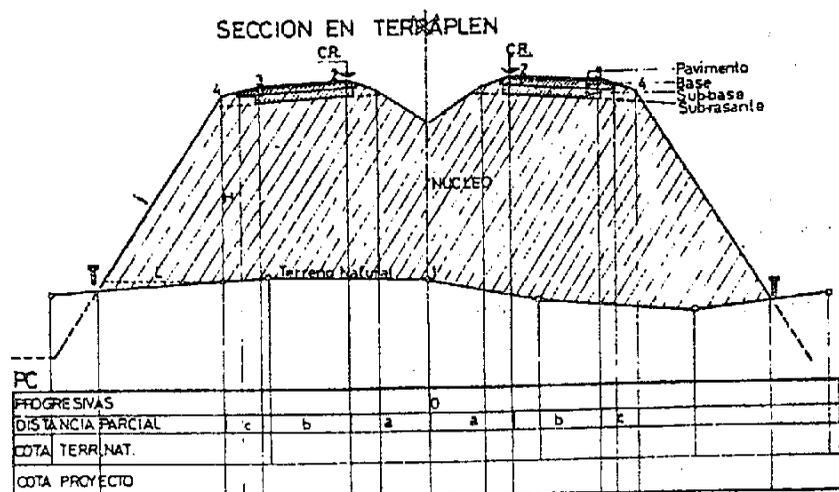
Esto que llamamos línea de corte, no es una recta, aunque el eje de la traza sí lo sea, pues cuanto mayor es la diferencia de altura, mayor es la distancia que se aparta del eje, es decir, es una curva que no responde a ninguna ley matemática.



Sin embargo, si en cada punto de esa línea, colocamos un jalón y le damos la pendiente correspondiente al contratalud, podemos observar que todos ellos se encuentran sobre un mismo plano inclinado.

La construcción del desmorte se va haciendo, extrayendo el material por capas, hasta llegar a la base de asiento del terraplén. Periódicamente se replantea el eje, se toma la cota y se calcula nuevamente la distancia al corte. Pero ahora es más sencillo, ya que las topadoras han dejado una superficie aproximadamente horizontal.

### I.5d REPLANTEO DEL PERFIL EN TERRAPLEN



Similar pero quizás más simple es determinar el pié de talud, puntos "T", en el croquis.

Un procedimiento es el siguiente:

1. Replanteamos el eje (1).
2. Conocemos la cota de la rasante para esa progresiva (2) y el ancho (a).
3. Con las pendientes de la calzada y la banquina y sus anchos (b y c), podemos calcular las cotas (3 y 4).
4. Replanteamos  $d = (a+b+c)$  y tomamos la cota (5).
5. La diferencia  $h = 4-5$ , nos dirá la pendiente que le corresponde al talud y si al ancho del coronamiento, corresponde sumar un sobreaño para colocar baranda de protección. Luego podemos calcular, como en el caso del desmorte la distancia del pié de talud;  $L = H/i$ .

Como en el caso anterior, también aquí podemos obtener estas distancias previamente con el empleo de una computadora, calculando la intersección de la recta que define el talud con el perfil del terreno natural.

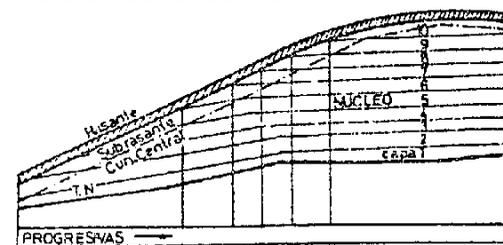
Para la construcción del terraplén, hay que repetir esta operación cada vez que se coloca una capa de material y se compacta.

No sólo hay que replantear el límite del perfil transversal, sino, sobre el perfil longitudinal, el límite hasta donde llega el núcleo.

Tanto en terraplén, como en desmorte se repite el procedimiento, ya que debemos llegar a la subrasante.

La subrasante es la superficie límite del núcleo, sobre la cual asienta el paquete estructural.

### SECCION LONGITUDINAL



### Tolerancia para el replanteo del Núcleo

Planimétricamente no hay tolerancia; se exige que el ancho sea algo mayor que el teórico, nunca menor.

Altimétricamente tampoco, sólo se controlan algunos niveles por capa, para asegurar que el espesor entre capa y capa, sea el establecido por pliego.

### Tolerancia para el replanteo de la Subrasante

El pliego general de especificaciones técnicas de V.N, fija las siguientes tolerancias altimétricas:

En tramos rectos, la diferencia de cotas entre ambos bordes será menor del 4% del ancho teórico de la subrasante. Es decir que si  $L = 20m$ , entonces  $T = \pm 8cm$ .

En tramos curvos, la tolerancia es de 5%.

La flecha del perfil es la indicada en los planos, admitiéndose una tolerancia del 20% en exceso y del 10% en defecto.

El pliego aclara que el control de los bordes, debe hacerse previo al control de la flecha.

### I.5e REPLANTEO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Generalmente el paquete estructural está formado por dos capas de suelo seleccionado, la sub-base, colocada sobre subrasante, y la base, sobre la cual se apoya la carpeta asfáltica, el tratamiento bituminoso o el pavimento de hormigón.

Las tolerancias altimétricas son las siguientes:

Diferencia de cotas entre bordes	Base ± 3cm.	Sub-base ± 5cm.
Exceso en la flecha	" + 1cm.	" + 2cm.
Defecto en la flecha	" 0	" 0

Planimétricamente, al igual que el terraplén, no se admiten tolerancias en menos.

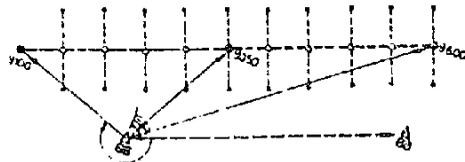
En base a lo anteriormente expuesto, podemos deducir una forma de ejecutar el replanteo, ajustándonos a las tolerancias prefijadas.

Cualquiera sea el replanteo que fuera necesario realizar, o en distinta etapa, vamos aplicar idéntico criterio. Desde puntos del Sistema Principal, colocamos dos o tres puntos que definan el eje geométrico de la traza, cuyas progresivas sean de valores enteros; como por ejemplo si se desea replantear una cancha que va desde la progresiva 9140 a la progresiva 9560, calcularemos las coordenadas correspondiente al punto que represente la progresiva 9100, 9350 y 9500.

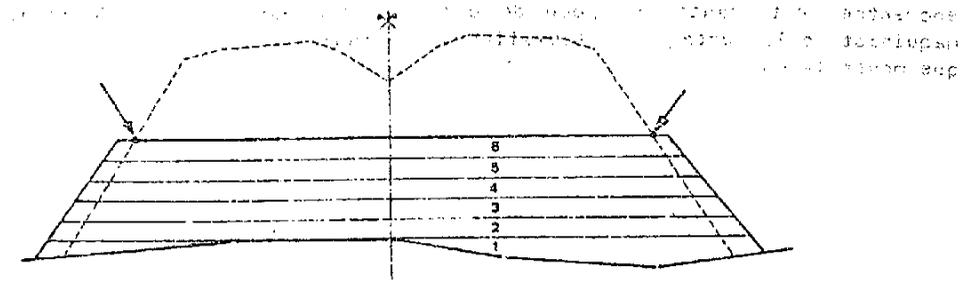
El replanteo de estos puntos, podemos hacerlo de las formas ya vistas, es decir polarmente o con bisección.

Luego entre estos puntos se intercalan estacas, por ejemplo cada 25m, alineándolas en el caso de tramos rectos, o aplicando algún método de replanteo de curvas cuando sea necesario.

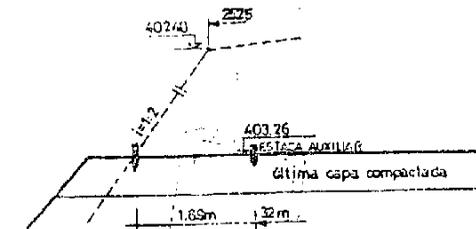
Posteriormente, desde cada uno de estos piquetes, mediante el empleo de una escuadra óptica, definimos la posición del perfil transversal que pasa por la progresiva, que la mencionada estaca, está materializando.



En el caso que estemos marcando una capa de núcleo del terraplén, es suficiente con colocar dos estacas del perfil; aquellas que definen la posición del pie de talud de la próxima capa a cargar.



Para tal fin, colocamos una estaca sobre el perfil transversal, a una distancia aproximadamente igual al ancho a replantear; terminado de hacer esto, en toda la extensión que ocupa la cancha de trabajo, las nivelamos para conocer la cota de la última capa en ese punto, interceptamos (analíticamente) la recta definida por ella con la recta que materializa el talud; obteniendo en consecuencia la distancia a la que debería estar el pie de talud. Haciendo la diferencia entre la distancia calculada con la distancia a la cual se colocó la estaca auxiliar, obtenemos la corrección a efectuar.



$$\Delta H = 407,48 - 403,26 = 4,22 \text{ m.}$$

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta L} = \frac{1}{2} \Rightarrow \Delta L = \frac{\Delta H}{I} \cdot L = 25,25 + (\Delta H \sqrt{I}) = 25,25 + 8,44 = 33,69 \text{ m}$$

$$\text{Corrección: } 33,69 - 32,00 = 1,69$$

De esta forma, seguiremos hasta llegar a la zona donde las calzadas se separan para dejar lugar a la cuneta central, en este caso habrá que colocar cuatro estacas en cada capa, repitiendo el proceso antes mencionado. (Figura 1)

Cuando se llega a la subrasante, habrá tolerancias que cumplir, por lo tanto esta superficie debe ser nivelada a la cota que fije la altimetría del proyecto.

Para ello, el replanteo ahora se hace demarcando el ancho del paquete estructural más el sobreancho correspondiente indicado en el perfil tipo (Figura 2). Ya no trabajamos cada 25m, sino que lo densificamos colocando puntos cada 12,50m (en el medio de dos perfiles) o calculamos perfiles cada 10m.

Esta superficie a replantear, la subrasante, será nivelada mediante el empleo de una motoniveladora; a tal fin, en cada perfil, las estacas que demarcan el ancho de la caja se las nivela a cabeza de estaca, dejando en aquellos casos, en que se

encuentren enterradas, un poco de cal en polvo para que sea de fácil ubicación al maquinista o los estaqueros (auxiliares que indican al motoniveladorista cuánto tiene que mover la cuchilla en cada caso). (Figura 3)

Figura 1

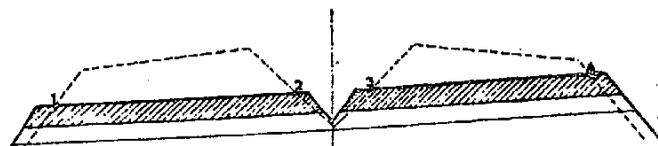


Figura 2

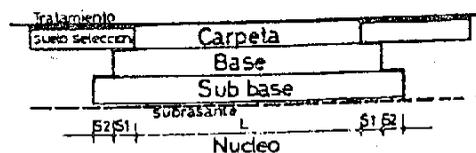
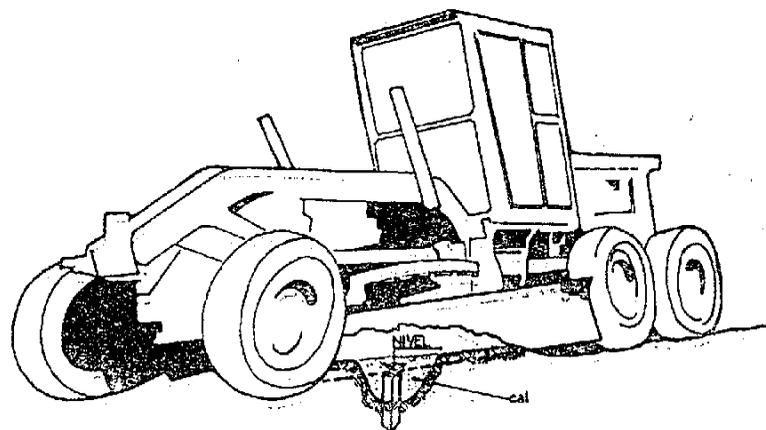


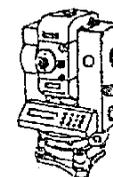
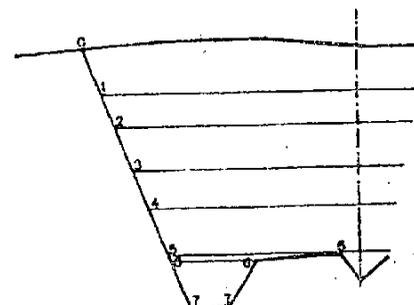
Figura 3



Repetimos este procedimiento para cada capa del paquete estructural, pero cuidando en cada caso, de extremar la nivelación para que esté, dentro de las tolerancias correspondientes.

En el caso del replanteo de los desmontes, se comienza también ubicando sólo las estacas que definen la línea de corte del contratalud, repitiendo este proceder en cada capa que se desmonta. Cuando nos encontramos próximos ya a la zona de la sub-rasante se indican en las estacas de corte, la profundidad a que se encuentra la

misma, a los efectos que la extracción de material no se exceda. Luego habrá que replantear el perfil transversal completo, a los fines que las máquinas continúen su labor en las zonas de cunetas. El replanteo de la sub-rasante y del paquete, es igual a lo ya expresado.



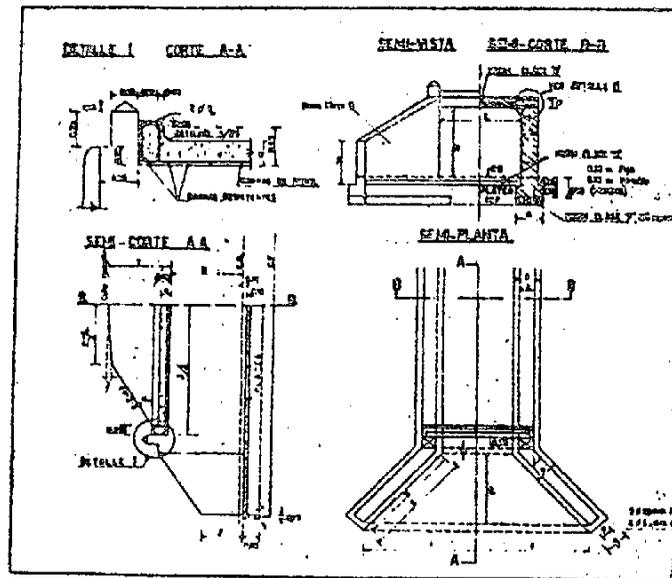
## I.6 REPLANTEO DE LAS OBRAS DE ARTE

### I.6a REPLANTEO DE ALCANTARILLAS

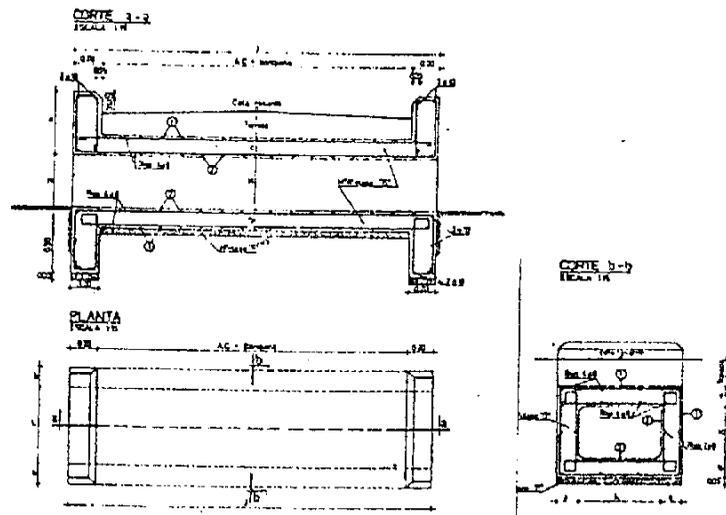
**R**ealizamos una clasificación muy general, y vamos a decir, que podemos indentificar dos tipos de alcantarillas.

- a) Alcantarillas de hormigón
- b) Alcantarilla de caños

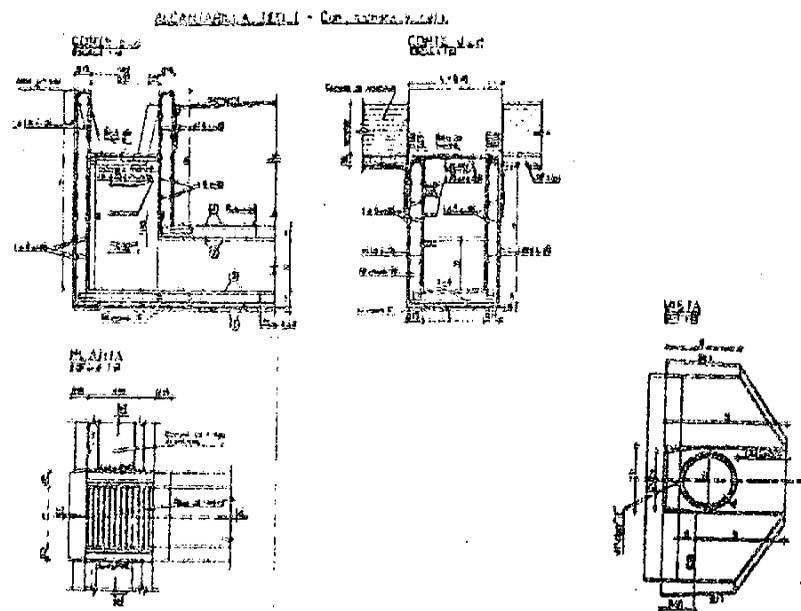
Dentro de esta división, diremos que las alcantarillas de hormigón pueden ser: Los tabiques de hormigón simple y la losa armada.



