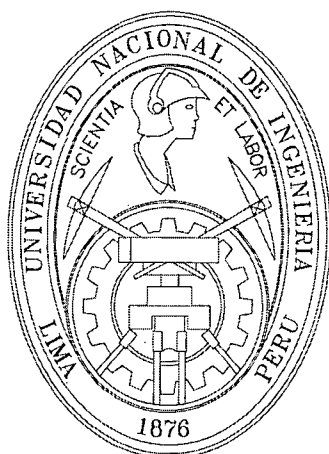


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA AVANZADA  
EN LA OPTIMIZACIÓN DE LOS LEVANTAMIENTOS  
TOPOGRÁFICOS Y GEODÉSICOS**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de:  
**INGENIERO CIVIL**

**PABLO DANIEL BARRETO RUIZ**

Lima - Perú  
2003

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

## **Agradecimientos**

**A los Ingenieros: Gonzalo Brazzini Silva, Milagro Castro Cuba, Samuel Mora Quiñones, Juan Vidal Campomanes, de quienes recibí su desinteresado apoyo para la culminación del presente trabajo, y muy en especial a mi asesor de Tesis: Ing. Ralfo Herrera Rosado.**

## Índice:

	Página
<b>Capítulo 1 : Marco Conceptual</b>	
1.1 Generalidades .....	2
1.2 Definiciones básicas .....	3
1.3 Tecnologías confluentes .....	6
1.4 El enfoque Sistémico .....	7
<b>Capítulo 2: Marco teórico</b>	
2.1 La forma de la tierra	
a.- Historia .....	13
b.- Superficies de la tierra .....	14
c.- El elipsoide	
c.1.- Acerca de su geometría .....	16
c.2.- Dimensiones del elipsoide .....	19
c.3.- Desviación de la vertical .....	20
c.4.- Datum geodésico .....	20
2.2 Proyecciones Cartográficas	
a.- Definición .....	23
b.- Familias de proyección .....	24
b.1.- Proyecciones planas .....	24
b.2.- Proyecciones cónicas .....	25
b.3.- Proyecciones cilíndricas .....	25
c.- La distorsión de las proyecciones .....	26
c.1.- Conforme .....	26
c.2.- Igual área o equivalente .....	30
c.3.- Equidistante .....	33
c.4.- Azimutal o de direcciones .....	34

c.5.- Otros tipos .....	34
2.3 Generalidades sobre los sistemas de referencia .....	35
2.4 El Sistema geográfico .....	36
2.5 El Sistema de Coordenadas U.T.M. (Universal Transversa Mercator)	
a.- Generalidades .....	37
b.- Las zonas y las franjas .....	37
c.- El origen de coordenadas .....	38
d.- Convergencia de cuadrícula .....	39
e.- Factor de escala y Distancia UTM .....	41
2.6 El sistema de coordenadas rectangulares	
2.7 geocéntrico .....	43
2.8 Transformación de coordenadas	
a.- Transformación de coordenadas rectangulares a geográficas y viceversa .....	44
b.- Transformación de coordenadas geodésica a U.T.M. ....	47
c.- Transformación de coordenadas U.T.M. a geodésicas .....	48
d.- Paso de coordenadas de un elipsoide a otro	
d.1.- Mediante coordenadas cartesianas .....	51
d.2.- Mediante coordenadas geodésicas .....	52
d.3.- Respecto a los parámetros de transformación y sus valores .....	54

### Capítulo 3: El posicionamiento por satélites (GPS-GLONASS)

3.1 Generalidades sobre el sistema GPS	
a.- Introducción .....	57

b.- El Segmento espacial .....	57
b.1 Características de los satélites .....	58
b.2 Señal de los satélites .....	59
c.- El Segmento de Control .....	61
d.- El Segmento de Usuarios .....	62
d.1.- Equipo de observación .....	62
d.2.- Tipos de receptores .....	66
<b>3.2 Generalidades sobre el sistema GLONASS</b>	
a.- Introducción .....	71
b.- El Segmento espacial	
b.1 Características de los satélites .....	71
b.2 La señal de los satélites .....	73
c.- El Segmento de Control .....	74
d.- El Segmento Usuario .....	75
<b>3.3 Uso combinado de los sistemas GPS y GLONASS</b>	
a.- Generalidades .....	77
b.- Obtención de los parámetros de transformación entre PZ- 90 y WGS84. ....	78
<b>3.4 Las observables</b>	
a.- Introducción .....	80
b.- Observables de tiempo (Código).....	80
c.- Observables de fase .....	81
d.- Combinación de observables .....	82
<b>3.5 Calidad y bondad de las observaciones</b>	
a.- Introducción .....	83
b.- Errores relativos al satélite	
b.1.- Error del reloj del satélite .....	85
b.2.- Errores en los parámetros orbitales .....	85

c.- Errores relativos a la propagación de la señal .....	86
c.1.- Refracción Ionosférica .....	86
c.2.- Refracción troposférica .....	87
c.3.- Disponibilidad selectiva .....	88
c.4.- Pérdida de ciclos .....	88
c.5.- Efecto multipath .....	88
d.- Errores relativos al receptor	
d.1.- Error el reloj .....	89
d.2.- Error en el estacionamiento de la antena .....	90
d.3.- Errores en la manipulación de equipos .....	90
d.4.- Variación del centro radioeléctrico de la antena	90
e.- Dilución de la precisión .....	91
<b>3.6 Como determina el sistema GPS la posición de un receptor</b>	
a.- Introducción .....	93
b.- Modelo de ajuste por mínimos cuadrados .....	93
c.- Generalidades sobre los cálculos realizados .....	95
d.- Formulación de las ecuaciones con medidas de código .	96
<b>3.7 Métodos de posicionamiento .....</b>	<b>99</b>
<b>3.8 Posicionamiento absoluto .....</b>	<b>100</b>
<b>3.9 Posicionamiento diferencial</b>	
a.- Generalidades .....	102
b.- Clasificación según el trabajo a realizarse	
b.1.- Estático .....	103
b.2.- Reocupación o pseudoestático .....	105
b.3.- Cinemático .....	105
c.- Clasificación según el procesamiento de su información	
c.1.- Por post-procesamiento .....	108
c.2.- Procesamiento en tiempo real .....	110

<b>3.10 Planificación</b>	
<b>a.- Generalidades</b> .....	<b>113</b>

**Capítulo 4: La Estación total, sus fundamentos y aplicaciones**

<b>4.1.- Antecedentes</b> .....	<b>123</b>
<b>4.2.- Definición</b> .....	<b>125</b>
<b>4.3.- El teodolito electrónico</b>	
<b>a.- Consideraciones teóricas</b> .....	<b>129</b>
<b>b.- Características técnicas</b> .....	<b>130</b>
<b>c.- Recomendaciones</b> .....	<b>131</b>
<b>4.4.- Distanciómetro</b>	
<b>a.- Consideraciones teóricas</b>	
<b>a.1.- Fundamentos básicos</b> .....	<b>132</b>
<b>a.2.- Precisión que se puede lograr en la medición</b> .	<b>133</b>
<b>a.3.- Distancia límite</b> .....	<b>134</b>
<b>a.4.- Métodos para la determinación de "n"</b> .....	<b>135</b>
<b>b.- Características técnicas</b>	
<b>b.1.- Alcance máximo</b> .....	<b>139</b>
<b>b.2.- Error de distancias</b> .....	<b>139</b>
<b>b.3.- Tipos de medición de distancia</b> .....	<b>141</b>
<b>c.- Correcciones a lo medido por el distanciómetro</b> .....	<b>142</b>
<b>d.- Recomendaciones</b> .....	<b>147</b>
<b>4.5.- Colectora de datos</b>	
<b>a.- Generalidades</b> .....	<b>149</b>
<b>b.- Tipos e colectoras</b>	
<b>b.1.- Colectora externa</b> .....	<b>149</b>
<b>b.2.- Colectora interna</b> .....	<b>152</b>
<b>4.6.- Programas</b> .....	<b>152</b>

a.- Programa de configuración .....	156
b.- Programas de mediciones .....	157
c.- Programas de manejo de base de datos .....	157
d.- Programas de transferencia de datos .....	158
d.1.- Transferencia de datos .....	158
d.2.- Transferencia de programas .....	159
e.- Programas de levantamiento y replanteo .....	160
e.1.- Levantamiento con ángulos y distancias .....	161
e.2.- Levantamiento con coordenadas .....	164
e.3.- Replanteo de puntos .....	164
f.- Funciones especiales .....	168
f.1.- Altura remota .....	168
f.2.- Medición entre puntos .....	169
f.3.- Nivelación .....	171
f.4.- Cálculo de área .....	172
f.5.- Medición excéntrica .....	173
f.6.- Resección .....	178
f.7.- Ángulo horizontal por repetición .....	179
f.8.- Ubicación de puntos a lo largo de un alineamiento .....	180
g.- Programas de cálculo .....	181

## Capítulo 5: Automatización en el dibujo de planos

5.1.- El programa aplicativo .....	183
a.- Con entorno gráfico propio .....	183
b.- Con entorno gráfico ajeno .....	183
5.2.- El modelo digital del terreno	
a.- Generalidades .....	185



b.-	Clasificación de los modelos .....	186
c.-	Modelos Icónicos, Analógicos y Simbólicos .....	186
d.-	Modelos Analógicos y Modelos Digitales .....	186
e.-	El modelamiento digital del terreno .....	188
f.-	Estructura de datos del M.D.T. ....	190
5.3.-	La base de datos .....	193
a.-	La captura de datos .....	193
a.1.-	Métodos directos .....	193
a.2.-	Métodos indirectos .....	193
b.-	La estructura de la base de datos .....	200
5.4.-	La Interpolación .....	206
a.-	Ponderación por inversa de distancia (IDW) .....	206
b.-	Interpolación mediante el método Kriging .....	207
c.-	La triangulación T.I.N. ....	210
d.-	La transformación Vector-Raster .....	214
5.5.-	Ediciones al T.I.N. ....	216
a.-	Agregando puntos .....	216
a.1.-	El método básico .....	217
a.2.-	El método ingresar-borrar .....	217
a.3.-	El método ingresar-regenerar .....	218
b.-	Borrando puntos .....	218
b.1.-	El método básico .....	218
b.2.-	El método eliminar-borrar .....	218
c.-	Modificando puntos .....	219
d.-	Manejando los lados del T.I.N. ....	219
d.1.-	Cambiar de dirección a los lados .....	219
d.2.-	Borrar y agregar lados .....	220
d.3.-	Determinando una distancia máxima .....	221

e.- Creando discontinuidades .....	223
5.6.- Problemas típicos en el modelo digital T.L.N. ....	224
a.- Problema en los cambios de pendiente o discontinuidad .....	224
b.- El problema de frontera .....	229
c.- El problema de las curvas "tiro al blanco" .....	232
c.1.- Tomar puntos que no se encuentran en el suelo .....	232
c.2.- Almacenar datos equivocados en la colectora .....	234
5.7.- Cálculos en el Modelo digital del terreno .....	236
5.8.- Programas aplicativos a la vialidad .....	238
a.- La base de datos .....	239
b.- El modelo digital del terreno .....	242
c.- Diseño horizontal .....	244
d.- Diseño vertical .....	249
e.- Secciones transversales .....	250
f.- Volúmenes .....	254
g.- Replanteo .....	257
h.- Presentación .....	257

**Capítulo 6: Programas de cómputo como apoyo**

6.1.- Generalidades .....	259
6.2.- Programas para Geodesia	
a.- GeodésicaUTM	
a.1.- Generalidades .....	261
a.2.- Instrucciones al usuario .....	261
a.3.- Listados o fórmulas .....	262

<b>b.- UTMGeodésica</b>	
b.1.- Generalidades .....	264
b.2.- Instrucciones al usuario .....	264
b.3.- Listados o fórmulas .....	266
<b>c.- TransSistemas</b>	
c.1.- Generalidades .....	268
c.2.- Instrucciones al usuarios .....	268
c.3.- Listados .....	273
<b>6.3.- Programas de Topografía</b>	
<b>a.- Triangulación Delaunay</b>	
a.1.- Generalidades .....	278
a.2.- Instrucciones para el usuario .....	284
a.3.- Salidas o resultados del programa .....	285
a.4.- Listado del programa .....	285
<b>b.- Programa LV (Conversión de estructuras)</b>	
b.1.- Generalidades .....	286
b.2.- Instrucciones para el usuario .....	286
b.3.- Salidas o resultados del programa .....	287
b.4.- Listado del programa .....	288
<b>c.- Programa de interpolación de puntos</b>	
c.1.- Generalidades .....	296
c.2.- Instrucciones para el usuario .....	296
c.3.- Descripción y listados .....	298

**Capítulo 7: Aplicación a un caso específico**

7.1.- Introducción .....	304
7.2.- Ubicación de puntos GPS .....	304
7.3.- Levantamiento del Campus Universitario	

a.- Alcance del trabajo .....	307
b.- Equipos y brigadas .....	308
c.- Características técnicas y tolerancias .....	308
d.- Proyección utilizada .....	309
e.- Realización de los planos .....	310
7.4.- Visualización en 3D .....	310
a.- Simulación de vista aérea para los cerros de la UNI ..	311
b.- Vista tridimensional de los cerros de la UNI .....	311
c.- Vista tridimensional de los detalles levantados .....	312

## **Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones**

8.1.- Generalidades .....	314
8.2.- Conclusiones y recomendaciones .....	314
8.3.- Tecnología confluentes .....	316
8.4.- Recomendación final .....	321

## **Anexos**

Ubicación de puntos GPS .....	323
Visualización en 3D .....	376
Listados en Java de la Triangulación Delaunay .....	382
Planos .....	410

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO CONCEPTUAL**

## **1.1 Generalidades**

El uso de las nuevas tecnologías no solo nos permite realizar los trabajos de manera más rápida y precisa. Si no además nos obliga a tener mayores responsabilidades en los trabajos a realizar.

Así, la primera responsabilidad consiste en tener claros los conceptos, por ejemplo saber en que sistema de referencia tenemos los datos, si estos son compatibles con lo indicado en la Carta Nacional, etc. Es por eso que capítulo 2 se muestra las teorías básicas requeridos para el manejo de esta nueva tecnología. De igual modo, en este capítulo, se han incluido las ecuaciones básicas ya que existen algunos autores que por error u omisión no incluyen las fórmulas correctas. Es conveniente indicar que en las ciencias es posible llegar a un resultado aceptable por diferentes caminos, las ecuaciones mostradas en este capítulo no son el único camino, sino que existen otros, pero se ha considerado dichas ecuaciones debido a que son usadas para realizar los programas de cómputo en el capítulo 6.

Otra responsabilidad es conocer los fundamentos básicos sobre el equipo con el que se va a realizar los trabajos topográficos. Con la finalidad de saber que equipos llevar, conocer sus limitaciones y como darles el mejor uso. Esto se explica en los Capítulos 3 y 4, para los GPS y las Estaciones Totales respectivamente.

Es también responsabilidad, saber escoger adecuadamente el programa aplicativo a utilizar, con la finalidad de realizar nuestros cálculos y realizar una representación digital. Ya que de ello dependerá que decidamos que acciones tomar durante el trabajo de campo y durante el procesamiento de dichos datos con

la finalidad de tener resultados los más precisos posibles. Todo esto es explicado en el Capítulo 5.

Además el Ingeniero por su formación, es capaz de diseñar sus propios programas aplicativos, así en el capítulo 6 se muestran ejemplos de elaboración de programas en los lenguajes de programación más usados en la actualidad, con la finalidad que el Ingeniero pueda tener una referencia al momento de realizar sus diseños informáticos.

En el Capítulo 7 se presentan algunas aplicaciones de lo expuesto en los Capítulos anteriores. Usando los equipos topográficos y geodésicos que dispone la Universidad Nacional de Ingeniería.

Y finalmente en el capítulo 8, se muestran las conclusiones y recomendaciones.

## **1.2 Definiciones básicas**

En esta sección se procederá a definir los términos de Geomática y Vialidad. Ciencias sobre la cual se basa la presente tesis.

Como en toda tesis, en la presente también fue necesario dar algunas definiciones, la cual a veces me resultó difícil. Así por ejemplo, a principios de los 90 se definía el término Estación total al teodolito electrónico al cual se le adjuntaba un distanciómetro y una agenda electrónica. Hoy esa definición sería totalmente obsoleta, y posiblemente dentro de unos años la definición

sea otra. Algo similar ocurrió cuando quise orientar este trabajo dentro del término **“Topografía y Vías de Transporte”**.

Actualmente existe una convergencia de ciencias, así por ejemplo, no sería tan preciso seguir hablando de trabajos de topografía, ya que si esta está apoyada por observaciones con GPS entonces no es la simple topografía que según la definición de los clásicos autores es aquella que no considera la curvatura de la tierra, y los GPS si lo consideran, por decir sólo un ejemplo de los muchos en las que un solo trabajo intervienen múltiples disciplinas. Entonces debemos usar un nuevo término, y este parece ser: **Geomática**, por las razones que se explicará a continuación.

Se puede encontrar diferentes definiciones para Geomática, he aquí algunos:

**Arte, ciencia y tecnologías relacionadas al manejo de información geográficamente referenciada” (Universidad de New Brunswick, Canadá. 2001).**

**“Geomática se preocupa de las mediciones, análisis, manejo, extracción y despliegue gráfico de datos espaciales relacionados con las características físicas de la Tierra” (Universidad de Melbourne, Australia. 2000).**

**“Geomática es un campo de actividades que, usando una aproximación sistémica, integra todos los medios para adquirir y manejar datos espaciales requeridos como parte de actividades científicas, administrativas, legales y técnicas que se preocupan de la producción y manejo de información espacial (Instituto Canadiense de Geomática, Canadá. 2000).**

**“Geomática es un término científico moderno que se refiere a una aproximación integrada de mediciones, análisis y manejo de la descripción y localización de datos de la Tierra, a menudo denominados datos espaciales” (Universidad de Florida, Estados Unidos. 2000).**



"Ingeniería Geomática es un campo de actividades que integra la adquisición, procesamiento, análisis, despliegue gráfico y manejo de información espacial" (Colegio Universitario de Londres, Inglaterra. 1999).

"La definición más elemental de Geomática aparece como una integración de percepción remota, sistema de posicionamiento global y sistemas de información geográfica" (Universidad Estatal de Colorado, Estados Unidos. 1997).

"Geomática es recolección, manejo, análisis y presentación de datos espacialmente referenciados". "Quizás hay una simple respuesta para la pregunta ¿qué es Geomática? GEOMATICA = GEOGRAFIA APLICADA" (Organización GEOMATICS, Reino Unido. 2001).

"Geomática es la informática aplicada a la Geografía" (Academia de Nice, Francia. 2000).

"Geomática es el término que mejor describe un amplio rango de técnicas utilizadas para medir y describir la Tierra" (Universidad Estatal de California, Estados Unidos. 2001).

A pesar de las múltiples definiciones, se concluye que la **Geomática** es un término sistémico que integra todos los medios para adquirir y manejar datos espaciales relacionados con las características físicas de la tierra. Como se observa esta definición, engloba a la Topografía, Cartografía, Geodesia satelital, Fotogrametría, informática aplicada, etc.

Igual ocurre con el término Vías de Transporte, antiguamente cuando se enviaba una carta de un lugar a otro usábamos una vía de Transporte llámese: Terrestre, Marítimo o aéreo. Así el Ingeniero Civil diseñaba y construía caminos, puertos o aeropuertos. Pero actualmente existen otros medios de transporte que no se ajustan a la clásica definición así por ejemplo: ¿ Como ajustamos nuestra definición de Vías de transporte cuando enviamos una carta por Internet? ¿ Que Vía de transporte hemos usado cuando asistimos a una reunión de gerencia mediante Teleconferencia? ¿ Diseña y construye el Ing.

Civil la infraestructura para este tipo de transporte electrónico? ¿ Trata la presente Tesis sobre el transporte electrónico o similares? Definitivamente No. Entonces el término Vías de transporte se ha extendido demasiado para el alcance de la Ingeniería Civil.

El término más correcto para definir el ámbito sobre el cual trabajamos, parece ser la **Vialidad**, término usado desde hace varias décadas por varios países ( por ejemplo México) para agrupar todas las tareas relacionadas con las vías públicas como: Avenidas, calles, caminos, ferrocarriles. Con tendencia a agrupar también a los puertos y aeropuertos.

La necesidad de buscar nuevas definiciones o redefinir las existentes, tiene origen, según mi criterio, en 2 factores: las Tecnologías confluentes y el enfoque sistémico.

### **1.3 Tecnologías confluentes**

Según Michael Hammer y James Champy en su ya clásico libro “Reingeniería, olvídense lo que Ud. sabe sobre como debe funcionar su empresa, casi todo está errado”, define Tecnología destructiva a aquella que es capaz de romper reglas que limitan nuestra manera de realizar nuestro trabajo. Yo personalmente preferiría definir las como “Tecnología confluyente” ya que además de lo explicado por Hammer y Champy, estas tecnologías convergen ciencias aplicadas creando nuevas y mejores formas de realizar los procesos.