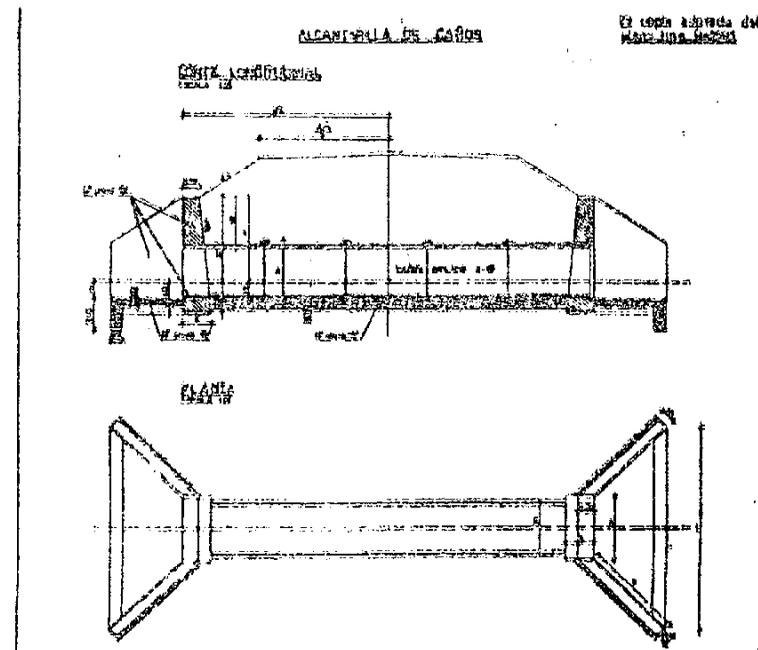
Tabiques, platea y losa armada.



Pueden tener muros de ala a la entrada y salida, una cámara o sumidero a la entrada.



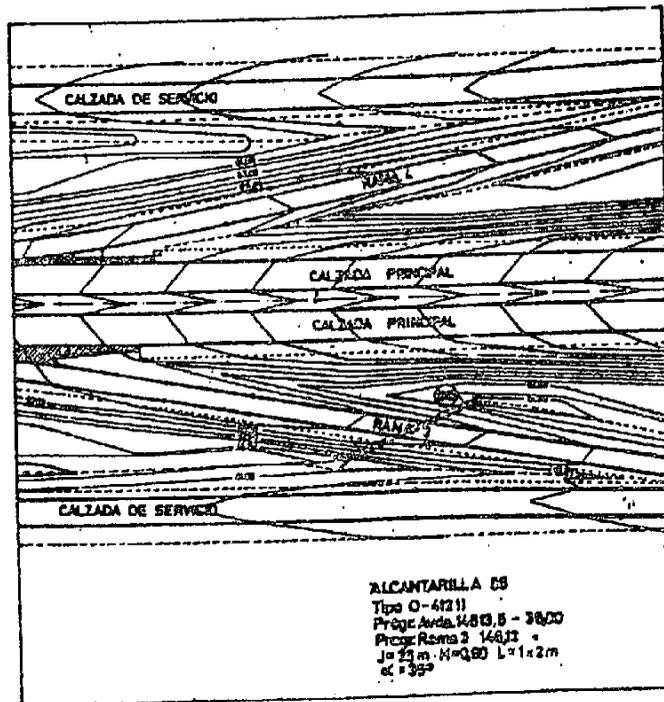
Las alcantarillas de cajón, pueden estar asentadas sobre una cama de arena, o un asiento con hormigón simple, etc. Como en el caso anterior, también pueden tener muros de alas, cámaras o sumideros.



El proyecto de una alcantarilla está hecho de tal forma, que si se modificara su pendiente variaría el tirante, y con él, la velocidad de oscurecimiento trayendo como resultado que el caudal evacuado por la obra en funcionamiento sería distinto al previsto. Lo mismo ocurriría si sufriera un cambio la cota de la solera, pues esto produciría una alteración de las pendientes de las cunetas, aguas arriba y aguas abajo, lo cual nos conduce a efectuar esta observación, generalmente, salvo raras excepciones, privilegiaremos el control altimétrico sobre la ubicación planimétrica.

#### Verificaciones previas

Supongamos una alcantarilla, ubicada sobre una rama de desaceleración de una autopista urbana, tal como la obra N° 85 del croquis que sigue:

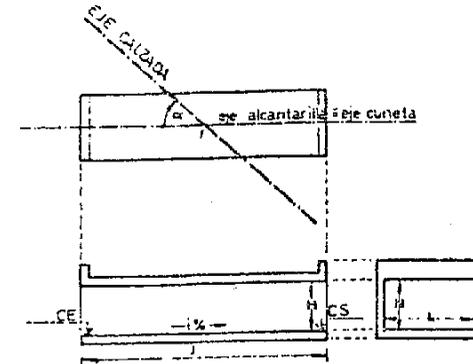


Al crearse la rama en el proyecto, el drenaje de la cuneta se ve interrumpido, pero para asegurar su continuidad, se diseña una alcantarilla que pase por debajo de dicha calzada.

Para poder llevar a cabo el replanteo de cada obra, los planos de proyecto las ubican, identifican, y definen los parámetros de la siguiente forma:

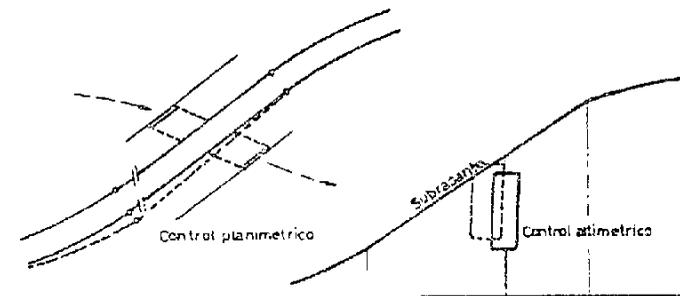
1. Tipo de alcantarilla.
2. La progresiva del punto I, tomada sobre el eje o un bordo de la rama.

- 2' O por la progresiva del mismo punto I, referida sobre el eje geométrico de la avenida.
- 2'' O por las coordenadas X e Y del punto I.
3. El ángulo de intersección del eje de la obra con el eje de calzada.
4. El largo (J), ancho (L) y la altura (H).
5. Cota de entrada - Cota de salida - Pendiente.



A partir de los elementos que disponemos del proyecto geométrico, podemos calcular o verificar, las coordenadas del punto I.

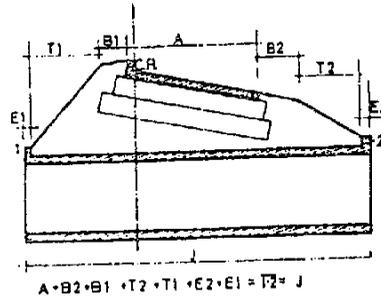
Simultáneo a ello, se hace necesario revisar el proyecto geométrico de la rama, la colectora de servicio o la calzada que pase por sobre la obra, con el objeto de asegurarnos que más tarde, cuando se construya la calzada, el terraplén y el paquete estructural pasen realmente por donde corresponde.



También se debe verificar que el pie de talud del terraplén, coincida con el muro de guardarrueda en la posición proyectada.

Para ello, a partir de la posición del punto de aplicación de la rasante y la cota correspondiente en la progresiva proyectada, se calculen las cotas de los bordes de calzada y las cotas de las banquetas.

Las diferencias de altura, entre los bordes exteriores de las banquetas, con el nivel superior de la losa de la alcantarilla, divididas por la pendientes de los taludes, obtendremos las distancias T1 y T2. Sumadas éstas, a los anchos de las banquetas (B), a los espesores de los muros guardarruedas y al ancho de la calzada, debemos obtener una magnitud igual a la distancia de proyecto (J).



### Replanteo de la excavación - Replanteo de la Obra

Verificadas las coordenadas del punto I, y el rumbo del eje de calzada, calculamos el rumbo del eje de la obra de arte, sumando al anterior el ángulo de proyecto.

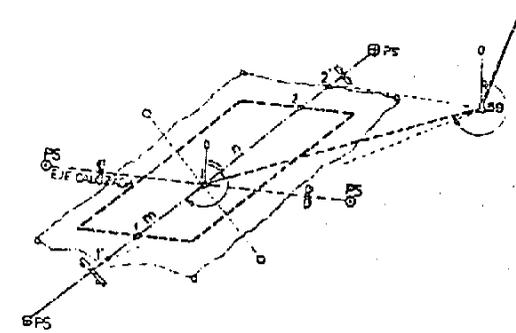
Como siempre, el primer paso es ubicar los cuatro esquineros de la excavación (dimensiones de proyecto más un sobreancho), lo podemos lograr de distintas formas:

1. Replantar el punto I polarmente desde un punto del sistema de apoyo o por bisección desde dos vértices. Estacionados en I, orientando el instrumento con el punto del sistema, provocar el rumbo de la obra y materializar los puntos 1' y 2', midiendo las distancias "m y n". Desde dichos puntos colocaremos luego, los esquineros que nos habíamos propuesto.
2. Calcular las coordenadas de 1' - 2', y materializarlas directamente desde el sistema de apoyo.
3. Calcular las coordenadas de los vértices de la excavación y colocarlos sin paso previo desde el Sistema Principal.

Esta etapa concluirá con la nivelación de los cuatro puntos extremos, indicando la profundidad a excavar.

$$H = \text{Cota TN} - \text{Cota de fundación}$$

Sin embargo, aprovechando la oportunidad de poder trabajar con el Punto I, antes que desaparezca bajo la acción de las máquinas excavadoras, es conveniente estacionarse en él y replantear los puntos secundarios que materialicen el eje geométrico de la obra (colocados a suficiente distancia para evitar su destrucción), al mismo tiempo que se replantean los puntos secundarios que representan la dirección del eje transversal. Como alternativa, en lugar del eje transversal, puede ser el eje de la calzada.

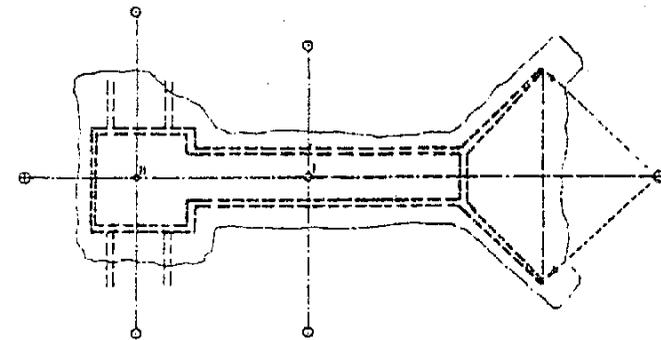


Realizada la excavación, se pasarán los ejes a vallados que a tal fin colocarán los constructores. Materializados los ejes con alambres, serán la referencia necesaria para que los constructores corrijan los anchos de la excavación, construyan la presolera, coloquen las armaduras de soleras tabiques y losas, los encofrados; en otras palabras, será el marco de referencia que utilizarán permanentemente hasta finalizar la obra.

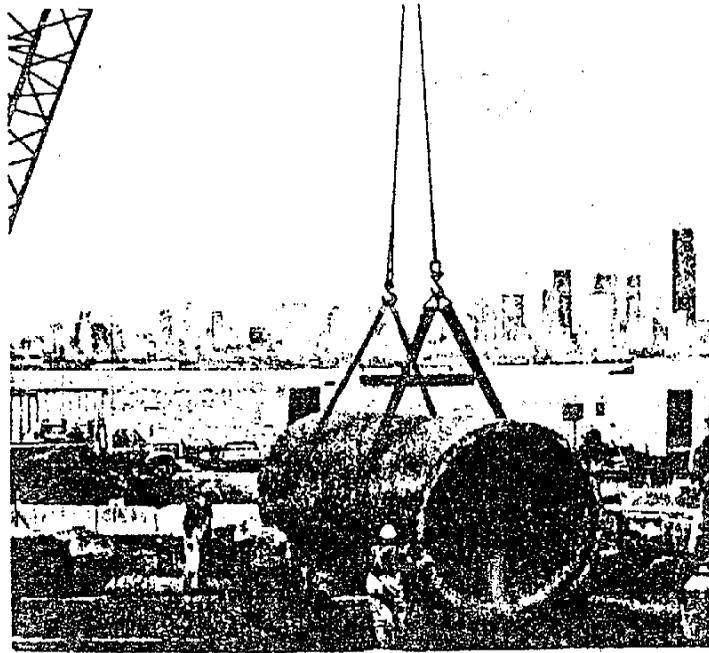
Esto en cuanto a la planimetría, para la altimetría, será necesario colocar al menos un par de hierros nivelados "a cabeza", en las proximidades de los extremos, que les informe a los constructores cual es la cota del nivel de fundación, o el nivel superior de la presolera o de la solera.

Ahora si tienen todos los elementos como para replantear el plano de la obra, sin ninguna otra intervención del Agrimensor o Topógrafo. Salvo que se trate de una medición de control, que conforme a la importancia que le asignamos a la altimetría del desagüe, es conveniente, nivelar a los fines de control de las guías que se coloquen para el corte de hormigón de la solera, (cota de desagüe). Esta nivelación se hará desde el punto fijo acotado, más próximo a la zona de trabajo, y desde el cual se acotarán las anteriores referencias mencionadas; lo ideal es que este punto fijo coincida con uno de los puntos secundarios del extremo, mientras el opuesto se emplea para control de cierre.

Si en algunos de los extremos lleva muros de alas, no es necesario crear ningún sistema auxiliar de replanteo, pues calculando las coordenadas de los vértices de estos, pueden ser replanteados desde el P.S. más próximo, y si en lugar de muros lleva una cámara, en este caso podemos agregar al sistema otro eje transversal, coincidente con el eje de la misma.



Algo diferente será el procedimiento, si la obra se tratase de una alcantarilla de caños, pues implica un trabajo extra, que es el de colocar y controlar la posición de caño por caño.

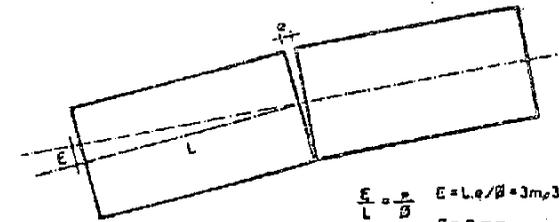


La principal dificultad se debe que al colocar un caño dentro de la espiga del anterior, éste puede quedar fuera de línea (tanto planimétricamente como en la altimetría), lo que atrae aparejado que al colocar el próximo y forzarlo para que vuelva a la dirección original, se producirá una separación en las uniones de los caños por las cuales se filtrará el agua.

Es decir, tendremos dos tolerancias que cuidar:

1. General, la tubería deberá partir de un punto (cámara, sumidero, muros, etc.) y llegar a otro punto.
2. Particular, cada caño no podrá apartarse de la línea una distancia mayor, que la que resulte como consecuencia de la máxima separación admisible en las juntas.

A modo de ejemplo, para ver cómo deducimos y con qué exactitud debemos replantear la alineación de cada caño, supongamos que estamos trabajando con tubos de 1m de diámetro ( $\varnothing$  1000), de 3m de longitud, y que se admite una separación en las juntas de  $\pm$  3mm, (tolerancia constructiva).

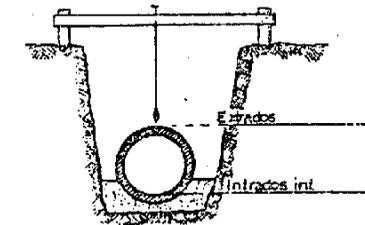
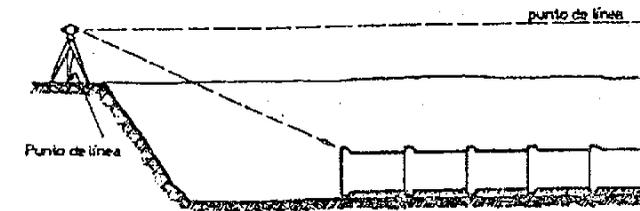


$$\frac{E}{L} = \frac{e}{B} \quad E = L \cdot \frac{e}{B} = 3m \cdot \frac{3mm}{1m}$$

$$E = 9mm$$

Error más admisible = 9mm

Para ello como siempre, replanteamos el eje con clavos sobre caballetes; desde ellos con plomada de albañil, los encargados ubicarán el caño en posición y antes de ser colocado definitivamente un topógrafo lo determinará correctamente el centro y lo alineará a éste, ópticamente.



### Replanteo de la altimetría

Al igual que en las alcantarillas de hormigón, colocamos estacas indicando la línea de corte, y sobre una paralela auxiliar, estacas indicando la profundidad a excavar.