En el capítulo final, se explican como las tecnologías confluentes usadas en la presente Tesis, han roto reglas y procedimientos, creando nuevas maneras de realizar los trabajos.

#### **1.4 El enfoque sistémico**

El pensamiento cartesiano ha tenido gran influencia en el desarrollo de la sociedad industrial y las ciencias o técnicas desarrolladas en este período. Así la Ingeniería Civil se ha apoyado básicamente en la topografía para realizar obras cuyo ingenio y proeza son legado de los Ingenieros de antes a las nuevas generaciones. Es así como las Universidades formaron Ingenieros Civiles muy competentes en Topografía, donde en algunos casos sus programas curriculares incluían varios cursos relacionados a dicha ciencia. También es posible que muchas de éstas Universidades o Institutos Técnicos se enseñase Astronomía y Geodesia en un solo curso, en donde daban mayor importancia a la Astronomía. Y en el caso de la Cartografía, si se lo dictaba era un curso opcional o electivo. Así, salvo honrosas excepciones, teníamos Ingenieros con buenos los conocimientos de la Topografía pero con un bajo nivel de conocimientos en Geodesia, Cartografía y ciencias afines. Lo cual obligaba en muchos casos a buscar profesores para estas ciencias a profesionales que no necesariamente eran Ingenieros Civiles sino más bien Militares que trabajaban en Institutos de Geografía.

El pensamiento Cartesiano no sólo influenciaba en la manera de elaborar la currícula Universitaria, sino además incidía directamente en la organización propia de cada una de las ciencias aplicadas. Así por ejemplo,

para realizar un trabajo topográfico se disgregaba en dos etapas: trabajo de campo y trabajo de gabinete; y cada una de estas etapas tenían sus propios “especialistas”, digamos era impensable suponer que el operador del equipo, el que portaba la mira o el dibujante podían ser la misma persona durante todo el proceso del levantamiento topográfico. Otro ejemplo que vale la pena resaltar era aquel que para calcular redes de apoyo se usaban básicamente 2 métodos: el método simple y el método riguroso por mínimos cuadrados. Debido a la poca precisión que se obtenía en poligonales preferían usar el método simple por ser el mas sencillo en los cálculos en desmedro de la precisión, dejando el riguroso para triangulaciones y trilateraciones. Así en muchas Universidades sólo se enseñaba el método simple para todos los trabajos de poligonales, con lo que otra vez el reduccionismo se imponía.

Si nos remontamos al principio de los años 50, cuando ya se había empezado a distribuir el primer equipo “Topográfico” que usa la electrónica: el Geodímetro, o cuando los biólogos descifran el código genético, o cuando las masas de obreros dejaban de ser la principal fuerza laboral en los países desarrollados para ceder este puesto a emergente fuerza de los “empleados”, también los científicos e Ingenieros de distintos países llegan a formular una nueva forma de pensar que vendría a revolucionar la manera de pensar hasta entonces, este nuevo pensamiento fue la “teoría de los sistemas”. Como menciona “Alvin Toffler” en su obra “La Tercera Ola”: “Mientras los pensadores cartesianos hacían hincapié en el análisis de los componentes a expensas del contexto, los pensadores de sistemas centraban el énfasis en el enfoque total no fragmentario de los problemas”, a este tipo de enfoque también se le llama “pensamiento sistémico”. Claro que todavía hubo que esperar unas décadas más para empezar a usar esta manera de pensamiento en

los trabajos de Vialidad y Geomática ya que todavía no se disponía la tecnología necesaria.

Con la revolución en la computación debido a la aparición de las computadoras personales a finales de los 70, se hace accesible la adquisición de estos equipos a cualquier profesional independiente, con lo que aquellos cálculos tediosos de poligonales o triangulaciones por mínimos cuadrados, Pothenet, etc. ya era posible realizarlo en unos cuantos segundos. Tal vez una de los aportes más importantes de la Micro computación, sea a restitución fotogramétrica, en la que el clásico estereoscopio queda obsoleto, ya que basta con escanear dos fotografías e indicar algunos parámetros para que la computadora se encargue del proceso de restitución. Es más, debido a este tipo de programas, cada vez se populariza mas, aquella fotogrametría que no sólo usa aviones para tomar las fotos, sino también: globos aerostáticos, las partes altas de un edificio o torre, etc. como es la cámara digital estereoscópica que tiene la F.I.C. en el CISMID, llamada *3DVIEWER*. La computación, ciencia hasta hace 3 década muy poco usada por los Ingenieros Civiles es en la actualidad una herramienta indispensable.

A principios de los 90, cuando ya empezaban a circular las primeras Estaciones totales como sistemas integrados, teníamos a Michael Hammer & James Champy proponiéndonos que los procesos debían ser realizado no de manera piramidal (como era la forma clásica desde la época de Adam Smith, en la que cada trabajo se dividía en sus tareas mas simples y se asignaba cada una de éstas a un especialista), sino que era mucho mejor realizar los procesos de manera horizontal.( todo el proceso es realizado en su totalidad por un especialista o un grupo de especialistas)

A finales de los 90, Estados Unidos decide que los usuarios civiles puedan también usar el sistema GPS que hasta entonces era sólo de uso militar. Con lo que los extensos cálculos geodésicos realizados por los Ingenieros dedicados a ésta ciencia, resultaban mucho más fáciles y precisos. Esto obligó a las instituciones gubernamentales, a crear nuevas normas que incluían estos avances, de modo que ciertos trabajos que anteriormente se realizaban sólo usando los métodos topográficos, con las nuevas normas deberían ser realizados usando estos equipos geodésicos. Por ejemplo, el Ministerio de Energía y Minas, adecuó sus normas de modo que los antiguos denuncios mineros, en los cuales sólo se usaban métodos topográficos, deberían ser ahora realizados usando equipos geodésicos GPS. Los antiguos Peritos Mineros entre los que se encontraban muchos Ingenieros Civiles que siempre habían hecho sus cálculos usando la topografía convencional, de pronto tuvieron que actualizar sus conocimientos y estudiar cursos acelerados de Geodesia en los que principalmente se enseñaba que la tierra ya no era mas plana como lo suponían para sus cálculos, sino que era redonda como lo había supuesto miles de años atrás: Erastótenes. *Mediciones topográficas y Geodésicas integradas en un solo proceso.* Así por ejemplo en la actualidad ya es común realizar poligonales en carreteras usando topografía y tomando puntos de control cada 10 Km. con GPS, es más, ya tenemos ejemplos de replanteo de carreteras usando solo el sistema GPS como es la reciente carretera Juliaca- Arequipa, en la que la posición horizontal del estacado del proyecto fue realizado con GPS, mientras que para su posición vertical utilizaron un modelo geoidal con mas menos 5 cm. de error.

Aunque la presente tesis no abarca este tema, es importante mencionar el avance de los Sistemas de Información geográfica (SIG). Un SIG es un sistema especializado de base de datos capaz de manipular información

espacial. La disponibilidad de los satélites de observación de alta resolución, abre nuevas perspectivas para los Ingenieros Civiles; por ejemplo para realizar proyectos y mantenimientos de carreteras: sustituye a las clásicas tecnologías de fotogrametría aérea, se puede determinar las zonas de mayor vegetación, poblados por donde ha de pasar el camino, estado del camino actual, puntos de interés geológico, etc. Técnicas que hasta la década pasada eran usados por corporaciones o entidades estatales, pueden ser usadas actualmente por el Ingeniero independiente. La tecnología satelital confluye como una herramienta mas para el Ingeniero.

La tendencia a “un solo operador” durante todo el proceso, va a ser cada vez mas intensa en los próximos años. Desde hace algunos años ya existen en el mercado las Estaciones totales robotizadas de un solo operador que posiblemente con la aplicación de nuevas y mejores tecnologías, se llegue a realizar simultáneamente a los levantamientos: la elaboración del modelo digital del terreno, cálculos, simulaciones, etc. En el caso de los GPS método diferencial, ya existe la posibilidad que el usuario disponga de un solo equipo GPS (el Rover) ya que el Master es una estación permanente cuyos datos pueden ser bajados por Internet previo pago. Siguiendo esta tendencia es muy posible que cada vez aparezcan nuevas técnicas que sólo requieran un solo especialista (el término correcto deberá ser: *especialista sistémico*) para todo el proceso.

# **CAPÍTULO 2**

## **MARCO TEÓRICO**



## 2.1 La forma de la tierra

### 2.1.a Historia

Si nos remontamos a la antigua Grecia, Homero ( Siglo IX a.C. ) imaginaba a la Tierra como un disco en cuyo centro se hallaba el Olimpo y en torno suyo el Okeanos o mar universal. Fue Pitágoras ( 550 a.C. ) el primero en admitir la esfericidad de la tierra, idea que fue ganando adeptos en especial con las observaciones hechas por Aristóteles ( 384 – 322 a.C.). La forma esférica de la tierra fue aceptada hasta mediados del siglo XVII de nuestra era.

Fue Eratóstenes que en el siglo II a.C. realizó la primera medida razonable del tamaño de la tierra. Para esto observó que cuando el sol caía perpendicular sobre la ciudad de Siena (actual Asuán, donde se halla uno de los mayores embalses de agua del mundo), de hecho existía un pozo profundo donde el agua del fondo sólo reflejaba los rayos del sol cuando estos eran perpendiculares, esto no ocurría en Alejandría, situada a 5000 *estadios* al norte de Siena. Si la tierra hubiese sido plana, entonces los rayos del sol debiesen haber sido perpendiculares a ambas ciudades, considerando que dichos rayos son paralelos debido a lo distante que se encuentra dicho astro. Eratóstenes combinó estos hechos en el gráfico mostrado. Realizó mediciones a la altura de un obelisco en Alejandría, la longitud de su sombra cuando en Siena los rayos del sol eran perpendiculares así como la distancia entre Siena y Alejandría. De modo que proyectando la vertical en Siena con la vertical en Alejandría determinó que el ángulo vertical formado por ambas verticales era próximo a  $7.2^\circ$  . Teniendo este dato ya era posible determinar la longitud de la circunferencia terrestre de la siguiente manera:

$$C.T. = ( 360 \div 7.2 ) 5000 \text{ estadios} = 250\ 000 \text{ estadios}$$



Donde C.T. = circunferencia terrestre

La equivalencia entre la unidad griega *estadio* y nuestro *metro* no es bien conocida, pero una estimación conservadora lo sitúa alrededor de 150 metros. Este valor daría una circunferencia terrestre de unos 37500 km, ligeramente inferior al resultado correcto de unos 40074 Km. Algunos especialistas estiman que el *estadio* era ligeramente mayor con lo que la medida de Eratóstenes sería aún más precisa. Cálculos realizados posteriormente dieron dimensiones menores, así Ptolomeo revisando unos cálculos determinó que la longitud de la circunferencia de la tierra era 28800 Km. (valor mucho menor que el calculado por Eratóstenes, valor posiblemente tomado por Cristóbal Colón para creer que Asia no se encontraba tan lejos de Europa de lo que realmente está.

En el siglo XVII con Newton fue posible medir las distancias y la gravedad con suficiente precisión para entender que la curvatura de la tierra no era igual en diferentes lugares. Esto indicaba que la tierra no era una esfera. Así en 1835, la Academia de Ciencias de Francia, envió una expedición científica al Perú y a Lapponia para ejecutar las mismas mediciones y para eliminar la controversia sobre la forma de la tierra. Estas concluyeron que la tierra era achatada en los polos y ensanchada en el ecuador y que por lo tanto la forma de la tierra no era una esfera sino que la figura geométrica que más se le acercaba, era el elipsoide de revolución en el que como se sabe, uno de los ejes es mayor que el otro.

### **2.1.b Superficies de la tierra**

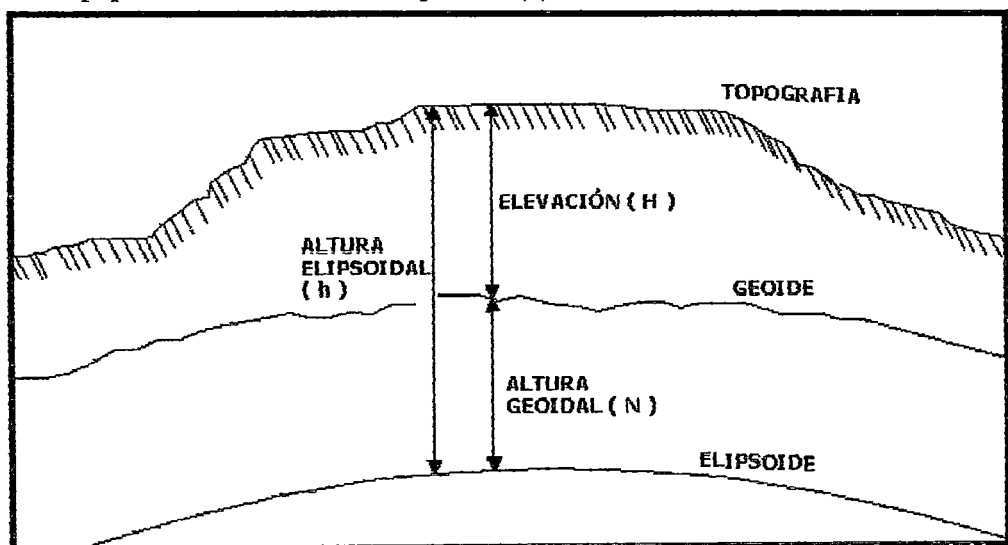
Si a la elipse se le hace girar alrededor de su eje menor, este formará un elipsoide. Un modelo elipsoidal terrestre debe tener su eje menor o paralelo o aproximadamente paralelo al eje de rotación de la tierra, su semieje mayor deber ser aproximadamente igual a la distancia del centro de la tierra a un punto de la línea ecuatorial y su semieje menor debe ser aproximadamente igual a la distancia del centro de la tierra a uno de los polos.

La superficie al nivel del mar imperturbable es lo que se llama *Geoide*, y la forma de *Geoide* es lo que llamamos forma de la Tierra. Se entiende que el *Geoide* es sólo una de las infinitas familias de superficies equipotenciales, cada una con un potencial gravitatorio diferente. A través de mediciones realizadas se ha encontrado que este *Geoide* es muy irregular comparadas con las del *elipsoide*, estas irregularidades se describen midiendo las distancias diferenciales que separan uno de otro, a estas distancias se les conoce como *Altura Geoidal* u *Ondulación*.

Esto indica que debemos distinguir tres superficies: la topográfica, la del *Geoide* y la del *elipsoide*. La superficie topográfica es la superficie de la tierra y los continentes, la superficie del *geoide* es la superficie del mar imperturbable y la superficie elipsoidal es la formada por el *elipsoide*.

Así la altura elipsoidal ( $h$ ) de un punto de la superficie topográfica es la distancia vertical de dicho punto hasta la superficie elipsoidal, la altura ortométrica o Cota ( $H$ ) es la distancia vertical desde dicho punto hasta la superficie geoidal. Así la *Ondulación* será  $N = h - H$

Como se observa la *Ondulación* varía según la posición del punto topográfico, para el presente trabajo se ha elaborado un mapa ondulatorio para la UNI el cual puede resultar muy práctico cuando se realizan nivelaciones con GPS, ya que este equipo nos indica la altura elipsoidal ( $h$ )



Para los cálculos geodésicos como para realizar proyecciones planas usaremos la superficie elipsoidal, por lo tanto todos los puntos de la superficie topográfica deberán estar proyectados al elipsoide.

## 2.1.c El elipsoide

### c.1) Acerca de su geometría

- **Semieje mayor ( a ) y Semieje menor ( b )**

Ambos semiejes son perpendiculares entre sí y sus longitudes son medidas desde el centro del elipsoide hasta su superficie.

- **Latitud (  $\varphi$  )**

La latitud de un punto sobre el elipsoide es el ángulo entre la normal al elipsoide a través de dicho punto y el plano ecuatorial.

- **Elipse meridiana**

La *elipse meridiana* es la intersección de un plano, que contenga el eje menor del elipsoide y el elipsoide mismo. La ecuación de la elipse meridiana es:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

- **Achatamiento: f**

$$f = \frac{a-b}{a}$$

- **Aplastamiento ( 1/f )**

Está definida como la inversa del achatamiento. Es muy usado junto con el valor del eje mayor, para definir los parámetros del elipsoide.

- **Primera excentricidad : e**

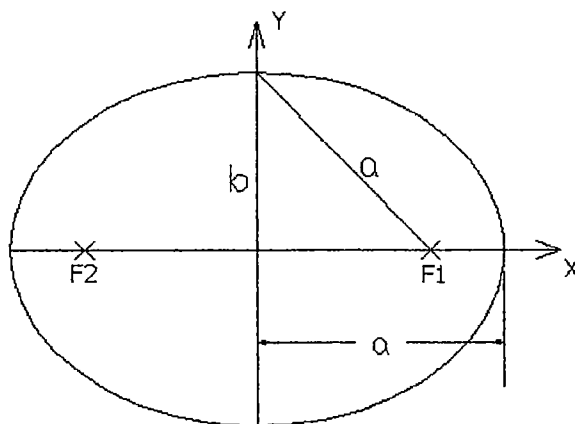
$$e = \frac{\text{Distancia del centro al foco}}{\text{Semieje mayor}}$$

Reemplazando y resolviendo:

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

el mismo valor en función del achatamiento

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



F1 y F2 son los focos

PABLO BARRERO RUIZ

- **Segunda excentricidad: e'**

$$e' = \frac{\text{Distancia del centro al foco}}{\text{Semieje menor}}$$

Reemplazando y resolviendo:

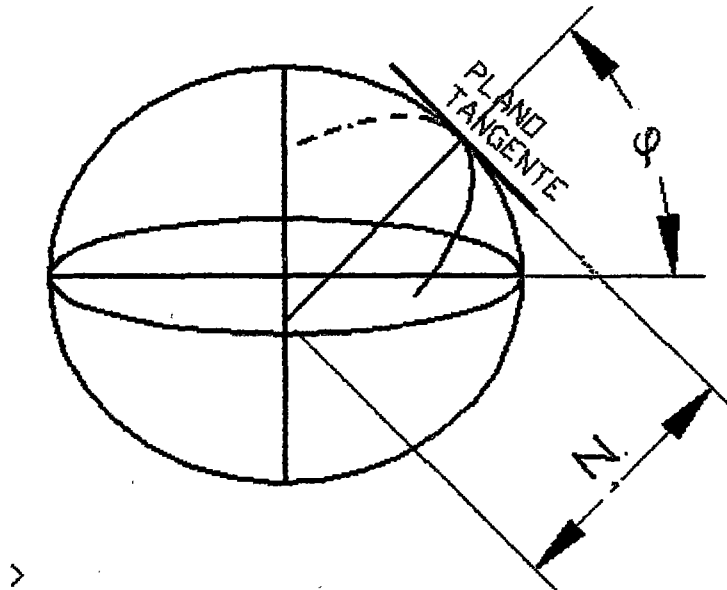
$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

- **Radio de curvatura de la elipse meridiana : M**

Es el radio de un diferencial de arco sobre una elipse meridiana.

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2\text{sen}^2\varphi)^{3/2}}$$

- **Radio de curvatura del primer vertical : N**



$N = \frac{a}{(1+e^2\text{Sen}^2\varphi)^{1/2}}$
--

### c.2) Dimensiones del elipsoide

Desde que se supo que la tierra no tenía una forma esférica, ha existido muchos intentos de definir las dimensiones del elipsoide que se aproxime a la forma de la tierra. Es así que desde el siglo XIX se vienen formulando elipsoides con dicho fin. En principio los elipsoides formulados eran no geocéntricos, pero a partir de 1960 los elipsoides que se formulan son geocéntricos, es decir tomando como origen el centro de la tierra. A continuación se presentan algunos de los elipsoides más usados a lo largo de la historia.

#### Elipsoides Locales

Elipsoides de Referencia	a (mts)	1/f
Everest	6377276,345	300,8017
Clarke 1880 modificado	6378249,145	293,4663
Internacional de Hayford	6378388,000	297,0000
Bessel de 1941	6377397,155	299,1528
Sudamericano de 1969	6378160,000	298.2500

#### Elipsoides globales

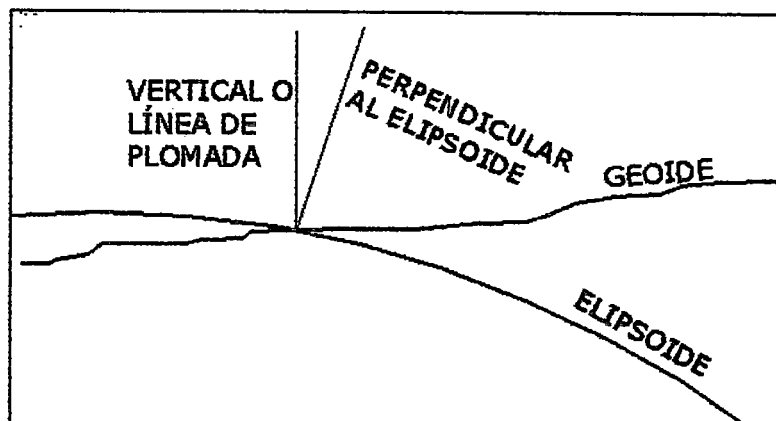
Elipsoides de Referencia	a (mts)	1/f
WGS 60	6378165,000	298,3000
WGS 66	6378145,000	298,2500
WGS 72 (Doppler)	6378135,000	298,2600
WGS 84 (GPS)	6378137,000	298,257223563
PZ-90 (GLONASS)	6378136.000	298,257839303

El elipsoide con que se realizó la Carta Nacional el siglo pasado fue con el Internacional de Hayford, el GPS calcula las coordenadas teniendo en cuenta el elipsoide WGS 84. Por lo tanto si con el GPS deseamos calcular las coordenadas con el elipsoide Internacional, habrá que hacer una transformación de coordenadas del WGS 84 al Internacional. Algunos GPS tienen programas que permiten realizar esta transformación de manera automática, el problema es que muchas veces los parámetros de transformación que tienen incorporados, no son

los adecuados para el Perú, conllevando a error en la transformación de inclusive hasta mas de 1 mt.