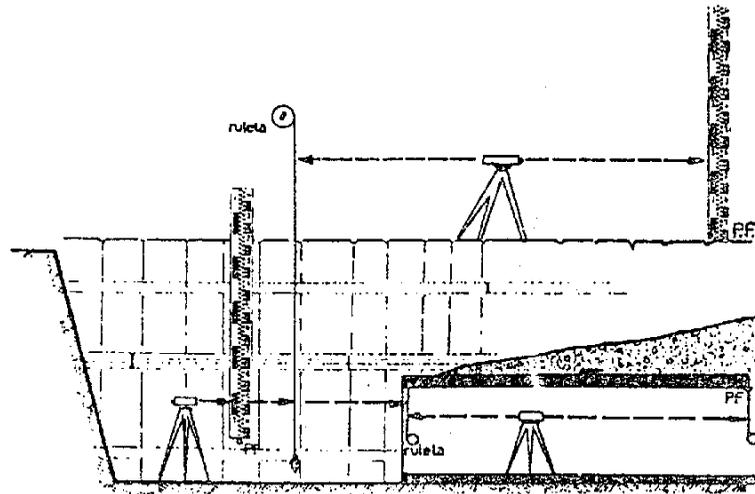
Una vez realizada la excavación, volvemos a replantear el eje (ahora sobre ésta) para permitir que se profile el terreno y se prepare la base de asiento. Este eje es materializado con pinchotes de hierro, los cuales, luego son nivelados (puestos en cota) indicando la cota de intrados o bien la cota de los dados de asiento.

Si la excavación es poco profunda, pasamos el nivel desde un punto fijo de la superficie leyendo la mira colocada directamente sobre el hierro. Tendremos presente

que vamos a leer en la parte superior de la mira, aproximadamente 3m., donde influye el error de verticalidad de ésta y su longitud inexacta.

Si en cambio, la excavación supera los 2m., habrá que bajar periódicamente dentro de ésta puntos fijos de referencia, los cuales se pueden colocar clavados sobre las paredes de la misma o sobre el entibamiento.

Si el diámetro de los caños lo permite, los puntos de referencia pueden ser colocados dentro de éstos, buscando hacia atrás, aquéllos que ya han sido tapados y el relleno compactado, para evitar que sufran, hundimiento. Estos puntos no se colocan sobre el piso del caño, sino en el intrados superior, y la lectura, en lugar de hacerse sobre una mira, se realiza sobre una ruleta que se cuelga del techo.



La tolerancia a que está sujeta la nivelación, depende de las pendientes del proyecto y las ya deducidas, para evitar que se "abran las juntas". Así por ejemplo, en tuberías de pendientes mínimas, se debe nivelar caño por caño, llevándolo al nivel deseado mediante suplementos que se colocan bajo los mismos.

En cambio, en tuberías de poco caudal y mucha pendiente, es suficiente colocar puntos de nivel a distancias regulares; los que se encargan de la colocación de los caños, interpolan empleando una tanza tendida entre puntos nivelados o se ayudan con el auxilio de una niveleta.

### Niveleta

Necesitamos interpolar puntos acotados (1, 2, 3, etc.), entre dos existentes (A y B). Estos dos puntos materializan los extremos de un segmento de recta inclinada.

Si disponemos de un alfilerado, la forma de trabajar sería la siguiente:

1. Tomamos lectura en A y B.

2. Calculamos el desnivel h.

$$h = H_a - H_b$$

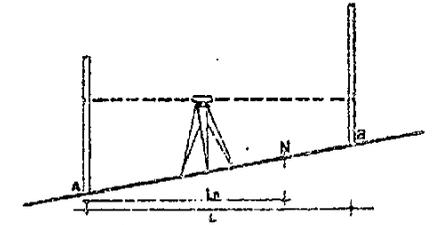
3. Medimos la distancia L.

4. Calculamos la pendiente i

$$i = h / L$$

5. La cota del punto N, será:

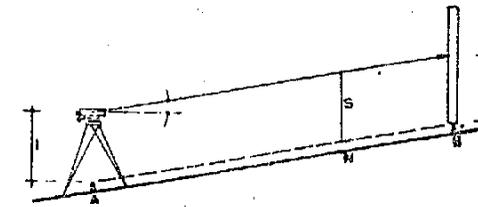
$$H_n = H_a + (i \cdot L_n)$$



Podríamos resolverlo también, prácticamente, sin necesidad de medir la distancia L y las parciales Ln.

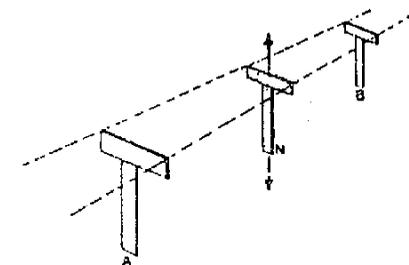
El método consiste en materializar una línea paralela a la recta AB. Para ello, hacemos que i sea igual a s (altura instrumental = altura de señal).

1. Estacionamos el alfilerado sobre el punto A.
2. Medimos la altura del instrumento.
3. Colocamos la mira sobre B y apuntamos ( $i=s$ ) moviendo el eje del anteojo con el tornillo de elevación.
4. N, estará sobre AB, con sólo restar (s) a la lectura de la mira.



Como es fácil deducir, este método puede aplicarse también y con mejores resultados, si en lugar de un alfilerado de burbuja se dispone de un teodolito o de un colimador láser.

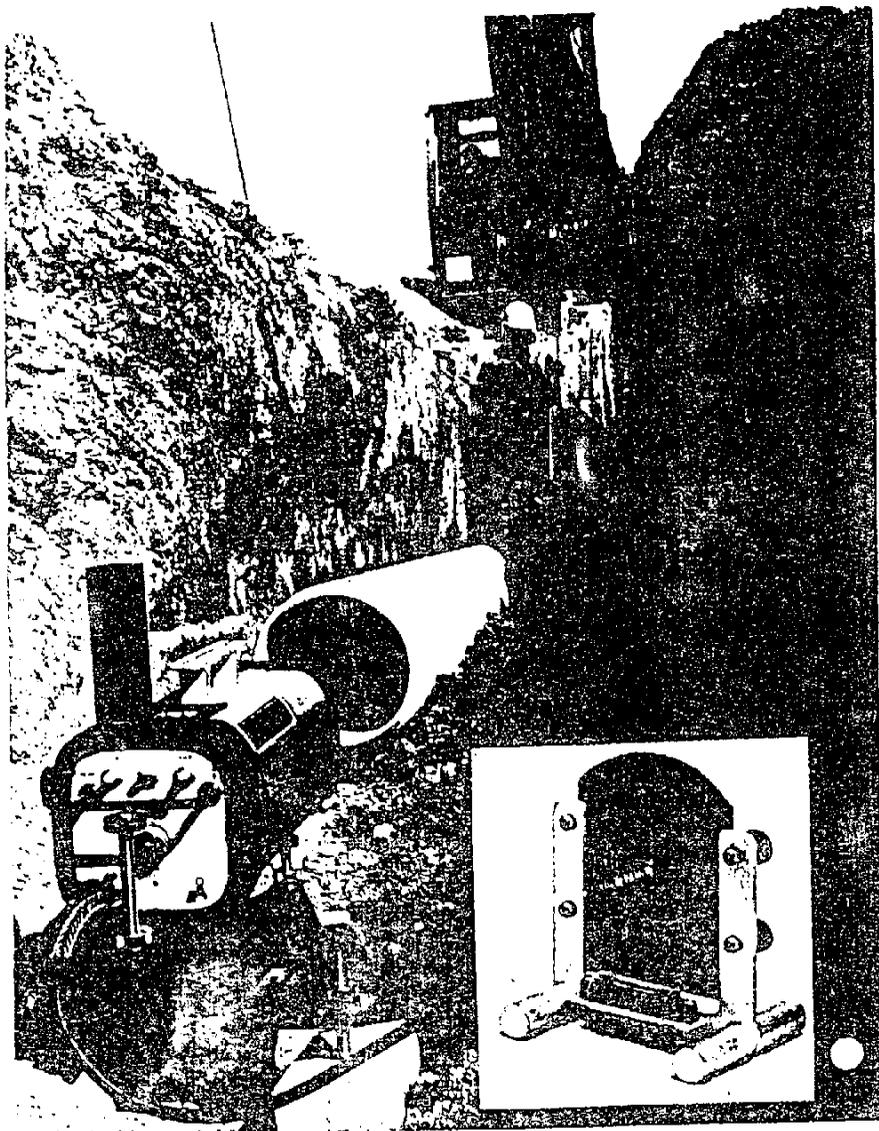
La niveleta, es un instrumento de muy sencilla construcción (similar a una regla T de las que se utilizan en dibujo) que permite aplicar este principio, interpolando a simple vista los n puntos necesarios.



### Aplicaciones del Colimador Laser

Para colocar un caño, cuando las tolerancias son ajustadas, se necesita la intervención permanente y simultánea de dos topógrafos, uno dando la ubicación planimétrica del eje y otro colocándolo en posición altimétrica.

Sin embargo, estas tareas pueden hacerse sin la presencia permanente del responsable de la topografía, valiéndonos de la ayuda de un colimador laser.



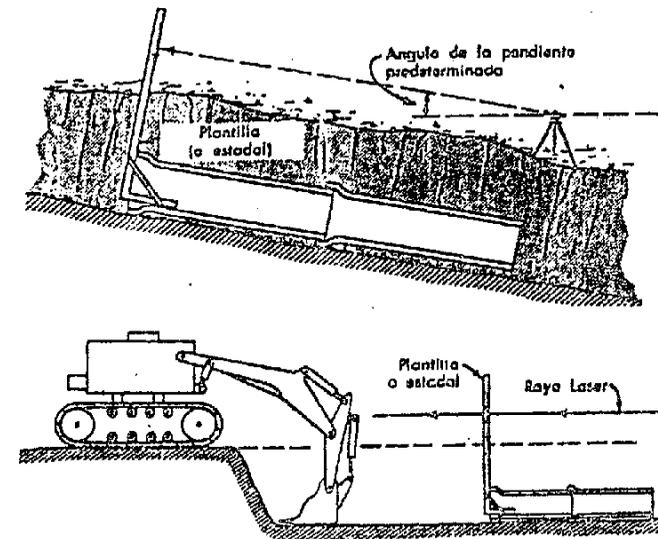
Disponemos de dos maneras de realizar el trabajo:

Cuando los caños son de escaso diámetro; ubicamos el colimador sobre la superficie, de tal manera que materialice un eje paralelo, sobre el plano vertical que pasa por el eje de los caños, de esa forma, tanto los encargados de ubicar los caños, como los encargados de la excavación disponen permanentemente de un punto luminoso que le indicará la posición espacial del eje.

Esta forma de trabajo, presenta una dificultad, el rayo se ve casi constantemente interrumpido, por las máquinas y el personal que está colocando los caños o construyendo el terraplén de relleno, o bien por las excavadoras.

La otra posibilidad, más ventajosa es cuando los caños son de gran diámetro en ese caso podemos instalar el colimador dentro de una cámara o en el extremo de la obra, y enviar el rayo coincidiendo con el eje o bien desplazado hacia el borde superior o inferior. De esta manera, y con el auxilio de una plantilla, construida para este trabajo, centramos correctamente cada caño, en línea y en cota, sin interferencias de ningún tipo.

#### *Excavación de zanjas y tendido de tuberías*



Medidas de control, para la excavación y tendido de tuberías de drenaje hechas con ayuda del laser.

### I.6b REPLANTEO DE LOS MUROS DE SOSTENIMIENTO

Los muros de sostenimiento se emplean para detener el terreno o masas de materiales sueltos, a los que no se les puede permitir, que adopten su talud natural. Se presentan por ejemplo, cuando al construirse una carretera, el ancho debe ser fijo y los muros deberán contener desmontes o terraplense. Es también el caso de los estribos en los puentes.

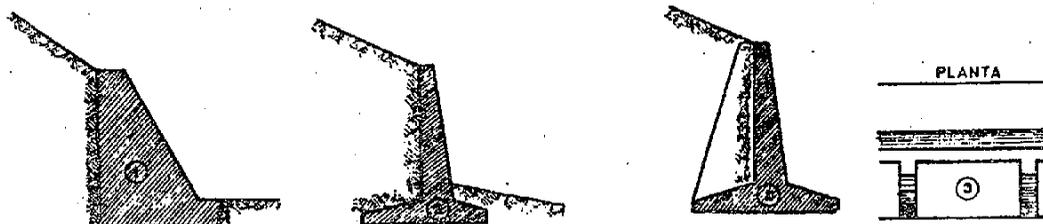
Los muros más usuales son los siguientes:

Muros de gravedad: contienen la tierra por la acción de su peso propio, exclusivamente. (1)

Muros de hormigón en ménsula: están formados por una pantalla vertical que contiene al terreno y que se encuentra empotrada a una zapata. En los muros de este tipo, el peso del relleno que actúa en la parte dorsal del muro y que se suma al peso propio de éste, contribuye para la estabilidad del mismo.

Debido a que la pantalla trabaja como ménsula vertical, el espesor que tendrá crece rápidamente con su altura. (2)

Muros de hormigón con contrafuertes: para reducir los momentos flectores en los muros en los muros verticales de gran altura, se emplean contrafuertes. (3)



Distinto es el caso de los muros de sostenimiento, respecto a las alcantarillas en lo que al replanteo se refiere, pues en este caso no podemos colocar un par de puntos secundarios que materialicen el eje, ni caballetes; como tampoco, debido a las alturas de los muros, replantear un sola vez el nivel y que sirva de referencia para toda la obra, por lo tanto, debemos proceder conforme con una secuencia de etapas a seguir.

#### Replanteo del desmonte:

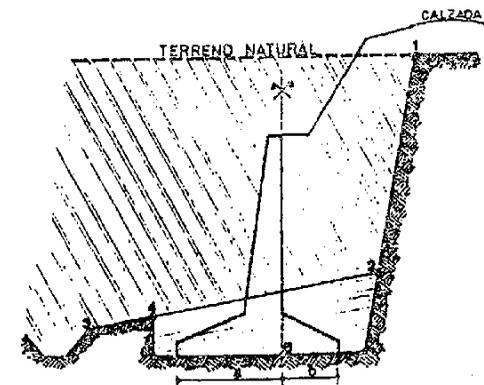
1. Replanteo del punto (1) y la pendiente del contratalud (1-2). Previendo un exceso de ancho en la excavación que permita el colocado de puntales para el encofrado y el movimiento de los obreros.
2. Realizado el corte del desmonte hasta el nivel (2), replanteo de la superficie (2-3).

#### Replanteo de la excavación:

3. Replanteo del punto (4), e indicación de la profundidad de excavación en cada piqueta colocado.

$$H = \text{Cota punto} - \text{Cota Fundación}$$

4. Replanteo del eje de la obra, punto (5) y los anchos a y b, para el perfilado de la excavación.



#### Replanteo de la Obra:

5. Replanteo del eje en cada quiebre planimétrico y puntos intermedios de línea, si esta distancia es muy larga.
6. Replanteo del ancho de la zapata.
7. Colocación de un hierro nivelado "a cabeza", en cada uno de los vértices de la poligonal del eje, o bien sobre una traza paralela, indicativa de la cota que en esos puntos tiene la superficie superior del hormigón de limpieza. Igual proceder se llevará a cabo en los puntos de inflexión de la altimetría de fundación.
8. Fraguado el hormigón de limpieza, sobre el mismo se repite el replanteo de ejes y anchos de zapata. (Figura 1)
9. Replanteo de puntos alineados sobre el eje, en los lugares donde se interrumpa la continuidad del colado de hormigón de la estructura, es decir materialización de las juntas de construcción y/o las juntas de dilatación. (Figura 1)
10. Apoyándose en el dibujo de la proyección, del muro sobre el hormigón de limpieza, materializado con el trabajo de replanteo antes descrito, los constructores colocarán en su posición correcta las armaduras y encofrados. Momentos antes de iniciarse el colado de hormigón, será necesario colocar una marca que indique el nivel del corte del hormigón, es decir el nivel superior de la zapata, (NSZ). (Figura 2)
11. El pequeño tramo de fuste que ha quedado hormigonado (a), permite a los constructores apoyar el tablero de encofrado del tabique, conservando de esa forma la posición del eje original, y lo verticalizarán valiéndose de una plomada de hilo. Sin embargo, éste puede sufrir algunos movimientos que hagan que no quede correctamente vertical, desplazando en consecuencia, al eje de su posición planimétrica.