### c.3) Desviación de la vertical

Es el ángulo formado por la vertical o la línea de la plomada con la normal al elipsoide en un punto dado.



### c.4) Datum geodésico

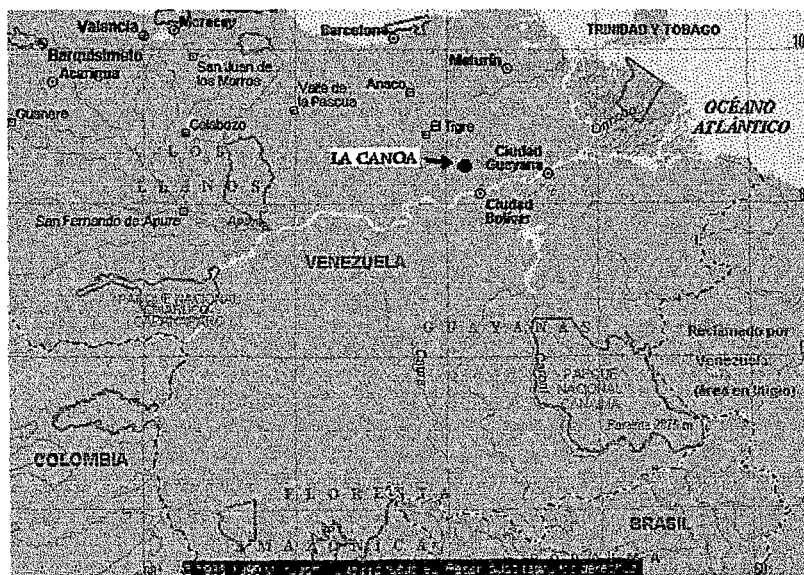
Se llama Datum geodésico a un conjunto de parámetros que especifican un sistema de coordenadas geodésico, incluyendo el tipo de elipsoide de referencia y su posición relativa respecto al globo terrestre. Este Datum sirve como punto de partida para determinar coordenadas de otros puntos del elipsoide.

Desde el punto de vista histórico, los Datums se seleccionaban originalmente de tal manera que expresaran únicamente las ubicaciones comprendidas en una región particular. Dichos Datums regionales o locales estaban basados en un elipsoide que había sido escogido para que se ajustara al geoide de esta región en particular donde se debía conocer sus coordenadas, la desviación de la vertical, la



ondulación y el azimut desde dicho punto Datum hasta otro punto especificado estableciéndose así la primera línea de la red geodésica.

Para que el I.G.M: realizara la Carta Nacional se tomó como elipsoide el Internacional de Hayford y el Datum en un punto en Venezuela situado horizontalmente en el poblado la Canoa en Venezuela ( latitud:  $08^{\circ} 34' 17.17''$  W, longitud  $63^{\circ} 51' 34.88''$  W, cota: 158 m.s.n.m. ver mapa).Este sistema de referencia se llama: Provisional South America Datum of 1956 : *Psad-56* ) Es interesante observar que para realizar sus cartas otros países tomaron este mismo elipsoide pero con otros Datums locales, es decir siendo el mismo elipsoide, según el Datum que se tome, la posición del centro del elipsoide varia ya que hay que ajustar el elipsoide al Datum dado. Por lo tanto el centro del elipsoide casi nunca coincide con el centro de la tierra. Vale la pena decir que existen mas de 100 Datums locales según la conveniencia de los cálculos.



Por ejemplo, en el cuadro se observa que el mismo elipsoide es usado por diferentes Datums, por lo tanto este elipsoide tendrá diferentes centros según el Datum al que se le haya ajustado.

DATUM	ELIPSOIDE	ORIGEN	LATITUD	LONGITUD
EUROPEAN (EUROPE 50)	INTERNATIONAL	HELMTTURM	52°22'51.45"N	13°03'58.93"E
PROVISIONAL SOUTH AMERICAN 1956	INTERNATIONAL	LA CANOA	08° 34'17.17"S	63°51'34.88" W

El problema principal de los Datums locales es que a cada Datum corresponde una región en particular ya que no sería muy práctico calcular posiciones geodésicas para puntos que se encuentren muy lejos del Datum local.

En las últimas décadas el interés ha estado más bien dirigido hacia el desarrollo de Datums globales, con un elipsoide escogido de tal forma que se ajuste al geoide en un sentido global y con origen en el centro de masa de la tierra. En principio, debido a que cuando aparecieron los satélites artificiales y los misiles balísticos intercontinentales introducidos a mediados del siglo pasado, fue obvio que era necesario un sistema de referencia global geocéntrico. Así el Departamento de Defensa de los Estados Unidos ha venido desarrollando elipsoides geodésicos desde 1960. Del WGS 60 se evolucionó al WGS 66 y con la puesta en órbita de los satélites TRANSIT se introdujo el WGS 72 que trabajó con el efecto Doppler, con la necesidad de mayor precisión con fines estratégicos militares se puso en órbita los satélites Navstar, que generaron el WGS 84 o el elipsoide del GPS. Cada sistema de referencia incorpora mejores técnicas computacionales, mayor conocimiento de la tierra y una mejor precisión. Así el elipsoide del GPS es ahora llamado WGS84(G1150), G por el GPS y 1150 por la semana GPS donde se han incorporado las mejores técnicas computacionales.

## 2.2 Proyecciones cartográficas

### 2.2.a Definición

Cartografía es la ciencia que se encarga de la representación de la superficie de la tierra en un plano de 2 dimensiones. Una proyección cartográfica es el nombre que se da a los diferentes sistemas de proyección que se aplican en el trazado de mapas.

Con total independencia del datum empleado en los cálculos geodésicos, tenemos el problema matemático de representar en una superficie plana la superficie curva del elipsoide utilizado.

Se utiliza una representación plana de la Tierra, o proyección a fines de:

- Representar sobre una superficie plana parte del modelo elipsoidal de la Tierra.
- Hacer más fácil las mediciones
- El almacenamiento físico de estas proyecciones ocupan menos espacio.
- Son fáciles de manipular.

Una superficie esférica no puede transformarse a una plana sin modificar la geometría de la superficie. Afortunadamente, hay muchas transformaciones que conservan una o varias propiedades de la superficie.

**El factor de escala** en cualquier sistema de proyección es la relación entre la distancia proyectada de una línea geodésica y la distancia geodésica de esa misma línea. Si llamamos  $A'B'$  a la distancia proyectada en el cilindro y  $AB$  a la distancia sobre el elipsoide, entonces el factor de escala (FE) será  $A'B'/AB$ .

Se va a describir las proyecciones más comunes, y clasificarlas según el tipo de superficie adoptada y también según su deformación o distorsión. Si bien existen proyecciones que no se ajustan a estas clasificaciones, estas no son muy comunes en nuestro medio.

## 2.2.b Familias de proyección

Según el tipo de superficie adoptada, se pueden clasificar en:

### b.1. Proyecciones planas

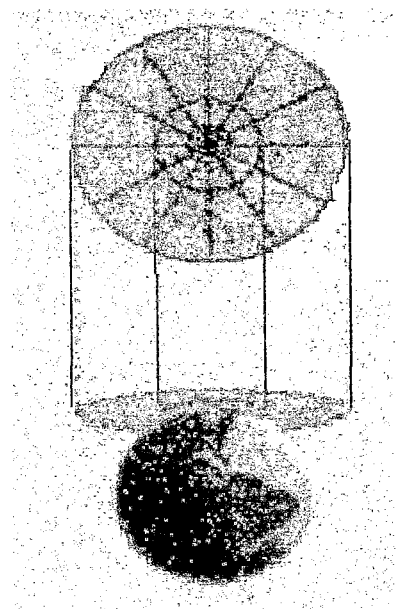
Ocurre cuando la proyección se realiza desde el globo hacia un plano tangente o secante.

Todas las proyecciones planas son proyectadas sobre un plano que puede estar localizado en cualquier parte con respecto al globo de referencia. Una línea perpendicular al plano de proyección necesariamente pasa por el centro del globo. Consecuentemente, las distorsiones son simétricas alrededor del punto seleccionado como centro.

La traza de la distorsión es circular, con mínima distorsión en el centro.

El uso de las proyecciones planas ha incrementado con el desarrollo de los aeroplanos, los radios electrónicos, los satélites, el mapeo de cuerpos celestes. En la figura se observa un ejemplo de proyección plana.

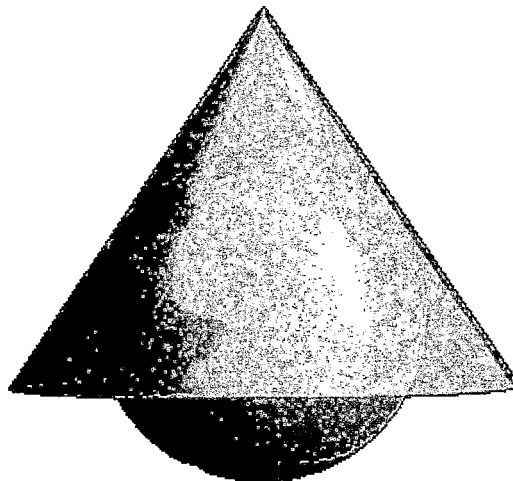
La mayoría de las proyecciones de este tipo son adecuadas para representar un hemisferio o menos. La forma y tamaño en las áreas perimetrales tiene la máxima distorsión.



Las más conocidas son: Lambert igual-área, la estereográfica, la azimutal equidistante y la gnomónica.