Por lo tanto, conforme a las exigencias que planteen las tolerancias, puede efectuarse un control de la verticalidad que es igual que decir, un control de la posición del eje en el extremo superior del tablero. (Figura 3)

12. Confirmado el tablero en su posición y completadas las armaduras de la estructura, se cierra con el tablero que lo enfrenta, donde será necesario llevar a cabo una última nivelación que es aquella que define el nivel superior de la pantalla, (NSP). (Figura 3)

Figura 1

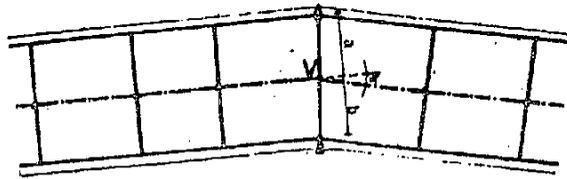


Figura 2

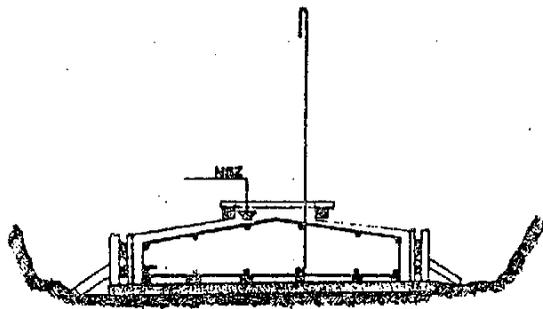
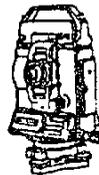
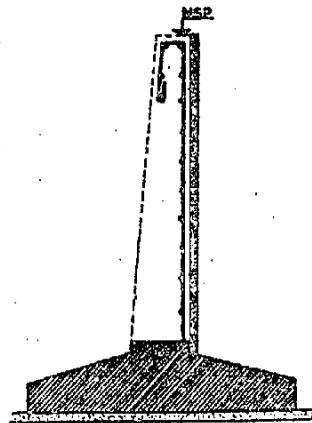


Figura 3



## 1.7 REPLANTEO DE PUENTES

Se denomina puente, a una obra destinada a la transposición de obstáculos que impiden la continuidad de una vía. Estos pueden ser ríos, brazos de mar, canales, caminos, quebradas profundas, etc.

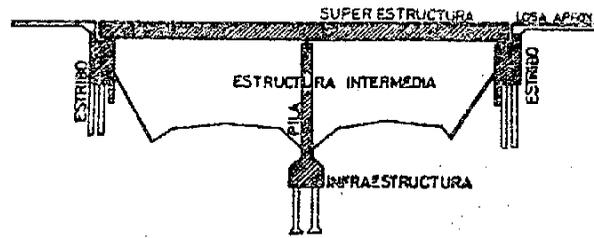
Cuando un puente tiene por objeto la transposición de otras vías u obstáculos no constituidos por agua, se denomina comúnmente viaducto.

Los puentes pueden ser carreteros, ferroviarios, peatonales (pasarelas), canales, de conductos, etc.

### Elementos constituyentes de los puentes

En su mayoría, todo un puente de vista funcional, puede dividirse en tres partes fundamentales:

Infraestructura - Estructura intermedia - Superestructura



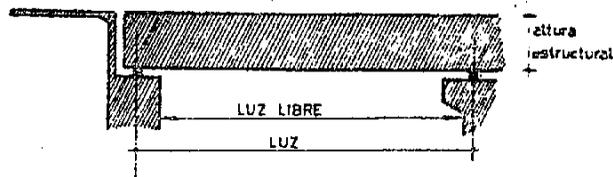
La infraestructura o fundación, es la parte por medio de la cual, son transmitidos al terreno los esfuerzos recibidos por la estructura intermedia. Está constituida por lo distintos tipos de fundaciones como ser bloques, zapatas, pilotes, los cabezales de pilotes, etc.

La estructura intermedia constituida por las pilas, es la parte que recibe los esfuerzos de la superestructura y los transmite a la infraestructura.

La superestructura, compuesta generalmente de losas y vigas principales y secundarias, es el elemento de soporte del camino, es la parte útil de la obra según el punto de vista de su finalidad.

Los estribos, según algunos autores, forman parte de la estructura intermedia, mientras que para otros, responde a las características de la infraestructura.

Se define como esbeltez a la relación entre la luz del tramo y la altura estructural.



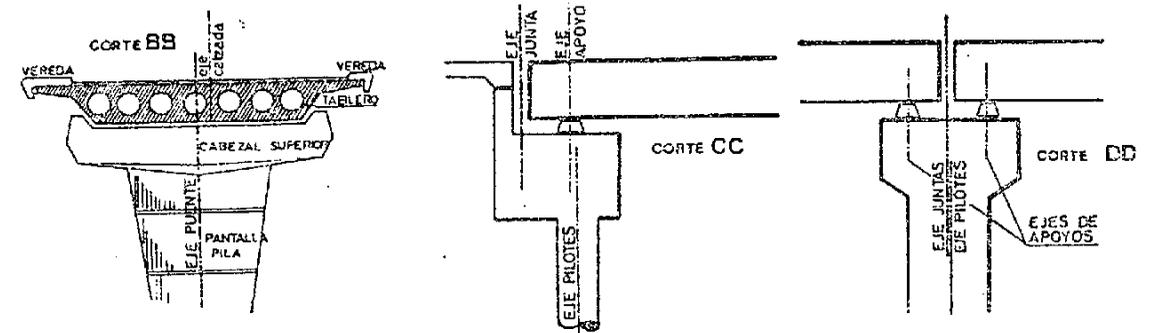
#### Clasificación de los puentes

S/su finalidad	S/el material	S/tiempo de utilización	S/estado de movilidad
Carreteros	De madera	Permanente	Puentes fijos
Ferrovianos	De piedra	Provisorio	Puentes móviles
Peatonales	De hormigón armado		
Para soporte de tuberías (acueductos, gasoductos, oleoductos)	De hormigón pretensado		
Canales	Metálicos Mixtos		

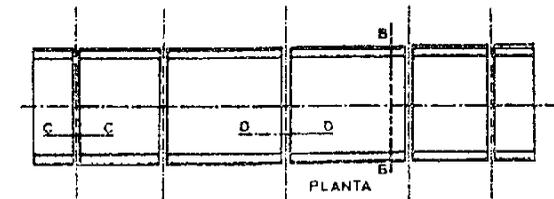
Sería demasiado extenso referirnos a todas estas divisiones, por lo tanto, las consideraciones que haremos serán sobre un puente tipo: carretero, de hormigón armado o pretensado, permanente y fijo.

En primer lugar vamos a determinar el Sistema Secundario que nos servirá de apoyo para el replanteo, que indudablemente estará formado por:

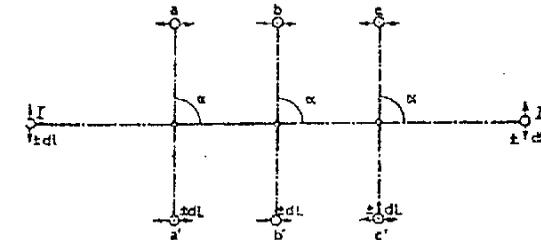
1. El eje de simetría del puente o el eje de calzada. CORTE *BB*
2. Los ejes de simetría de las pilas, el eje de junta, al eje de apoyo o los ejes de los pilotes; generalmente son coincidentes. Corte *DD*
3. No ocurre lo mismo con los estribos, donde pueden no coincidir el eje de junta, con el eje de apoyo o con el eje de los pilotes. CORTE *CC*



Determinados cuales serán los ejes de replanteo, supongamos que adoptemos en todos los casos a los coincidentes con los ejes de juntas y el eje de simetría longitudinal.



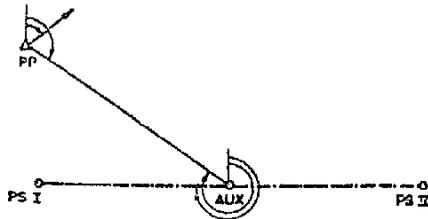
El paso siguiente es definir las tolerancias constructivas que entre ellos se puede admitir, deduciendo las exactitudes que nos impondremos para cada punto. Así tendremos una exactitud límite  $\pm dl$  para los ejes de las pilas y estribos, y otra exactitud para los dos puntos que materialicen el eje longitudinal,  $\pm dt$ .



Los errores admisibles  $\pm dL$ , serán la suma, de la influencia del error  $d\alpha$ , más el deducido de la tolerancia impuesta entre ejes. Mientras que los errores  $\pm dt$ , dependerán exclusivamente del error  $d\alpha$ .

Como la distancia entre los puntos extremos I y II, del eje longitudinal es varias veces mayor que la de los transversales, conviene entonces, imponer la condición de que la línea I-II, sea base del Sistema Secundario; es decir, considerarla exenta de error y por ende acotar, los puntos secundarios transversales.

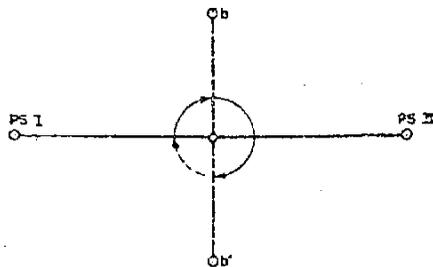
Hemos visto que para colocar estos puntos desde el Sistema de Apoyo Principal, podemos realizarlo de diversas maneras, pero teniendo en cuenta la condición que nos hemos impuesto, procederemos de la siguiente forma:



Colocamos un punto auxiliar desde uno o dos puntos del Sistema Principal, con la tolerancia impuesta por los grados de libertad que condicionan al puente con el resto de la obra vial.

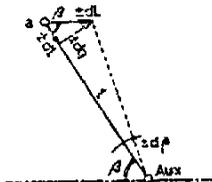
Estacionados en el "Auxiliar", orientando el instrumento hacia "PP", replanteamos la dirección I-II, midiendo en dos posiciones y colocamos los respectivos mojones que materialicen la línea. El límite impuesto a la medición angular, surgirá de la misma relación de vínculos antes mencionada.

Hormigonados los puntos I y II, estacionamos una señal de puntería sobre uno de ellos y replanteamos el ángulo (siempre en dos posiciones), colocando los puntos secundarios "b" y "b'". La tolerancia angular, en este caso será la que nos imponga la construcción del puente.



Para materializar el resto de los puntos secundarios transversales, vamos a plantear dos criterios a seguir:

a) Polarmente desde el mismo punto auxiliar.



La acotación de errores a tener en cuenta, será como siempre la proyección del error máximo admisible en la dirección de la visual y la transversal a la misma.

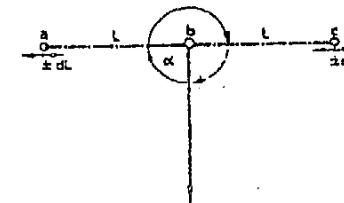
$$dl = \pm dL \cdot \cos \beta$$

$$dq = \pm dL \cdot \sin \beta$$

$$d\beta = \frac{\pm dq \cdot \rho}{l}$$

b) Otra alternativa es estacionarse en los puntos "b", "b'" y desde ellos colocar los otros puntos. De esta forma, el único error a tener en cuenta será el de medición de la distancia.

$$dl = \pm dL$$

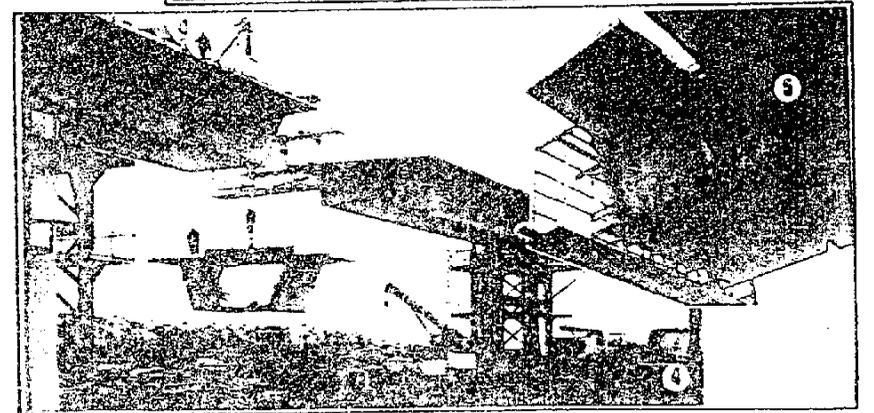
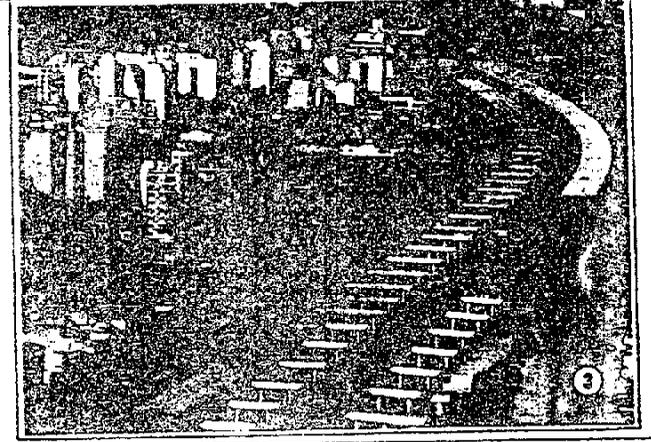
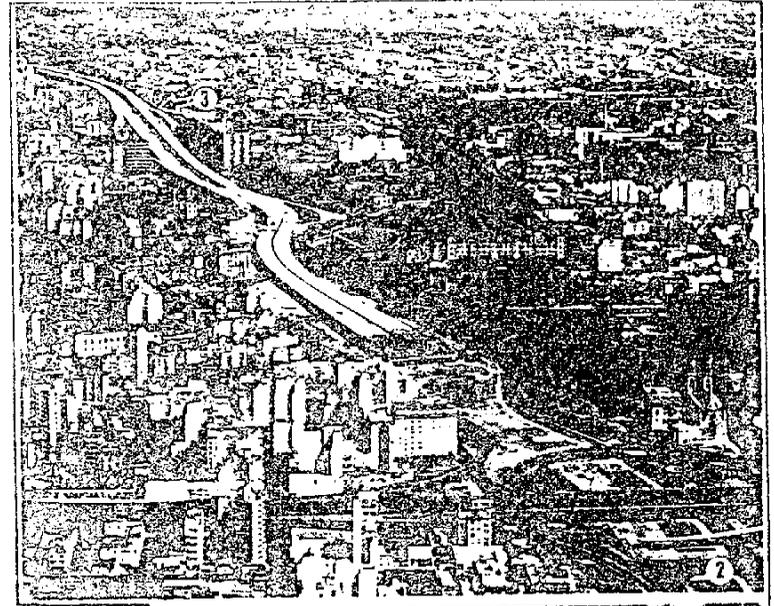


Como en otros casos, desde estos puntos se trasladarán a los ejes, sobres vallados de madera o metálicos, materializándolos con clavos o plaquetas, que servirán a los constructores para demarcar las obras de infraestructura y seguir adelante hasta el momento en que se levante la estructura de los pilares. Llegado a este punto, será imposible poder tender un alambre que materialice los ejes, obligando a desplazar los puntos de los vallados, creando un eje auxiliar paralelo al anterior, a distancia suficiente que no sea interferido por los encofrados y puntales.

Igual criterio deberá seguir el Agrimensor con los puntos secundarios, a los efectos de poder realizar los controles de replanteo y verticalidad de encofrados de la estructura intermedia.

El eje longitudinal será necesario, para centrar las obras de fundación, más adelante para centrar los encofrados de las pilas y estribos, posteriormente para la colocación de los tableros de la superestructura y finalmente para el replanteo de veredas, barandas, alumbrado, etc.

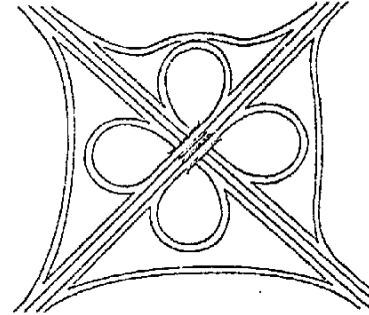
#### Replanteo del intercambiador



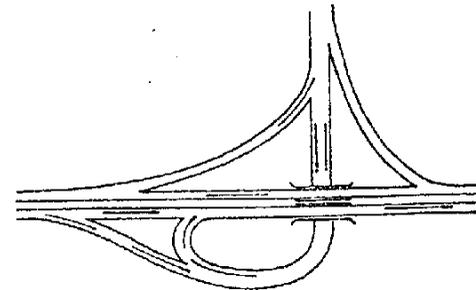
En las intersecciones con distintos caminos, no sólo se trata que la vía continúe sin interferir el tránsito de la otra, sino que también hay que prever como harán los vehículos para acceder de un camino a otro.

Se presentan varias soluciones, depende de la topografía del terreno, de la importancia de las vías, de los volúmenes de tránsito, etc. Todo esto sin perder de vista el aspecto económico.

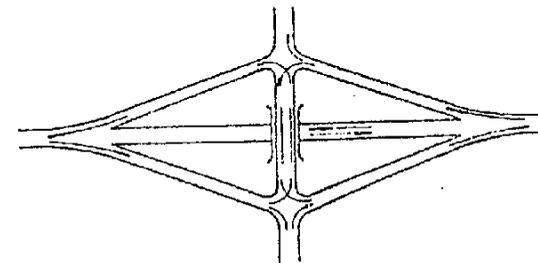
El intercambiador más completo y que evita todo punto de conflicto es el tipo **TREBOL**, apropiado para el cruce de dos vías importantes, con separación de circulación en ambos sentidos.



Quando se desea incorporar una autopista a otra, la solución más conveniente suele ser el intercambiador tipo **TROMPETA**.