## b.2 Proyecciones Cónicas

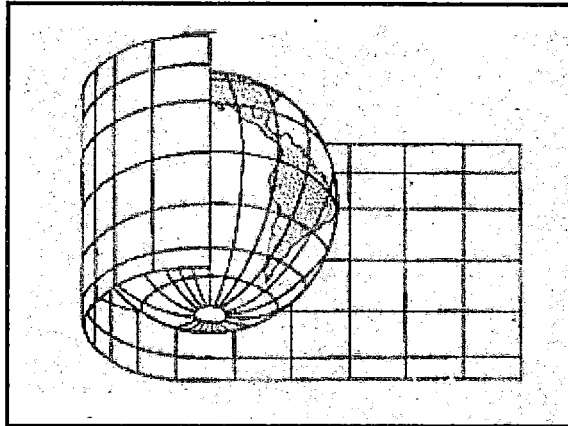
La proyección se hace sobre la superficie de un cono tangente a un círculo pequeño o secante en dos círculos pequeños del globo. En el cono tangente la escala es verdadera en un paralelo y en el cono secante a dos paralelos.



PROYECCIÓN CÓNICA

## b.3 Proyecciones cilíndricas

La proyección se realiza sobre un cilindro tangente o secante. Las líneas de igual distorsión son líneas paralelas a las líneas estándar. La distorsión aumenta a medida que la zona se aleja, en forma paralela, de las líneas estándar.



## 2.2.c La distorsión de las proyecciones

Cuando se proyecta la superficie curva de la tierra a un plano, **no es posible** mantener todas las relaciones geométricas de la superficie curva: paralelismo de los Paralelos, meridianos convergentes, intersección perpendicular de paralelos y meridianos. Como toda proyección lleva inherente la distorsión, se tratará de lograr, de acuerdo a los requerimientos específicos, que algunas de las características de la proyección no se distorsionen. De acuerdo a esto podemos agrupar las proyecciones en:

### c.1 Conforme

. Cuando los ángulos proyectados en el plano son los mismos que en la superficie de la tierra la proyección se denomina **conforme** .

En este tipo de proyección, todas las direcciones alrededor de un punto serán representadas correctamente y los paralelos y meridianos se intersecarán en  $90^\circ$  .

Esta condición está limitada a direcciones alrededor de un punto y no necesariamente direcciones entre puntos distantes en la proyección.

Estas proyecciones son usadas en las cartas de navegación de marinos y aviadores, cartas meteorológicas donde es necesario conocer correctamente la dirección de navegación o de los vientos. También es usada por los mapas topográficos.

Existen cuatro proyecciones conformes de uso común:

- MERCATOR
- TRANSVERSA MERCATOR
- CÓNICA CONFORME DE LAMBERT
- ESTEREOGRÁFICA AZIMUTAL

A continuación se explica cada una de las mediciones:

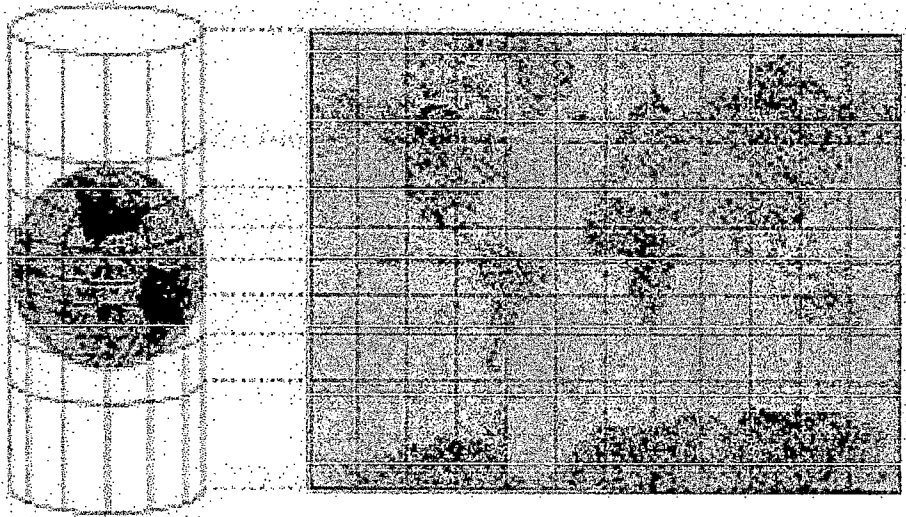
- PROYECCIÓN CILÍNDRICA DE MERCATOR

Esta proyección es la más famosa de todas. Se ha utilizado principalmente para propósitos de navegación.

La zona cercana al Ecuador, tiene una muy buena representación, pero las áreas van aumentando rápidamente hacia latitudes altas, por lo que tiene muy poco uso para otros efectos diferentes a la navegación.

La línea estándar en esta proyección es la línea del Ecuador.

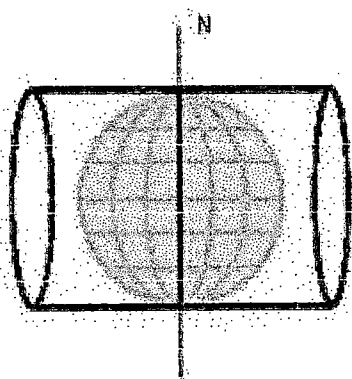
## PROYECCIÓN CILÍNDRICA



Cuando se rota la esfera  $90^\circ$ , la línea estándar utilizada es el meridiano a  $80^\circ$  W y la proyección se denomina Transversa de Mercator.

### - PROYECCIÓN TRANSVERSA DE MERCATOR

La proyección Transversa de Mercator es conforme. Es útil para zonas cercanas al meridiano estándar ( $80^\circ$  W). En los últimos años, esta proyección ha sido ampliamente usada para mapas topográficos (por ejemplo en el Reino Unido y en EEUU) y es la base para el sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM)

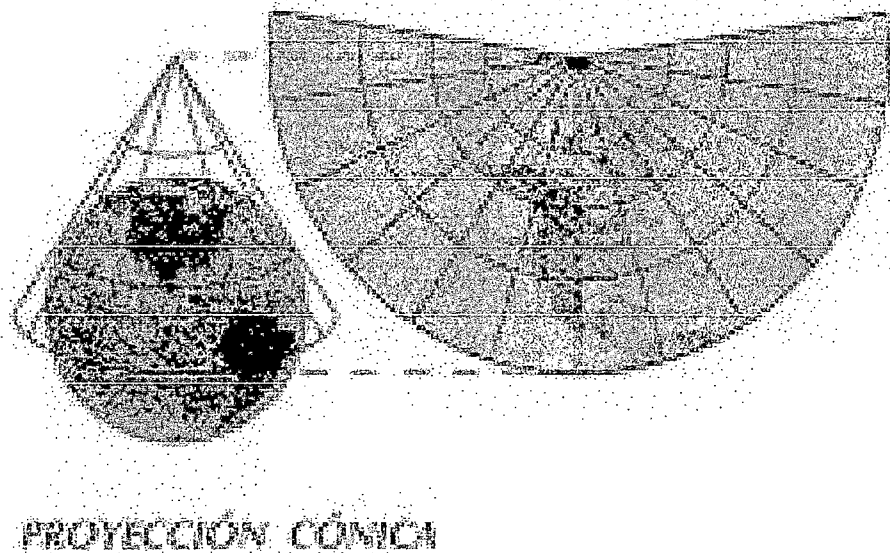




## - PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT CON DOS PARALELOS ESTÁNDAR

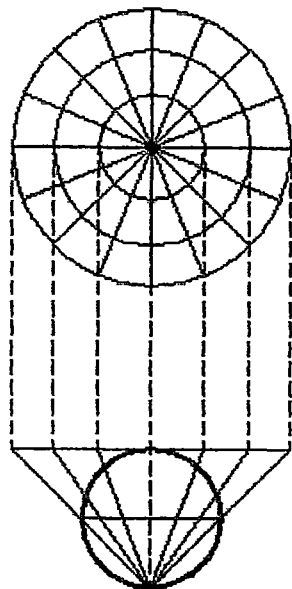
En su forma normal, esta proyección tiene Paralelos concéntricos y Meridianos rectos igualmente espaciados entre paralelos, que cruzan los paralelos en ángulo recto.

La distorsión de área entre los paralelos estándar es relativamente pequeña. Por lo tanto, proporciona relaciones excelentes de dirección y forma para la zona de latitud media, por ejemplo para la zona de los EEUU. Consecuentemente, se usa para navegación aérea, mapas topográficos y cartas meteorológicas en estas latitudes medias.

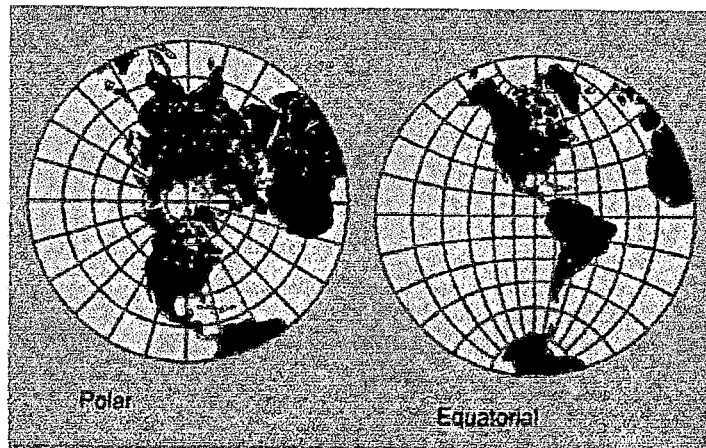


## - PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA CONFORME

Esta proyección es del tipo azimutal. La distorsión se dispone en forma simétrica alrededor del punto central. El punto de la proyección está en la superficie del globo que está opuesta al punto de tangencia del plano de la proyección y el globo.



PUNTO DE PROYECCIÓN



En el gráfico se observa 2 proyecciones, una con el punto de tangente en el polo norte y la otra con tangencia en un punto de la línea ecuatorial.

### c.2 Igual área o Equivalente

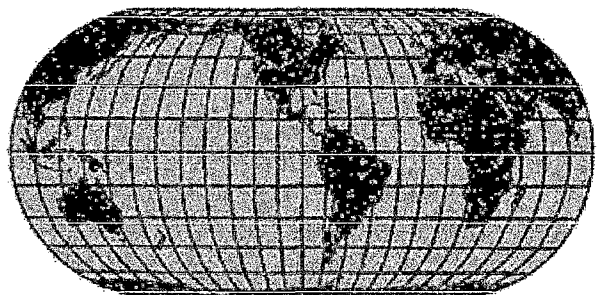
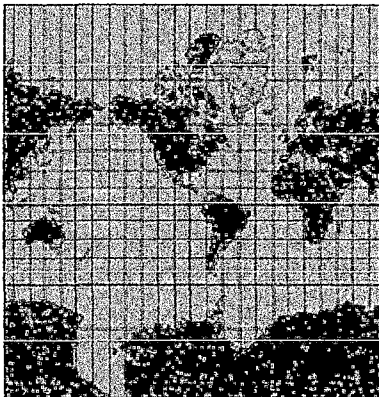
Es posible que una proyección mantenga las áreas, es decir, que las regiones en la proyección se vean con su tamaño relativo correcto. Esta proyección se denomina **área-igual o equivalente**.

Las condiciones de las proyecciones conforme y equivalente son mutuamente excluyentes: no puede haber una proyección al mismo tiempo conforme y equivalente. De esta manera, todas las transformaciones conformes mostrarán las regiones con formas similares y tamaños diferentes, y todas las transformaciones equivalentes mostrarán los tamaños en forma similar, pero con ángulos deformados. Esta proyección se logra haciendo que el producto de los FE en las direcciones principales (las que permanecen

ortogonales en la proyección) sea igual a 1.0; en todas las demás direcciones, el FE varía (la proyección no es conforme).

Este tipo de proyección es muy usado por ejemplo en los planos que se incluyen datos estadísticos como: población, áreas de cultivos, contaminación, etc. Donde es importante que las áreas se mantengan.

Si comparamos una proyección cilíndrica conforme y con una cilíndrica equivalente, observaremos que en la proyección conforme del gráfico de la izquierda, Groenlandia parece ser mucho mas grande que Perú y Bolivia juntos, cuando en la realidad es Groenlandia ligeramente mas pequeño que estos 2 países juntos, como es lo que se observa en la proyección equivalente de la derecha.

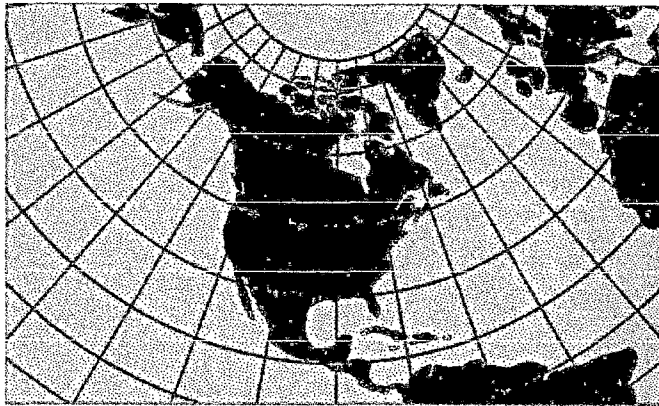


A manera de ejemplo se mostrarán dos proyecciones conformes mas:

- PROYECCIÓN CÓNICA DE ALBERS
- PROYECCIÓN IGUAL AREA DE LAMBERT

- PROYECCIÓN CÓNICA DE ALBERS

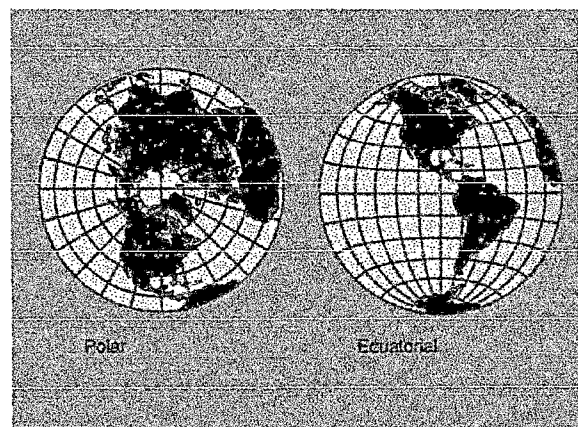
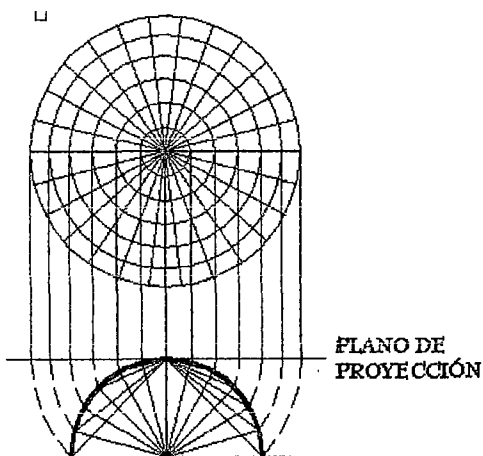
Esta proyección cónica tiene la característica que las áreas se mantienen. Así por ejemplo el área existente dentro de una cuadrícula comprendida por 2 meridianos y 2 paralelos, es la misma que la del globo para dicha cuadrícula. Siendo los meridianos radiales, habrá que colocar los paralelos de modo que las áreas sean iguales a las del globo.



UN MAPA CON LA PROYECCIÓN CÓNICA DE ALBERS

- PROYECCIÓN IGUAL AREA DE LAMBERT

Esta proyección es azimutal y equivalente. En el gráfico se observa su construcción y sus proyecciones resultantes cuando el punto de tangencia es el Polo norte y cuando es un punto del ecuador.



### c.3 Equidistante

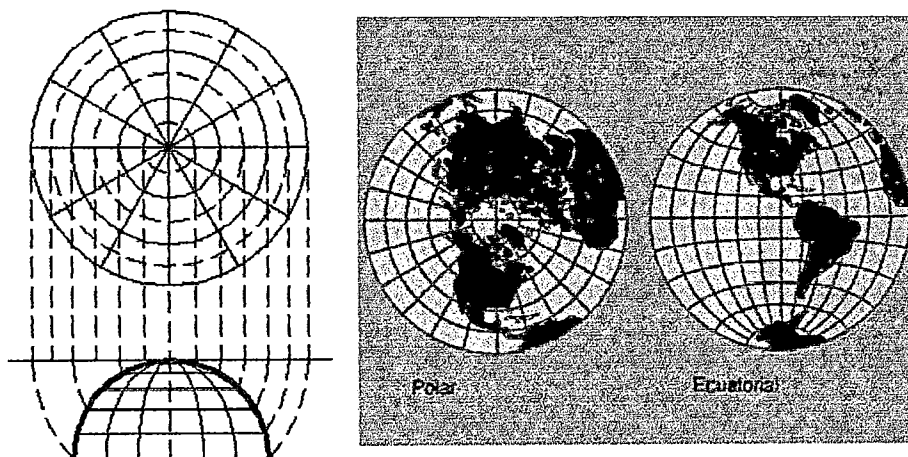
La representación de distancias correctamente es una cuestión de representar la escala en forma consistente. Esto es, para representar verdaderamente la distancia entre dos puntos en una proyección, la escala debe ser uniforme a lo largo de toda la línea que une los dos puntos. Esta proyección se denomina **Equi-distante**.

Se tienen dos opciones al representar distancias en un mapa:

Mantener el  $FE = 1.0$  a lo largo de una o varias líneas paralelas, pero solamente a lo largo de las líneas. Tales líneas se denominan Líneas estándar.

El  $FE = 1.0$  se mantiene en todas las direcciones desde uno o varios puntos, pero solamente desde esos puntos. Estos puntos se denominan puntos estándar y la proyección equidistante.

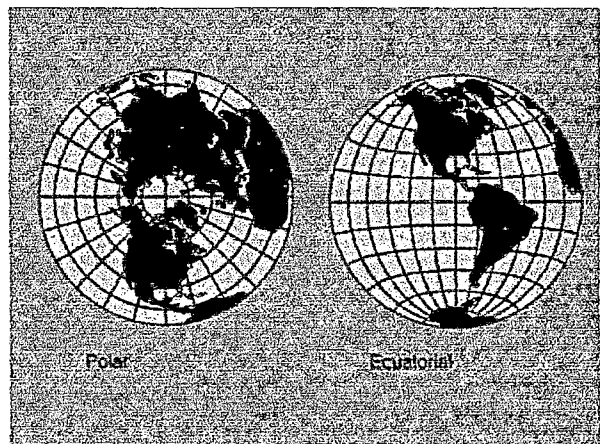
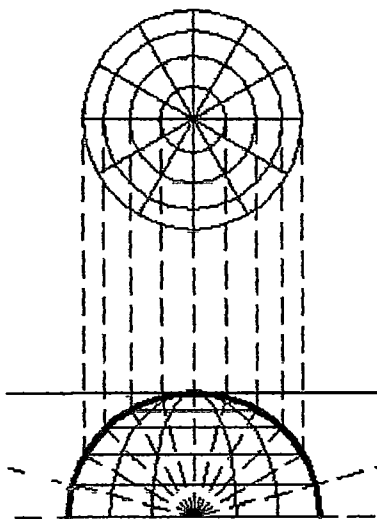
Como ejemplo de este tipo de proyecciones se muestra la proyección azimutal equidistante. Muy usado en aviación para mostrar distancias desde un centro de proyección (en dicho caso el Aeropuerto). Así son correctas las distancias de cualquier punto del mapa al centro de la proyección así como a lo largo de los círculos concéntricos. Para otras distancias son incorrectos. La construcción de este tipo de proyección, así como 2 ejemplos tomando como centro de proyección el polo norte y un punto sobre la línea ecuatorial son mostrados en los gráficos siguientes.



#### c.4 Azimutal o de direcciones

Sabemos que sobre una superficie de revolución, la distancia mas corta entre 2 puntos es el menor arco que pasa por dicha superficie y que pasa por ambos puntos. Dichas distancias siempre son mostradas como líneas rectas en este tipo de proyecciones. Así si quisiéramos saber que recorrido habrá que hacer con la finalidad de llegar al punto B partiendo del punto A; bastará con trazar una recta entre ambos puntos. Dicha recta nos indicará por que zonas deberemos pasar para que el recorrido de A a B sea la mas corta.. Así por ejemplo viendo el gráfico de la proyección, si queremos ir de Tokio a Nueva York, al trazar una recta entre ambos puntos observamos que deberemos pasar por Alaska y Canadá.

Un tipo de estas proyecciones es la **gnomónica**, cuya construcción y 2 proyecciones, una tomando como centro de proyección el polo norte y otra sobre un punto de la línea ecuatorial, son mostrados en los gráficos siguientes:



#### c.5 Otros tipos

Además de las indicadas anteriormente que son las mas importantes, existen otras proyecciones que no se ajustan a ninguna de las clasificaciones indicadas anteriormente.

### **2.3 Generalidades sobre los Sistemas de Referencia.**

Las posiciones en el planeta se definen con relación a un sistema de referencia. El sistema debe permitir conocer la posición inequívocamente de cualquier punto.

Los puntos son referenciados mediante coordenadas y, como se sabe, todo sistema de coordenadas se compone de un origen que es un punto que se considera la referencia y un algoritmo de cálculo de las coordenadas del punto referenciado respecto a ese origen.