El cruce de una carretera común, con poco flujo, a una autopista, se suele solucionar con un intercambiador tipo **DIAMANTE**, o con un semi-trébol, o semi-diamante, según la importancia de los flujos de tránsito.



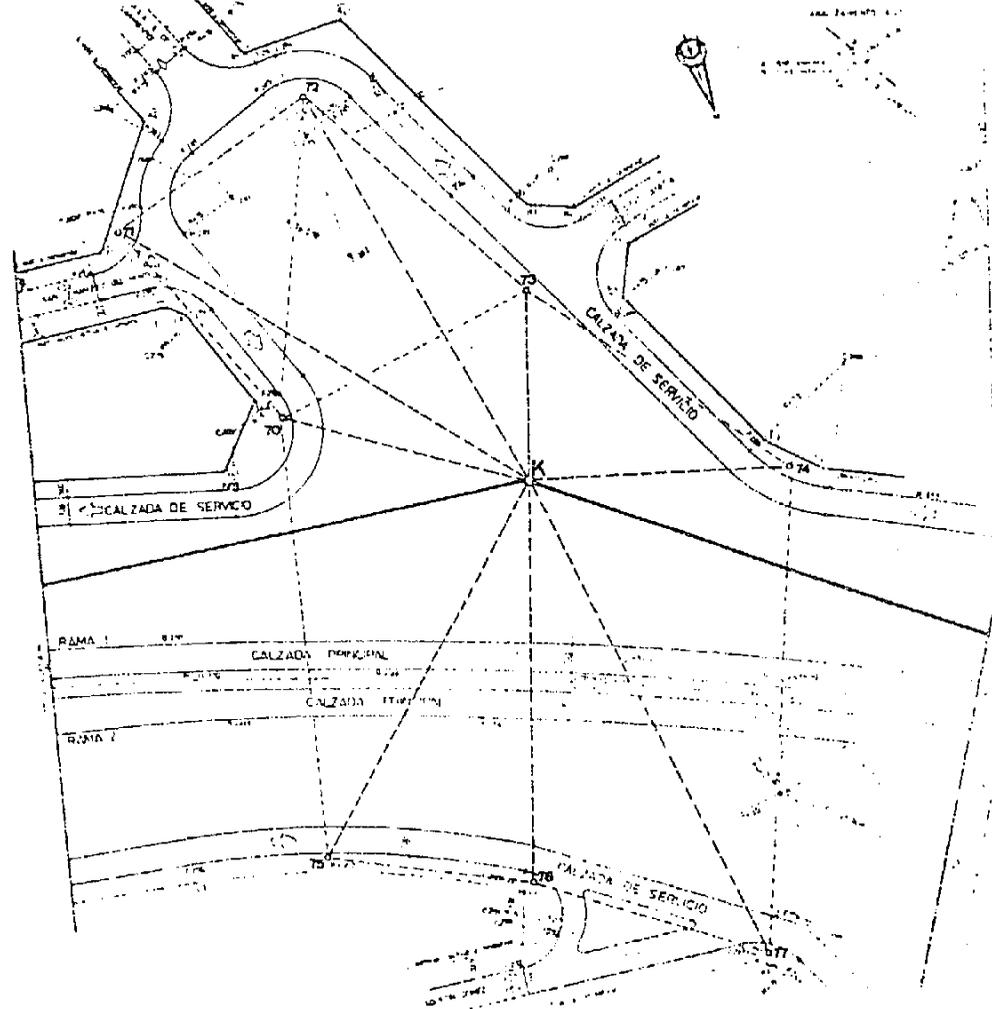
Para el replanteo de la obra vial, habíamos propuesto materializar una poligonal, desde cuyos vértices colocamos una densa malla de puntos de apoyo.

Pero en las zonas ocupadas por los intercambiadores deberemos densificar aún más la catidad de puntos de apoyo, por dos motivos:

Primero por el mayor volumen de trabajo en esta zona (obras de arte, cordones, narices, sumideros, empalmes, muros de sostenimientos, barandas, etc.). Y segundo, porque al levantarse los terraplenes de rulos o ramas de enlace, o los viaductos como en el caso de la (Fotografía 2), estos van a interrumpir las visuales entre diversos puntos.

Colocamos los puntos de tal manera que queden cerca de los empalmes de curvas o de los centros de curva, y en los lugares de mayor concentración de obras.

Algunos puntos quedarán muy cerca entre sí, pero al estacionarse en ellos para efectuar algún replanteo, se buscará la visual de apunte más larga, y cuando ello no sea posible se apuntará a una señal de puntería con centrado óptico.



### Replanteo de Viaductos

Cuando la obra vial se desarrolla sobre un centro urbano, encontrando a su paso innumerables interferencias, como es el ejemplo planteado en la fotografía (2), que es el caso de la autopista 9 de Julio de la Ciudad de Buenos Aires, en donde la Avenida cruza por arriba de las calles y avenidas que acceden a ella; la obra vial se convierte entonces en un puente permanente, y en lugar de tener que replantear un par de estribos y dos o tres pilares, se necesita materializar los ejes, de una sucesión muy grande de ejes de pilas.

Cambian de hecho las exigencias, las tolerancias y como resultado, la forma del sistema de apoyo.

Volviendo al ejemplo de la fotografía (2), y observando con mayor detalle las disposiciones de las pilas en la fotografía (3), llegamos a la conclusión que no habrá aquí una tolerancia general para la obra vial y otra particular para un determinado puente, sino que existirá una única tolerancia, que será la que nos imponga la viga de hormigón premoldeado que se monta sobre los capiteles de las pilas.

Llamemos  $T_L$  a la tolerancia entre ejes de juntas.

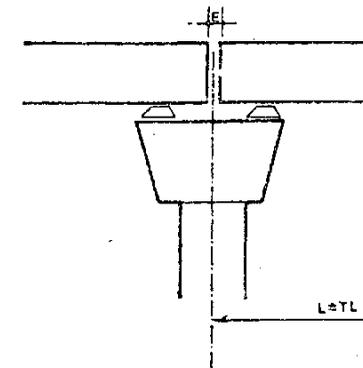
Entre vigas, existen juntas a una distancia fija que es  $E + T_E$ , donde se colocará una junta de PVC, y cada viga se fabrica en planta con una distancia  $V + T_V$ , de tal manera que en cada junta tendremos un error máximo admisible de  $(\pm T_E \pm T_V)$ .

En la distancia  $L$ , intervienen dos medias juntas, por lo tanto nuestra tolerancia será:  $T_L = \pm T_E \pm T_V$ .

Dicha tolerancia es límite para la medición de la distancia "L", entre los dos puntos extremos de la línea, cada uno de estos vértices deberá tener un error tal que sumado al otro cumpla con la tolerancia deducida, es decir:

$$T_L = \pm T_A \text{ (error en un extremo)} \pm T_B \text{ (en el otro extremo)}$$

$$T_L = \pm T_P \cdot \sqrt{2} \text{ ---- } T_P = \pm T_L / \sqrt{2}$$



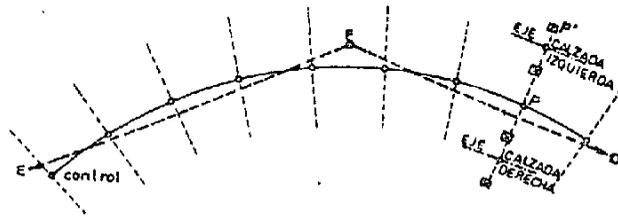
Por consiguiente, la exactitud que nos impondremos para cada punto que represente el eje será, como siempre, la mitad de la tolerancia.

$$d_p = \pm T_L / 2\sqrt{2}$$

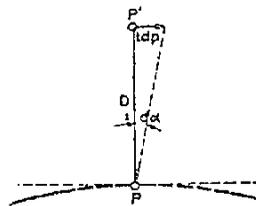
Un procedimiento alternativo que se puede plantear, será el siguiente:

Como puede apreciarse en las fotografías, el viaducto tiene dos calzadas, de tal forma que si se construye una poligonal sobre el eje geométrico de la Avenida, éste no corre riesgo de que sea destruido.

1. Materializar una poligonal de apoyo por el eje geométrico de la obra, aplicando idéntica exactitud a las deducidas,  $E = \pm dL / L$
2. Desde un vértice colocar las intersecciones de cada eje de pila con el eje geométrico; con la exactitud de replanteo que nos habíamos fijado para cada punto, cubriendo la mitad de la distancia para cada lado y cerrando en el último punto colocado desde la otra estación para control.
3. Estacionados en cada punto colocado, replanteamos la dirección del eje de las pilas, colocando puntos secundarios donde sea necesario (en el eje de cada calzada, o desplazados X metros del eje, etc.).



El ángulo a replantear estará sujeto a una tolerancia angular que dependerá de la distancia al punto más alejado.



Completamos lo expuesto respecto al caso de las fotografías 2 y 3 diciendo que, una vez que se montaron las vigas, se colocan los tableros que servirán de encofrado a las losas y se efectúa el colado de hormigón que se realiza In-situ. Al colocar los niveles de la losa terminada o de la carpeta de rodamiento, se pueden ajustar los errores de nivelación que se hubiesen producido al construir la estructura intermedia.

Distinto es el caso que presentamos en la fotografía (4), donde toda la superestructura del viaducto es premoldeada.

En este caso, la tolerancia lineal entre pilas es más generosa que en el caso anterior, pues obsérvese que el apoyo no está sobre una junta, sino en el centro de una pieza de tablero. Pero se exige una elevada exactitud en la colocación de los tableros, pues como puede verse, éstos encajan como piezas de rompecabezas, éstas se colocarán a partir de cada pila hacia la dirección de la anterior y posterior.

Habrá entonces que indicarles a los montadores la posición de las piezas de arranque y tener presente, en la acotación de errores, que la distancia a replantear será la suma de todas las distancias parciales de cada pieza, más los errores constructivos de cada uno de ellas y los errores producidos en cada junta.



Es importante hacer la siguiente observación:

Toda vez que se trabaje con piezas premoldeadas, el Agrimensor deberá efectuar la acotación de errores de las piezas, tomando para tal fin un muestreo de las mismas aplicando el mismo patrón de medida que empleará en el replanteo. Si no lo hace así, correrá el riesgo de efectuar una acotación errónea, pues el mismo tendrá desde el comienzo, un error en la escala del modelo.

Esto generalmente no puede hacerse, pues los trabajos de construcción de las piezas se llevan a cabo simultáneamente con la tarea de replanteo de la infraestructura, por lo tanto el Agrimensor deberá comparar el instrumental de medición empleado por el constructor de la pieza con el instrumental que utilizará en las mediciones de obra y obtener un factor de corrección que aplicará a sus mediciones para eliminar de esta forma el error sistemático.

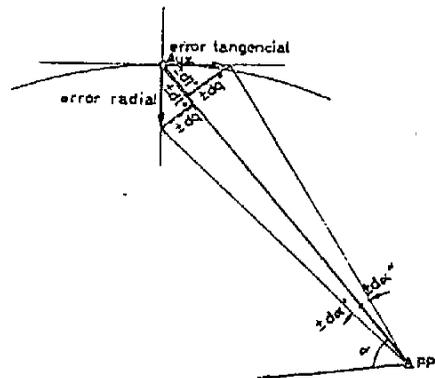
Cuando no se puede realizar el replanteo desde el mismo eje geométrico de la obra, como antes habíamos previsto, y se necesite construir un sistema desplazado, habrá que efectuar una acotación de errores para cada punto auxiliar descomponiendo el error dL en las dos direcciones del replanteo.

En el caso antes analizado, no tuvimos presente el error transversal por considerar que estando el sistema tan cerca del eje de replanteo, éste carecía de cuidados.

Pero con esta otra forma de trabajo, debemos tomarlo en cuenta.

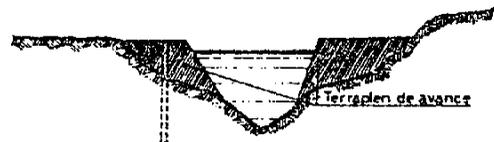
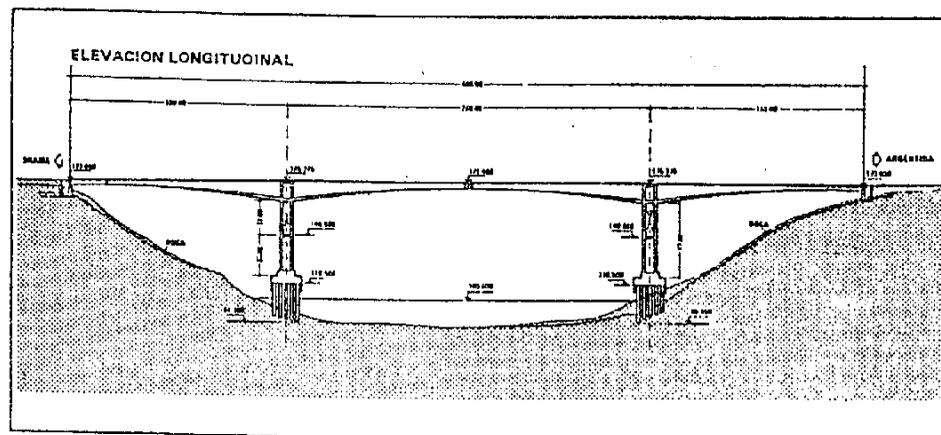
$$d1 = \sqrt{(d1')^2 + (d1'')^2}$$

$$dq = \sqrt{(dq')^2 + (dq'')^2}$$



Replanteo de puentes, cuando la infraestructura está fundada sobre el lecho de un río o brazo de mar

Cuando se plantea el caso, como el de la figura, donde las pilas se fundan sobre el lecho del río, pero muy cerca de la orilla, se resuelve muy fácilmente, pues se construye un terraplén de avance protegido de las crecidas del río, con una atagüía en el extremo de aguas arriba, lo que brinda la posibilidad de poder colocar los puntos secundarios sobre el mismo terraplén.



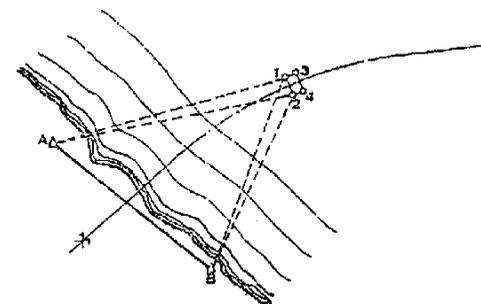
En realidad el problema del replanteo se observa sólo en aquellos casos cuando el ancho del río es tan grande que impide materializar un sistema de apoyo que acompañe

el puente, obligándonos a efectuar éste desde las costas solamente, o desde las costas y desde algún otro punto colocado sobre una estructura especialmente construída para tal fin.

Las excavaciones para el pilotaje se realizan con una perforadora que trabaja sobre un pontón flotante, de tal forma que la primera tarea, que es la del replanteo de las fundaciones, se resuelve posicionando la torre de la perforadora.

Para ello calculamos las coordenadas de cada pilote y lo materializamos conforme a las formas vistas en el tema "Levantamientos Hidrográficos".

Una de ellas era, trabajando por bisección desde una base establecida en la costa.



Concluída la realización de los pilotes, se construyen los cabezales, éstos pueden ser utilizados para colocar sobre ellos, puntos que nos servirán de apoyo para unir con mayor precisión las bases de las costas, y ajustar el sistema.

Lo mismo ocurre con la altimetría, en un principio trabajamos efectuando nivelaciones trigonométricas desde las costas y cuando tenemos la oportunidad de trabajar sobre puntos firmes sobre la superficie del agua (cabezales) aprovechamos para unir ambas márgenes y si es posible con nivelación geométrica haciendo sobre cada cabezal un punto de paso. Una vez compensada, dejamos en cada fuste de pila una referencia de nivel.

Finalmente, antes de comenzar con el lanzamiento de las vigas, se lleva a cabo un definitivo ajuste planialométrico.



## I.8 MOVIMIENTOS DE SUELOS

En la ejecución de las obras básicas de un camino, lleva implícito realizar movimientos de suelo, con el objeto de obtener una superficie uniforme donde se asiente el paquete estructural de la calzada.

Para realizar este trabajo, el proyectista deberá tener en cuenta:

a) Los parámetros definidos por el diseño geométrico

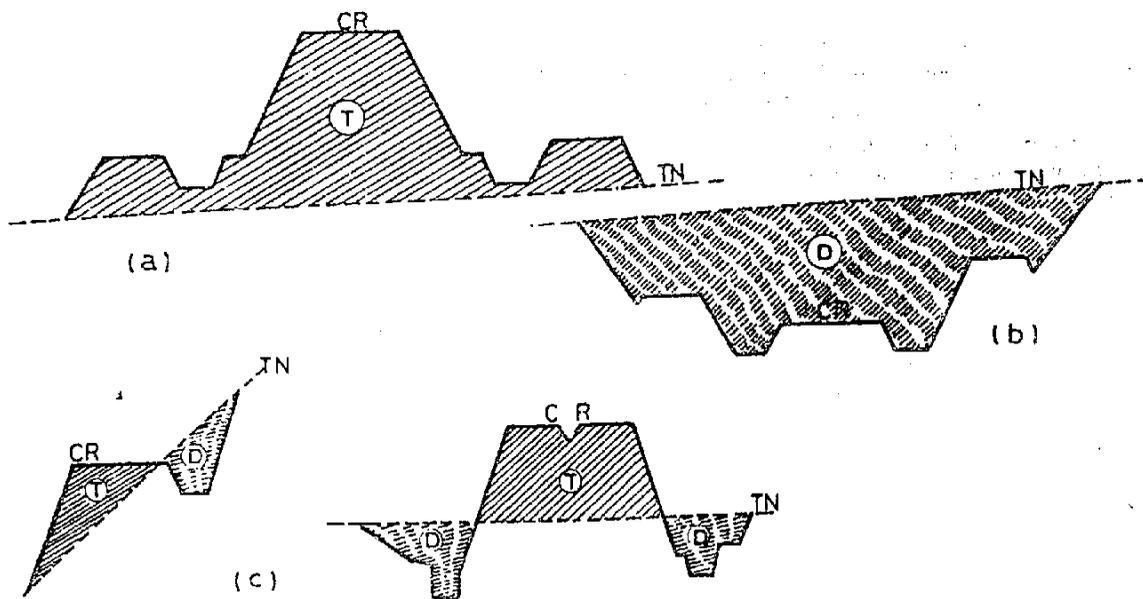
pendientes, anchos de coronamiento, perfiles tipos, etc.

b) La ejecución de obras

de protección, de desagües, etc.  
para salvar obstáculos (ríos, canales, vías férreas, otros caminos).

En todos estos casos, se plantea la necesidad de agregar o extraer suelos, ya sea para acceder a un puente, cumplir con las pendientes que fijan las normas o dar continuidad a un desagüe pluvial, por ejemplo.

Ocurre entonces que, si observamos las secciones transversales a lo largo de una obra vial, podremos obtener algunos de estos casos:



- a) Secciones netas de terraplén  
b) Secciones netas de desmonte  
c) Secciones mixtas

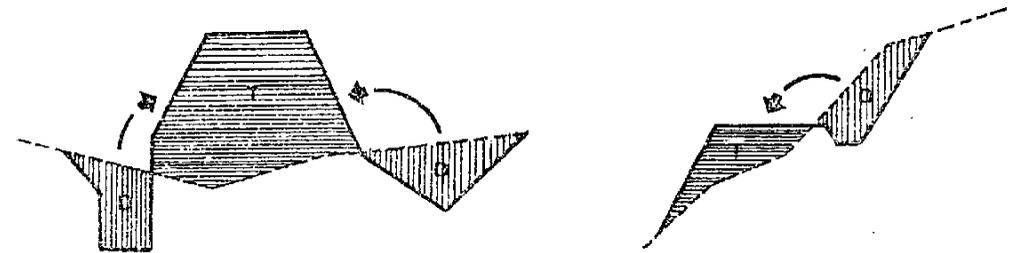
Es decir que nos encontraremos con zonas donde los volúmenes de terraplén exceden a los de desmonte y otras, por el contrario, donde el volumen del material a extraer superará ampliamente al suelo a colocar. Además, lugares como los graficados en (c), donde los volúmenes de terraplén y desmonte, se presentan más equilibrados.

Si el suelo de la zona trabajada en desmonte es apto para la construcción de terraplenes, lo lógico será utilizarlo distribuyéndolo desde las áreas de extracción a las de relleno.

Podrán plantearse dos formas de distribuir:

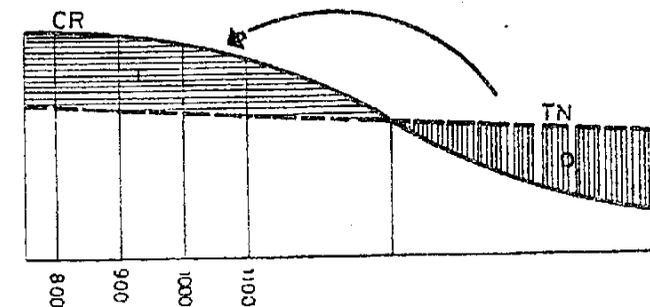
1) Compensación Transversal

Cuando se plantean secciones como las graficadas en (c), resulta más conveniente desde el punto de vista económico, la de compensar en primer lugar lateralmente, en otras palabras, reponer en cada sección lo que falta con lo que se extrae.



2) Compensación longitudinal

Cuando se plantean casos como los de las figuras (a) y (b); o bien cuando ya compensado transversalmente quedan excedentes, será necesario recurrir a la compensación longitudinal.



Perfil longitudinal del camino

Figura 1

A veces ocurre que no todo el material puede compensarse, en algunos casos sobra suelo, porque el material extraído excede los requerimientos del relleno, o porque el suelo no es apto, o bien porque la distancia de transporte supera a la distancia máxima de transporte económico.

En cualquiera de estos casos planteados, se deberá trasladar dicho sobrante a un lugar fuera de la zona de trabajo denominado depósito.

A la inversa, cuando falta material, pudiendo plantearse iguales causas que las antes mencionadas, habrá que traer material desde otro lugar, denominado yacimiento o préstamo.

El movimiento de suelos, y en particular el transporte de los mismos, son dos items de gran incidencia en los costos de las obras básicas de caminos, por lo tanto requerirá una muy especial atención por parte de proyectistas y constructores.

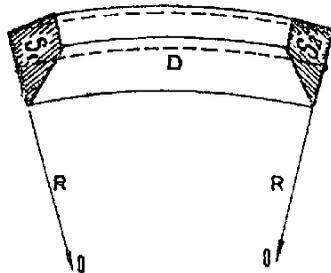
Por el proyectista, para lograr su principal objetivo, que será el logro de un equilibrio en las combinaciones entre los desmontes, terraplenes, parámetros básicos y obras a ejecutar, de tal modo de obtener el mejor balance entre los volúmenes de excavación y desmonte, con las menores distancias de transporte. Por el constructor, porque más correcta sea la ejecución, del movimiento de suelos, su medición y control, mayores serían los beneficios económicos.

### I.8a COMPUTO DEL MOVIMIENTO DE SUELOS

Para el cálculo de los volúmenes en los caminos, como lo es para todas las obras de desarrollo lineal, aplicamos la semi-suma de las áreas extremas, a partir del levantamiento previo de perfiles y posterior cálculo de secciones transversales.

Consideramos que no es necesario repetir conceptos ya vistos con detalle en el desarrollo de computos de movimientos de suelo para obras de desarrollo lineal, excepto el de agregar un par de observaciones.

a) En el caso de computar un volumen (excavación o relleno), que se desarrolla sobre una curva circular, podemos aplicar el modelo antes enunciado (media de las áreas), a condición que las secciones transversales se tomen en la dirección del radio de la curva, y la distancia entre las áreas extremas, se toma sobre el eje geométrico.



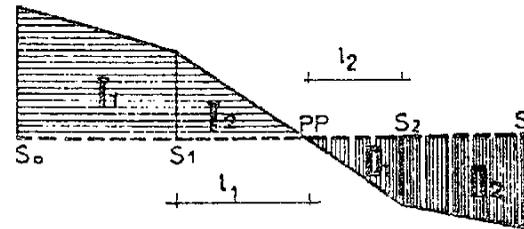
$$V = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) \cdot D$$

D: desarrollo de la curva sobre el eje

Si observamos el perfil longitudinal de la figura 1, observaremos que existe un punto donde se pasa de la sección de terraplén a otra de desmonte, donde se intercepta el terreno natural con la rasante del camino. Este punto recibe el nombre de punto de paso, y el perfil transversal por él levantado recibe el nombre de línea de paso.

En el punto de paso, la cota roja es igual a cero. Esta en el léxico vial, es la diferencia de altura entre la cota de rasante y la cota del terreno natural.

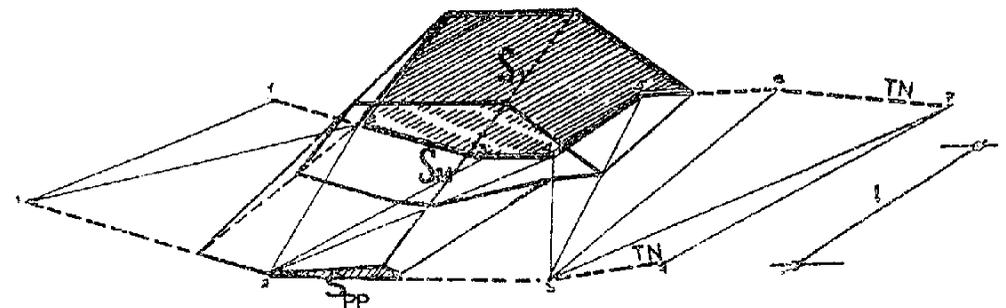
Recordemos lo visto con anterioridad, respecto a las exactitudes en los modelos de cálculo, expresamos en esa oportunidad que la media de las áreas era suficientemente exacto cuando las secciones extremas eran de igual signo y de valores homogéneos, por lo tanto, en primer lugar, no podemos promediar dos secciones medidas a uno y otro lado de la línea de paso. Habrá en consecuencia que promediar la última sección de terraplén, con la sección que resulte en la línea de paso, y por otra parte esta sección con la primera sección de desmonte. En segundo lugar, es conveniente que estas dos cuñas sean calculadas aplicando el modelo del prismaoide.



$$T_2 = \frac{1}{6} (S_1 + 4 S_M + S_{pp}) l_1$$

$$D_1 = \frac{1}{6} (S_2 + 4 S_M + S_{pp}) l_2$$

Siendo el prismaoide un sólido limitado por dos planos paralelos denominados bases y por una superficie reglada engendrada por una recta que se apoya en los perímetros de las bases.



Donde l es la distancia entre las dos secciones que sirven de bases; S1 y Spp las áreas de las secciones bases, y S2 la superficie de la sección equidistante de las bases.

El área S2 se calcula promediando las dimensiones homólogas de las secciones extremas y no haciendo la media de sus áreas.



## 1.9 COMPENSACIÓN DE VOLUMENES - CALCULO DEL TRANSPORTE

Con el mismo criterio adoptado para el cómputo del movimiento de suelos, veremos ahora cuales son los condicionantes para la D.N.V., respecto a la forma de medir los transportes de suelos.

Para ello, transcribiremos parte del Pliego de Especificaciones Técnicas, más precisamente la Sección L-7 : TRANSPORTES DE SUELOS.

### L.7.1. DESCRIPCION

L.7.1.1. Este trabajo consistirá en el transporte de los materiales necesarios para la formación de terraplenes, recubrimientos de suelo, banquetas, rellenos, depósitos y demás partes de la obra que se ejecuten con suelos...

L.7.1.2. Llácese Distancia total de transporte, la longitud comprendida entre el centro de gravedad de una excavación y el centro de gravedad del lugar en que se coloque el producto de la misma, medida a lo largo de la más corta de las vías...

L.7.1.3. Llácese Distancia Común de transporte, la longitud medida en la forma indicada, sobre la cual el transporte de suelos no recibe pago directo, pues su precio se halla incluido en el precio del contrato para los distintos ítem de la especificación -Movimientos de suelos.

Dicha distancia común de transporte es de trescientos(300)metros.

L.7.1.4. Si la distancia total de transporte, es mayor que la distancia común de transporte, fijadas ambas de acuerdo con los párrafos anteriores, la diferencia entre ellas se llamará Distancia excedente de transporte.

### L.7.2. MEDICION

L.7.2.1. La distancia excedente de transporte, medida en hectómetros y multiplicada por el volumen, en metros cúbicos de suelo transportado, dará el número de unidades del ítem - Transporte de suelos -, en hectómetros cúbicos.

El volumen se medirá en la posición definitiva del suelo y en su estado de compactación final, cuando se lo emplea en la construcción de terraplenes, banquetas, revestimientos de taludes y recubrimiento de suelos seleccionados. Y en su posición originaria cuando el producto no se emplee en esos trabajos y provenga del destape de yacimientos, apertura de zanjas, cajas para ensanche y ejecución de desmontes.

Conforme a lo anteriormente expresado, el transporte promedio de cualquier masa de tierra movida, debería ser igual a la distancia entre los centros de gravedad de los volúmenes excavados y de relleno.

Siendo imposible medir cada distancia individualmente, conviene buscar un método que permita efectuar la compensación longitudinal y que al mismo tiempo se puedan obtener las distancias de acarreo de la tierra movida.

Lo que se pretende lograr es un modelo tal que permita la visualización global de todo el problema en conjunto; de la distribución de los suelos, cantidad, ubicación, posibilidad de compensación transversal y longitudinal. Una compilación de la información tal que permita efectuar un análisis adecuado de soluciones alternativas.

De todos los modelos creados para el logro de tal fin, sólo vamos a mencionar dos:

### I. DIAGRAMA DE AREAS

### II. DIAGRAMA DE MASAS O METODO DE BRUCKNER

Siendo éstos los más empleados por la sencillez de su construcción y porque conducen a los resultados buscados con suficiente aproximación.

#### I.9a DIAGRAMA DE AREAS

Sobre una línea horizontal, en una escala horizontal adecuada, se dibujan en cada progresiva, (sobre las que se midieron las secciones transversales) los resultados obtenidos; es decir, sobre la ordenada de cada piqueta se representa en una escala vertical conveniente, la superficie calculada, adoptando la siguiente convención, hacia arriba las áreas de desmontes, y con signo negativo las superficies de terraplén.

El área encerrada por la poligonal definida, por los extremos de las verticales y la recta horizontal, determina el volumen de suelo de las excavaciones, o de los terraplenes a ejecutar, según sea su posición. Esta sección construida recibe el nombre de diagrama de áreas.

Quando se realiza la compensación, a fin de balancear los volúmenes que se obtienen en los desmontes y que son necesarios en los rellenos, se requiere tener presente, que cuando un material se compacta al construirse el terraplén, su volumen disminuye.

Por otra parte, cuando la tierra es removida de su lugar natural, aumenta su volumen.

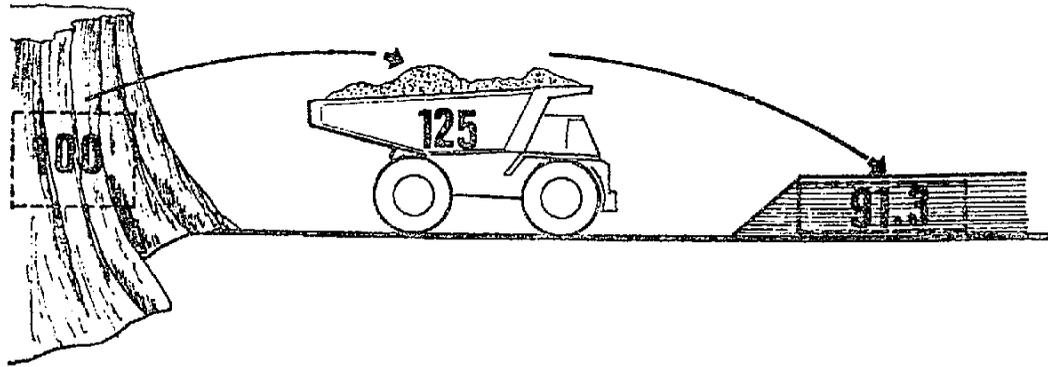
Es decir, que los volúmenes reales a transportar no serán los medidos en el sitio del desmonte (sección dibujada y calculada), sino que será el volumen expandido luego de la excavación.

Pero tampoco es éste el volumen que nos interesa conocer, pues como ya mencionáramos en el Capítulo 2, las excavaciones no reciben pago ya que su costo está contemplado en el ítem "terraplenes". Por lo tanto, lo que nos interesa cuantificar es el transporte de los volúmenes de suelo compactado.

En resumen, a nuestras mediciones de desmontes debemos efectuarles una doble corrección, en primer lugar, por expansión, al pasar de su densidad natural a suelto, y en segundo lugar, por encojimiento, al ser compactado en la ejecución del terraplén.

Se define como densidad aparente de un suelo, la relación que existe entre su peso y su volumen.

$$\rho = P / V$$



Para obtener la densidad de un suelo, se hace un ensayo que consiste en extraer una muestra de éste, la cual se pesa y calcula su volumen. Haciendo la relación entre ellos se obtiene la densidad húmeda, que no puede utilizarse como factor de comparación, pues parte del volumen no es suelo, sino agua, por consiguiente es necesario llevar a cabo un proceso para eliminar la humedad y de esta forma obtener la densidad seca, que sí es comparable.

De esta forma para cada tipo de suelo podemos obtener las densidades que correspondan a los tres estados que nos interesa comparar.

$$\rho_b ; \rho_s ; \rho_c$$

$\rho_b =$  Densidad en banco  
 $\rho_s =$  Densidad suelta  
 $\rho_c =$  Densidad compactada

Si se extrae una muestra de la zona de desmonte, que nos interesa analizar, limpia de suelo vegetal, y se la ensaya, podremos expresar que:

$$\rho_b \cdot V_b = \rho_s \cdot V_s = \rho_c \cdot V_c$$

$V_b =$  Volumen en banco  
 $V_s =$  Volumen suelto  
 $V_c =$  Volumen compactado

Lo que nosotros buscamos es un factor de corrección con el cual afectar a nuestras mediciones realizadas en el sitio natural, para obtener el volumen equivalente de terraplén.

$$V_c = \frac{\rho_b}{\rho_c} \cdot V_b = K \cdot V_b$$

$V_b =$  Volumen medido  
 $K =$  Factor de corrección

Ejemplo:

Progresiva de ensayo = 7000

Densidad natural en banco = 1.39

Clasificación del suelo - A 4/8

Densidad Proctor = 1.95

Porcentaje exigido, 90% = 1.76

Factor de corrección  $K = 1.39/1.76 = 0.7898$

Es evidente que las densidades de los suelos no se mantendrán constante a lo largo de todo el proyecto, es decir que habrá que hacer una serie de ensayos y aplicar las correcciones correspondientes en cada tramo.

HOJA DE CALCULO

1	2	3	4	5	6
Progresiva	Desmonte m <sup>2</sup>	Terraplén m <sup>2</sup>	Material Desechable	Desmonte Modificado	Desm. + Terr.
---					
1000	150	-15	.	118.47	103.47
1025	130	- 25		102.67	77.67
1050	100	- 40	15	63.98	23.98
---					

Columna 1: Listado de todas las progresivas donde se han tomado perfiles, ordenadas secuencialmente por valores crecientes.

Columna 2: El área de desmonte obtenido directamente del cálculo de la sección transversal en la progresiva indicada.

Columna 3: El área de terraplén de la misma sección.

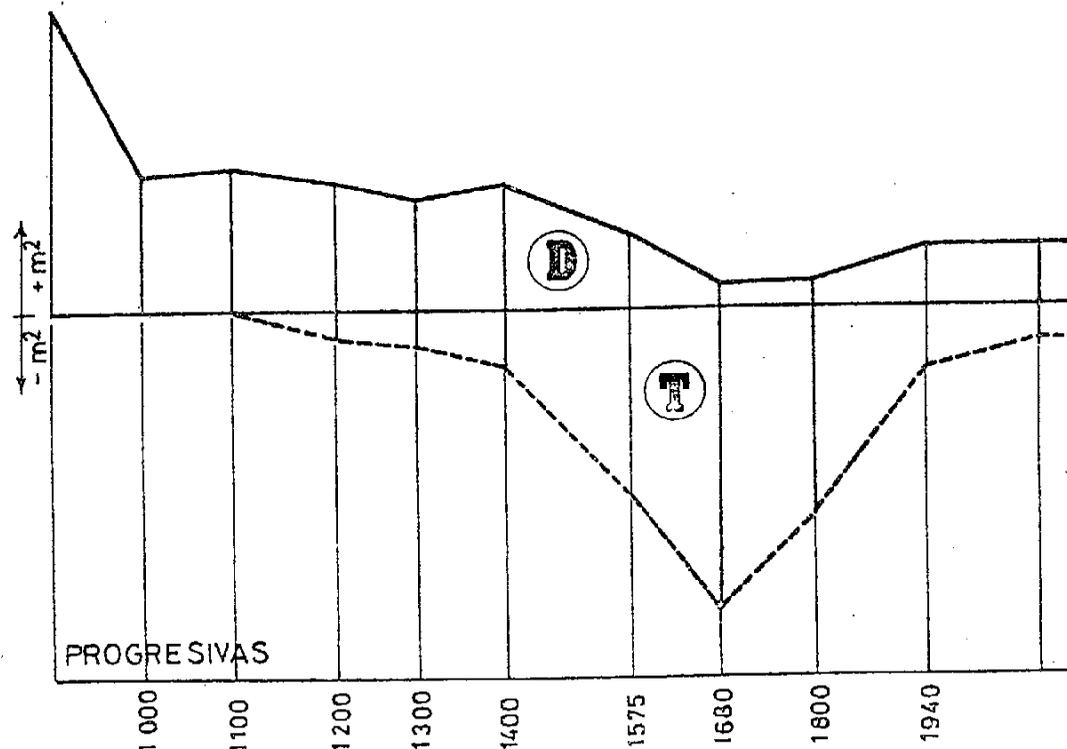
Columna 4: Si en la sección correspondiente, hubiera una determinada área de material no apto para la ejecución de terraplenes, se la indica en esta columna, pues dicho suelo debe ser descontado de los desmontes ya que no interviene en la compensación lateral.

Columna 5: Área de desmonte modificada.  
A la superficie obtenida en la columna 2, le restamos el valor de la

columna ⑤ (si lo hubiere), y a este resultado lo multiplicamos por el factor de corrección de densidades.

Columna 6: Suma algebraica, con el signo correspondiente por convención, entre las columnas 3 y 5.

### DIAGRAMA

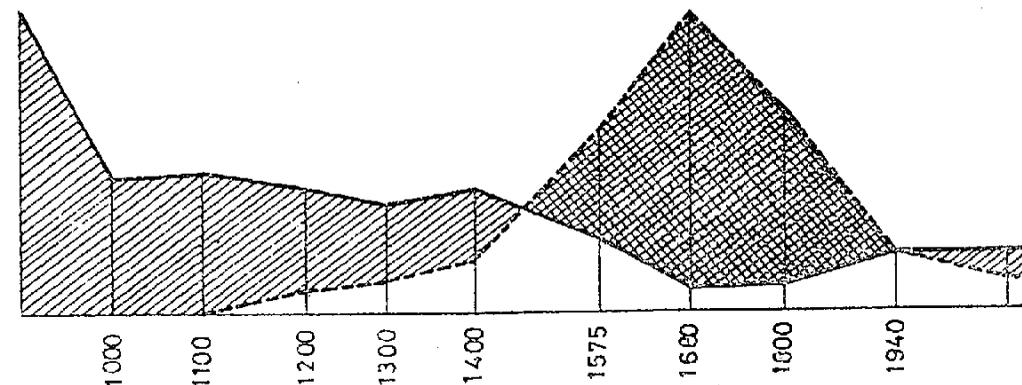


Tanto en la hoja de cálculo, como el diagrama, puede observarse que existen zonas de terraplenes netos, otras idem. pero de desmontes y otras donde en una misma sección coexisten ambos. En estas últimas podrá efectuarse una compensación transversal lo cual queda reflejada con claridad en la columna 6 de la hoja de cálculo.

Para una mejor visualización, es conveniente rebatir el polígono inferior (terraplenes), sobre el superior. Al interferirse los polígonos, quedarán tres zonas bien diferenciadas. Un área, en blanco, que representa los volúmenes que fueron compensa-

dos transversalmente, en rayado es el volumen de desmonte remanente, y doble raya, el de terraplén a compensar longitudinalmente.

Evidentemente, en cualquier progresiva, la distancia entre la ordenada superior y la inferior, será la diferencia calculada en la columna 6.

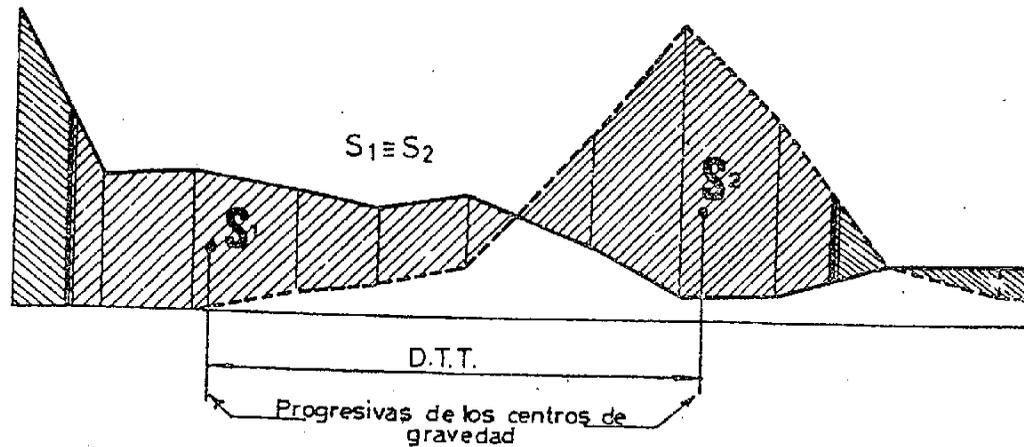


Tal como lo expresado, el requerimiento de terraplén está definida por la sección doblemente rayada, y lo disponible, en las secciones tramadas (expresadas en m³).

Sólo resta buscar una sección de desmonte equivalente al requerimiento, en las inmediaciones de éste.

Con esto hemos compensado longitudinalmente parte del exceso de suelos, el resto irá a otra zona donde se lo requiera y finalmente lo que quede sin compensar, a depósito.

Determinando el centro de gravedad de cada figura, ya sea de forma gráfica o analítica con el apoyo de una computadora. Midiendo entre ellos la distancia horizontal en la escala correspondiente o por diferencia de progresivas, se obtiene la Distancia media ideal de transporte DMIT o Distancia total de transporte (D.N.V), OT.T.



A esta distancia, así obtenida, hay que deducirle la distancia común de transporte D.C.T., la cual ya vimos con anterioridad no recibe pago y cuya distancia, para la Dirección Provincial de Vialidad está establecida en 3 Hm. 300 m

$$DMT = D.T.T - D.C.T. \quad (\text{Distancia media de transporte o Distancia excedente de transporte}).$$

Finalmente multiplicando la distancia media por el volumen de suelo movido, llegamos a los valores de **MOMENTO DE TRANSPORTE**, que es lo que recibe pago y que se expresa en Hm. m<sup>3</sup>.

$$M \text{ (Hm. m}^3\text{)} = DMT \text{ (Hm.)} \cdot V \text{ (m}^3\text{)}$$

*no conap / fuera de los 300m*

El cálculo del volumen movido, puede hacerse midiendo la superficie del diagrama, es decir recorriendo el polígono límite con un planímetro, o analíticamente aplicando el modelo de Gauss.

### I.9b DIAGRAMA DE MASAS O BRUCKNER

Con los mismos valores que utilizamos para la confección del diagrama de áreas, podemos armar la hoja de cálculo para éste método.

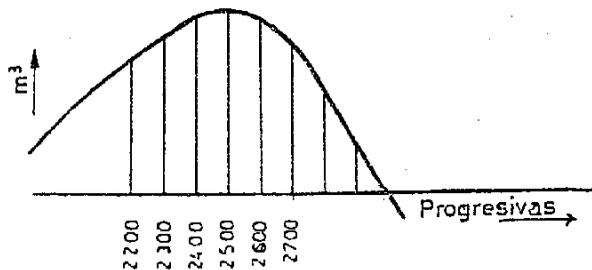
- Columna 1: Las progresivas donde fueron tomadas las secciones transversales.
- Columna 2: Área de la sección de desmonte, tal cual se obtiene del cálculo.
- Columna 3: Área de la sección de terraplén, ídem anterior.
- Columna 4: Secciones medias (semisuma de las áreas extremas).
- Columna 5: Distancias parciales. Diferencia entre progresivas extremas.
- Columna 6: Volúmenes de desmontes y terrapienes entre las secciones.
- Columna 7: El volumen del material producto de la excavación que no es apto para terrapienes, por lo tanto se lo desecha.
- Columna 8: Al volumen de desmonte de la columna 6 se le quita el de la columna 7, a los fines de obtener el volumen realmente aprovechable.
- Columna 9: Es el volumen final de desmonte corregido, resultante de multiplicar el volumen obtenido en la columna anterior por el coeficiente de corrección (k), elegido para transformar el volumen de material en banco, a material compactado.
- Columna 10: Es la suma algebraica entre el valor de la columna de terrapienes y el de desmonte corregido (columna 9), con el signo correspondiente.  
Desmonte: signo (+)  
Terraplén: signo (-)
- Columna 11: La acumulación de los volúmenes indicados en la columna 10, constituyen los datos de esta columna y es el valor de la ordenada del diagrama de Bruckner.

HOJA DE CALCULO

1	2	3	4		5	6		7	8	9	10	11	
			AREAS MEDIAS	DIST. PARC.		VOLUMEN	Volum. Excav. desech.						
PROGRES.	Area Desm. m <sup>2</sup>	Area Terrap. m <sup>2</sup>	DESM.	TERR.		DESM.	TERR.			k	Volum. Desm. Corregido	Volumen	Orden Diagr.
			120,3	49,72	50	6015	-2490	-	6015	0,7085	4743	2237	17,174
1050	125	50	102,5	47,5	50	6825	-2375	-	6825	0,7085	5224	2910	20,023
1100	140	45	152,5	42,5	50	7625	-2125	200	7425	0,7085	6855	3730	23,753
1150	165	40	171,50	38	50	8575	-1900	300	8275	0,7085	6477	4577	28,359
1200	178	36	187,0	35,4	50	9350	-1770	-	9350	0,7085	7443	5673	34,003

**DIAGRAMA:**

Sobre un línea horizontal, se dibujan las progresivas de la hoja de cálculo en una escala horizontal conveniente. Luego, con el signo correspondiente las ordenadas de la última columna.



Propiedades del diagrama

1. El diagrama de masas no es un perfil longitudinal, pues su forma no tiene absolutamente nada que ver con la topografía del terreno.
2. El diagrama de masas está formado por una serie de ondas y ésta a su vez por ramas. La rama es ascendente en las zonas donde existe un predominio neto de desmontes y es descendente cuando en las secciones transversales predominan los terraplenes.
3. Las pendientes de las ramas están ligadas con la magnitud del volumen, pendientes muy pronunciadas indican grandes movimientos de suelos.
4. Los puntos del diagrama donde la pendiente de la rama se anula, se corresponde a los puntos en los que el perfil longitudinal, y el diagrama de áreas pasa de desmontes a terraplén o viceversa. (Figura 2)
5. El diagrama se anula en puntos coincidentes con líneas compensadoras del diagrama de áreas, es decir entre los cuales el volumen de desmontes es equivalente al de terraplenes requerido. (Figura 2)
6. Entre dos puntos del diagrama, el volumen excedente, es la diferencia entre las ordenadas de esas progresivas.
7. Los puntos del diagrama, con ordenadas positivas indican que entre el origen y ellos hay más volúmenes de desmontes que de terraplenes, y viceversa.
8. Los puntos en los que una horizontal cualquiera, corta una onda del diagrama son puntos entre los cuales hay igual volumen de desmonte que de terraplén. Esta línea, recibe el nombre de línea de compensación y el área encerrada entre la línea y el polígono, cámara de trabajo. (Figura 3)
9. En una cámara cualquiera, el volumen de tierra compensada es la ordenada comprendida entre la línea de compensación y el vértice de la onda. (Figura 3)
10. Generalmente, en toda onda pueden trazarse dos líneas de compensación, la correspondiente a la distancia común de transporte (D.C.T.), y otra que es la distancia máxima de transporte económico. Por encima de esta última y por debajo de la D.C.T. estará el volumen transportado, y por debajo los volúmenes que irán a depósito o vendrán de yacimiento. (Figura 4)

Para determinar la distancia media de transporte, que es nuestro principal objetivo, en primer lugar, trazamos sobre el diagrama la línea de compensación que representa la distancia común de transporte (ab), quedando también determinado el volumen que no recibirá pago por transporte, la ordenada (m). (Figura 5)

Para determinar la compensación del resto del material, en la misma figura, trazamos otra recta compensadora (cd). Habíamos planteado cuando tratamos el diagrama de áreas, que era suficiente aproximación suponer que las masas a mover se encuentran condensadas en los respectivos centros de gravedad.

La posición de dichos centros de gravedad, corresponde a los puntos en donde una horizontal que bisecta a la ordenada (n) corte a la onda del diagrama.

La distancia buscada entonces, será la diferencia entre las progresivas de estos puntos, menos la D.C.T.

El valor del momento de transporte será igual a:

$$M(\text{Hm.m}^3) = \text{Volumen}(\text{en m}^3) \times (\text{ef} - \text{D.C.T.}(\text{en Hm.}))$$

Para la determinación analítica del momento de transporte y consecuentemente de la D.M.T., calculamos la superficie de la cámara, mediante la fórmula de Gauss, obteniendo de esta forma el momento, y dividiendo éste por la ordenada máxima, determinamos la distancia entre los centros de gravedad.

$$d(\text{Hm}) = \frac{\text{Superficie (Momento de transporte)} (\text{Hm.m}^3)}{\text{Ordenada máxima (Volumen movido)} (\text{m}^3)}$$

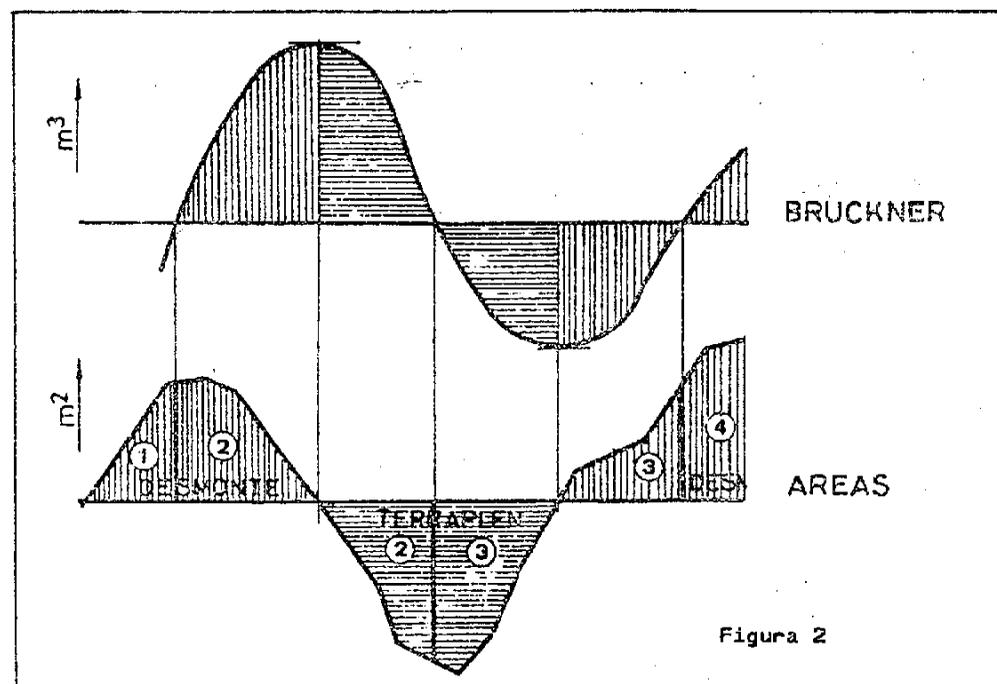


Figura 2

Figura 3

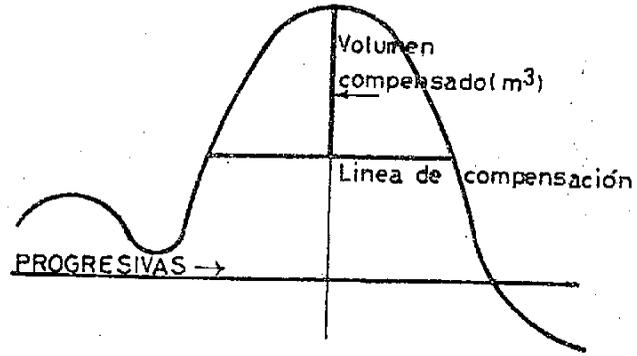


Figura 4

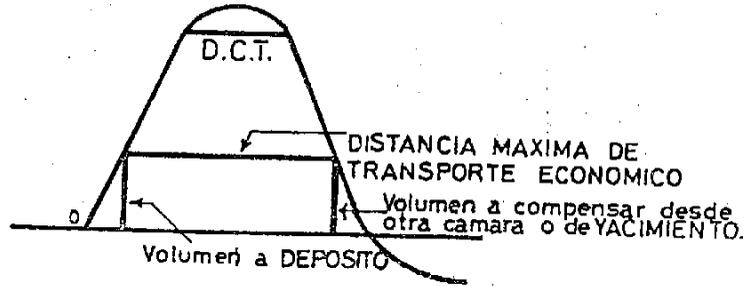
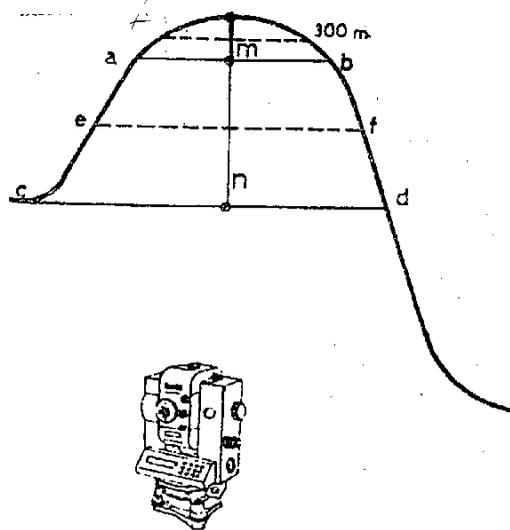


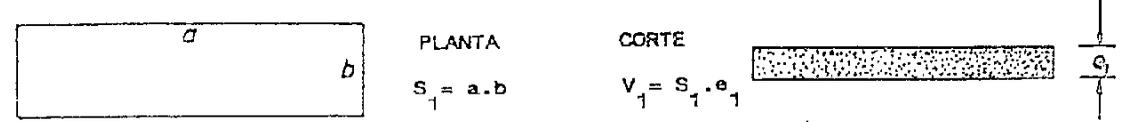
Figura 5



### I.10 COMPUTO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

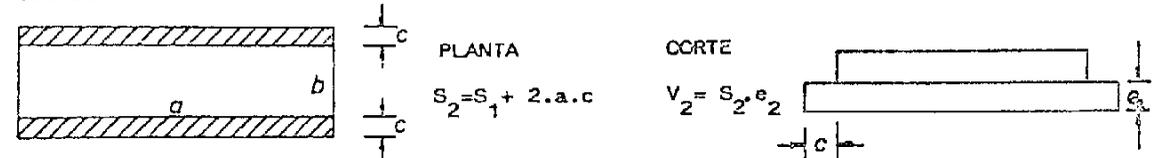
Algunos materiales que componen el paquete estructural, reciben pago por  $m^3$ . Otros en cambio, como el asfalto, se paga por toneladas. Pero siempre, el cómputo se hace por  $m^3$  y luego se pasa a Tn. multiplicando por el peso específico.

En este caso, en lugar de calcular una sección, y luego multiplicarla por la diferencia de progresivas, se procede a calcular el área ocupada (vista en planta) y la multiplicamos por el espesor de la capa colocada, que es constante.



El paquete estructural no tiene una sola capa, sino varias y la inferior siempre es más ancha que la que soporta.

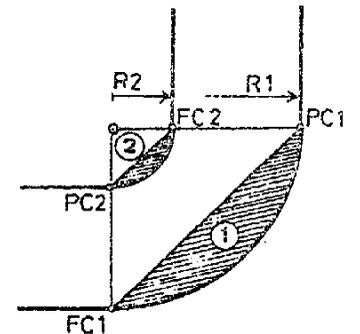
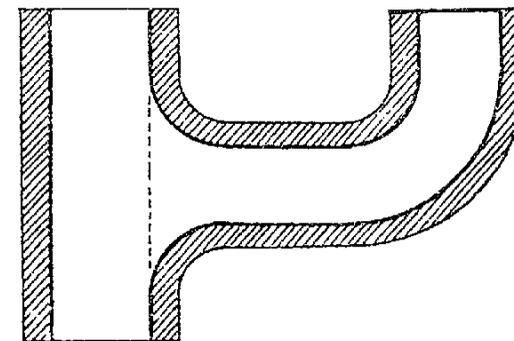
Hemos calculado la superficie del área visible, para calcular la inmediata inferior, no visible, debemos agregar a la superficie anterior un incremento debido al sobreaño.



Y así vamos calculando las sucesivas capas.

Es muy fácil confeccionar un programa de cálculo para efectuar este cómputo con una calculadora programable. Si el polígono visible está expresado mediante coordenadas planas, aplicamos la fórmula de Gauss y agregando como variables los sobreaños y los espesores, los volúmenes son inmediatos.

El cálculo se complica un poco, cuando las poligonales no son rectas y hay que calcular superficies curvas. Estos casos se plantean más frecuentemente en las pavimentaciones urbanas y en los empalmes de las autopistas con las calles urbanas.



Para poder calcular las superficies curvas, introducimos las coordenadas de los PC y FC y calculamos aplicando la misma fórmula de Gauss.

De esta manera, habremos calculado la superficie del polígono recto, PC1-FC1-FC2 PC2.

A esa superficie calculada debemos agregar el área del segmento circular (1) y descontar el área del segmento circular (2). Un dato que es necesario conocer son los radios de las curvas.

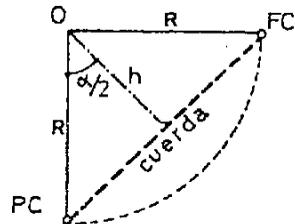
A partir de las coordenadas del PC y del FC, por diferencia, obtenemos la distancia entre ellos, es decir la cuerda.

Conociendo la cuerda y el radio calculamos el valor del ángulo al centro:

$$\text{sen } \alpha/2 = c / 2R$$

Luego calculamos la superficie del sector circular:  $S_s = \pi R^2 \cdot \alpha / 360$

Para obtener la superficie del segmento circular, que buscamos, debemos descontar a la superficie obtenida del sector, la superficie del triángulo "O-PC-FC".

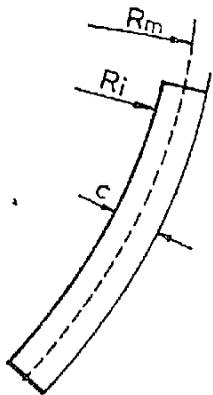


$S_t = \text{cuerda} \times h / 2$  y la altura es igual  $R \cdot \cos \alpha/2$

$$S_t = 1/2 \cdot (C \cdot R \cdot \cos \alpha/2)$$

$$S_t = R^2 \cdot \text{sen } \alpha/2 \cdot \cos \alpha/2$$

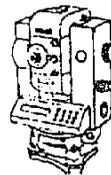
Finalmente para calcular la superficie de la capa inferior, hay que agregarle a la superficie antes calculada el área del sector de corona circular, la cual será directamente el valor del sobreecho (c), multiplicado por la longitud del desarrollo de una circunferencia cuyo radio es el radio medio.



$$R_m = R_i + c/2$$

$$L = \pi \cdot R_m \cdot \alpha / 180^\circ$$

$$S = L \cdot c$$



## BIBLIOGRAFIA

- Geometría Analítica - Donatto Di Pietro
- Geometría Analítica - Smith y Gale
- Geometría Analítica - Lehman
- Tratado General de Topografía - W. Jordan
- Topografía - F. Valdes Domenech
- Topografía Aplicada a la construcción - C. Barry
- Tratado de Topografía - Davis Foote Kelly
- Topografía para Ingenieros - Philip Kissan
- Topografía Subterránea - R. Taton
- Matemáticas - Rodolfo Correa
- Fórmulas Matemáticas - Sadosky Guber
- Lenguajes de diagramas de flujos - Forsythe Keenan Organick
- Vademecum del topógrafo - Heinz Wittke
- Tecnología de la Construcción - G. Baud
- Carreteras, calles y autopistas - Valle Rodas
- Manual de Ingeniería de tránsito - Guido Radelot
- Hidráulica Aplicada - Stevenazzi
- Líneas de Ribera - Adolfo R. Alvarez
- Tablas de curvas circulares - Sarrazín Oberbek Höfer
- Tablas de curvas verticales - Viguria
- Tablas de curvas con transición espiral - Barnett

## APUNTES DE CLASES

- Presas - Centro de Estudiantes de Ingeniería. Universidad Nacional de Buenos Aires.
- Presas - Dirección General de Obras Hidráulicas - ESPAÑA.
- Vías de Comunicación - Centro de Estudiantes de Ingeniería - UNSA.
- Vías de Comunicación I - O.V.E.I. - Universidad Nacional de Córdoba.
- Vías de Comunicación II - O.V.E.I. - UNC.
- Aeropuertos - O.V.E.I. - UNC.
- Topografía I - A.E.O.A.C. - UNC.
- Topografía II - A.E.D.A.C. - UNC.
- Geodesia - A.E.D.A.C. - UNC.
- Puentes Carreteros - Centro de Estudiantes de Ingeniería - ROSARIO.
- Caminos - Centro de Estudiantes de Ingeniería - LA PLATA.
- Planificación por Camino Crítico - C.E.I. - LA PLATA.
- Pliego General de Condiciones y Especificaciones Técnicas más usuales - DNV. Ley Provincial de Obras Públicas.
- Estracto de las Reglas para observaciones sobre asientos de edificios y construcciones. PTM34 -RUSIA.

**REVISTAS - PUBLICACIONES**

Wild Reporter - Suiza.  
 Boletín Kern - Suiza.  
 Topografía y Cartografía - España.  
 P.O.B. - Publishing Company - USA.  
 World Construction - USA.  
 Port Construction International - USA.  
 International Mining - USA.  
 Construction Industry International - USA.  
 Desarrollo Nacional America Latina - USA.  
 Water Power - USA.  
 Consulting Engineer - USA.  
 Informes de la Construcción - ESPAÑA.  
 Construcciones - ARGENTINA.  
 Carreteras - ARGENTINA.  
 Viviendas - ARGENTINA.  
 Civil Engineering - USA.  
 Sea Technology - USA.  
 Folletos publicitarios de instrumental topográfico y geodésico.

**INDICE**

Prólogo	5
<b>Capítulo 1</b>	
<b>GENERALIDADES</b>	
# 1 Reseña histórica	9
# 2 Clasificación de las obras de Ingeniería	13
# 3 El Anteproyecto	19
# 4 El Proyecto	21
# 5 Construcción de la Obra	23
# 6 Modelos matemáticos	27
6-1 Algoritmos, pág. 35   6-2 Lenguaje de los diagramas de flujo, 38	
# 7 El Plan de Obras	39
<b>Capítulo 2</b>	
<b>MEDICIONES EN OBRA</b>	
<b>I. RELEVAMIENTOS</b>	
I.1 El plano topográfico	48
I.2 Elementos del plano de relevamiento	48
I.3 Métodos de relevamiento	53
I.3a Taquimetría electrónica, pág. 53   I.3b Cuadrícula, 57   I.3c Bisección, 59	
I.4 El Sistema de Apoyo del relevamiento	60
I.5 Elección de los puntos	63
I.6 Comprobación de planos	65
I.7 Perfiles	68
I.7a Dibujo del perfil, pág. 69	
I.8 Levantamientos hidrográficos	73
I.8a Determinación de la cota de los puntos sumergidos, pág. 73   I.8b Determinación de la posición planimétrica, 77	
I.9 Aplicación de los levantamientos hidrográficos	80
I.9a Determinación de la pendiente media, pág. 83   I.9b Cálculo del caudal de un canal, 85	
I.9c Cálculo del caudal de un río, 86   I.9d Conocido el caudal, determinar L, 86	
<b>II. REPLANTEOS</b>	
II.1 Replanteo	89
II.2 El plano de replanteo	91
II.3 El Sistema de Apoyo	92
II.3a La configuración del sistema, pág. 93   II.3b Permanencia en el tiempo, 95   II.3c Exactitudes, 100	
II.4 Sistema de apoyo altimétrico	106
II.5 Métodos de replanteo	111
II.5a Alineaciones, pág. 111   II.5b Método polar, 116   II.5c Bisección, 118   II.5d Libre estacionamiento, 120   II.5e Otros métodos, 121	
II.6 Acotación de los errores de medición en el replanteo	121
II.7 Replanteo de la obra	124
II.8 Control de replanteo en obras de altura	131
II.8a Control planimétrico de los encofrados, instalaciones e insertos, pág. 132   II.8b Control de niveles, 139   II.8c Control de la verticalidad, 144   II.8d Determinaciones conjuntas, 146	
II.8e Control de las obras en profundidad, 149	

II.9	Replanteo de curvas	151
	II.9a Curva circular, pág. 151   II.9b Métodos de replanteo, 152	
II.10	Movimiento de suelos	161
	II.10a Medición de los movimientos de suelo, pág. 162   II.10b Cómputo del movimiento de suelos, 173   II.10c Cómputos de las excavaciones, 175   II.10d Cómputo de terraplenes, 181   II.10e Área de secciones irregulares, 182   II.10f Métodos de cálculo, 183   II.10g Cálculo de volúmenes, 191	

### III. MEDICIONES POSTERIORES

III.1	Planos conformes a obras	201
III.2	Catastro de conductos subterráneos	202
III.3	Auscultación de obras de Ingeniería	207
	III.3a Planificación de la red de control - Acotación de errores - Instrumental, pág. 208   III.3b Medición y cálculo de compensación, de la red de control, 210   III.3c Mediciones periódicas para la determinación de los incrementos, 211	

### Capítulo 3

#### APLICACION EN OBRAS

##### I. CAMINOS

I.1	Generalidades	219
	I.1a Clasificación, pág. 219   I.1b Velocidad directriz, 220   I.1c Controles primarios y secundarios, 221   I.1d Zona de ocupación, 221	
I.2	Reconocimiento	222
	I.2a Trazados preliminares, pág. 222   I.2b Trazado definitivo, 225	
I.3	Relevamiento	226
I.4	Proyecto geométrico	229
	I.4a Determinación de los radios de curvas en función de la visibilidad, pág. 229   I.4b Curvas horizontales, 232   I.4c Curvas verticales, 236   I.4d Curvas de enlace, 239	
I.5	Replanteo del proyecto	244
	I.5a Sistema de Apoyo, pág. 245   I.5b Perfiles previos, 247   I.5c Replanteo del perfil en desmonte, 248   I.5d Replanteo del perfil en terraplén, 250   I.5e Replanteo del paquete estructural, 252	
I.6	Replanteo de la obras de arte	255
	I.6a Replanteo de alcantarillas, pág. 255   I.6b Replanteo de los muros de sostenimiento, 267	
I.7	Replanteo de puentes	270
I.8	Movimientos de suelos	284
	I.8a Cómputo del movimiento de suelos, pág. 286	
I.9	Compensación de volúmenes - Cálculo del transporte	288
	I.9a Diagrama de áreas, pág. 289   I.9b Diagrama de masas o Bruckner, 295	
I.10	Cómputo del paquete estructural	299
Bibliografía		301