Los sistemas de referencia a analizar son los globales, es decir aquellas que están referenciadas a posiciones notables de la tierra: Centro de la tierra, Meridiano de Greenwich, línea ecuatorial, etc.:

- El sistema geodésico
- Las coordenadas UTM
- El sistema cartesiano geocéntrico

Además es posible convertir coordenadas de un sistema a otro siempre que se tengan las ecuaciones y parámetros de transformación adecuados. Dichas ecuaciones y sus parámetros son indicados en el presente capítulo.

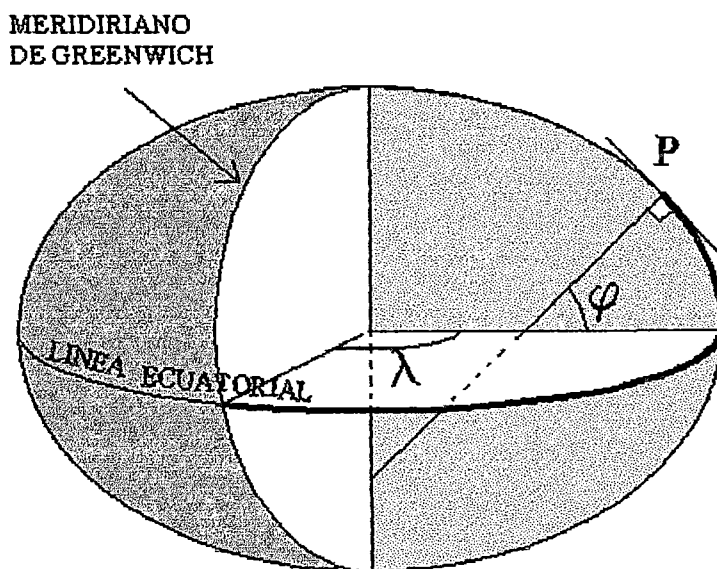
## 2.4 El Sistema geográfico

Mediante la latitud ( $\varphi$ ) y la longitud ( $\lambda$ ), es posible determinar la posición de un punto sobre el elipsoide. A estas coordenadas se les llama coordenadas geodésicas.

Si llamamos **P** al punto cuyas coordenadas geodésicas se desea conocer entonces:

Latitud ( $\varphi$ ), es el menor ángulo que forma la primera vertical (N) que pasa por el punto **P** con el eje mayor. Siempre será necesario indicar si la Latitud está en el hemisferio Norte o Sur, o si es  $0^\circ$ .

Longitud ( $\lambda$ ), es el ángulo formado por el Meridiano de Greenwich y el meridiano que pasa por dicho punto **P**. Será necesario indicar si es al Este o la Oeste de Greenwich. Y el caso el punto se encuentre sobre el meridiano de Greenwich su Longitud será  $0^\circ$ .



Es muy importante indicar el tipo de elipsoide con el que se está trabajando ya que usar un elipsoide inadecuado va a llevar a considerables equivocaciones.



## **2.5 El sistema de Coordenadas UTM (Universal transversa Mercator)**

### **2.5.a Generalidades**

El sistema de coordenadas UTM se basa en la proyección UTM y una de sus ventajas principales es que su unidad de medida es el metro.

A diferencia de la proyección Transversa Mercator en la que la línea estándar de proyección es el meridiano 84 W, en el sistema UTM se realizan proyecciones sobre un hipotético cilindro transversal que gira de 6 en 6 grados alrededor del eje Norte-Sur de modo que va cambiando de línea estándar de proyección a la cual se la llama meridiano central y cada proyección se realiza hasta 3° al Este y 3° Oeste de dicho meridiano central. Debido a que la deformación crece a medida que nos separamos del ecuador, la proyección queda limitada entre los paralelos 84° N y 80° S y se completa con una proyección polar estereográfica para las regiones septentrionales del planeta.

Hay 2 características principales de las coordenadas UTM:

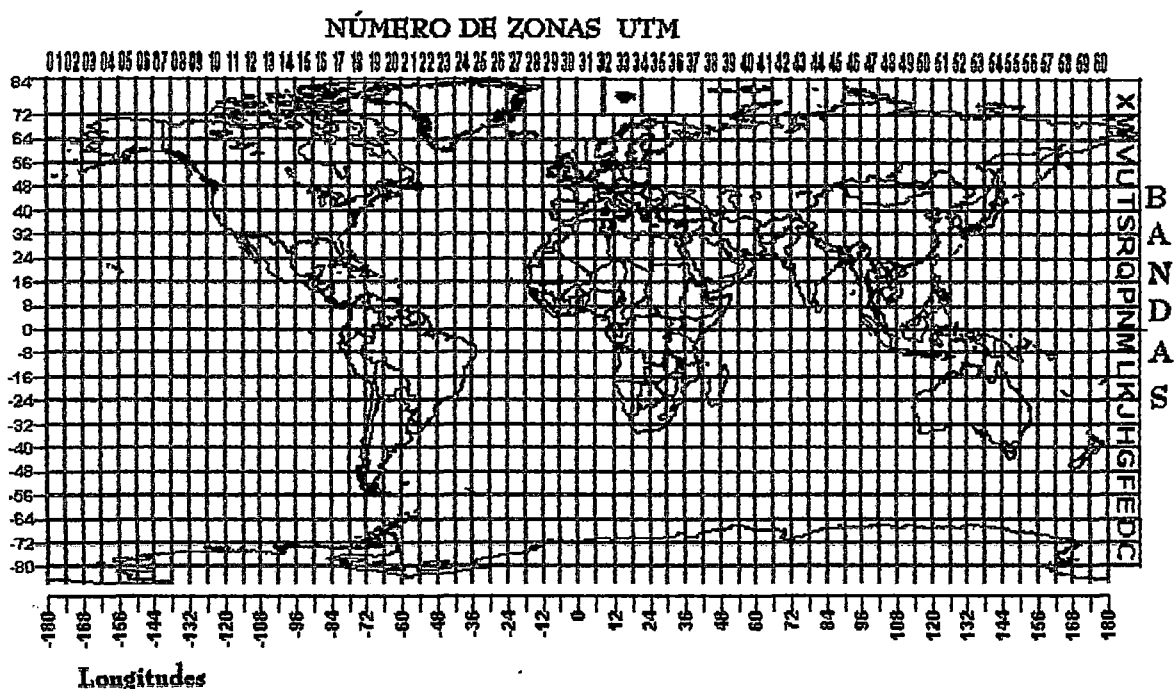
- Son rectangulares. Esto provoca diferencias frente a las coordenadas angulares, como, por ejemplo, latitud / longitud.
- No determinan un punto: definen un área, cuya magnitud depende de la expresión de las coordenadas. Las coordenadas UTM pueden tener toda la precisión que queramos. Cuanta más precisión, más larga será la expresión de las coordenadas.

### **2.5.b Las zonas y las franjas**

Las zonas UTM dividen la tierra de Oeste a Este en 60 Zonas (separados 6° y numerados de 1 a 60) y de Sur a Norte en 20 bandas (designadas por letras: de la C a la W separadas 8° y la X 12°).

Por ejemplo el territorio del Perú (sin incluir las 200 millas) cuyos extremos son: al Norte en el poblado de Agua Blanca en Loreto cuya latitud es aproximadamente 00° 01' Sur, al sur en el poblado Palos en Tacna con una latitud aproximada de 18° 21', al Oeste en Punta Pariña en Piura con una longitud aproximada de 81° 19' W y al Este en el caserío Puerto Pardo en Madre de Dios con una longitud aproximada de 68° 42' W. Tenemos

que todo este territorio se encuentra entre las zonas 19 ( longitudes de 66° W a 72° W), 18 (longitudes de 72° W a 78° W) y 17 (longitudes de 78° W a 84° W), cuyos meridianos centrales son 69° W, 75° W y 81° W respectivamente. Y entre las bandas K ( latitudes de 24° Sur a 16° Sur), L (latitudes de 16° Sur a 8° Sur) y M (latitudes de 8° Sur a 0° Sur).



### 2.5.c El origen de coordenadas

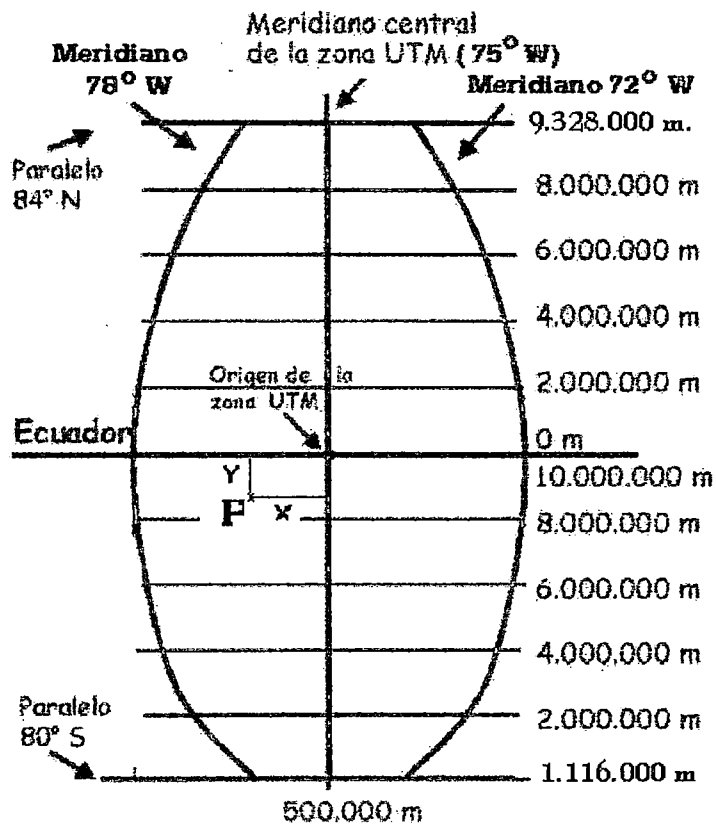
El origen de una zona UTM esta determinado por:

- Para localización horizontal (Este - Oeste), el origen será el meridiano central de cada zona UTM, es decir, los meridianos de longitud 3°, 9°, 15°, 21°,..., 165°, 171° y 177° tanto Este como Oeste. Dicho meridiano tendrá siempre la coordenada 500 000 mts.
- Para localización vertical (Norte - Sur), el origen será el ecuador (latitud 0°). Si nos situamos en el hemisferio Norte el ecuador tendrá para nosotros coordenada vertical 0 mts. Si nos situamos en el hemisferio Sur, el ecuador tendrá para nosotros coordenada vertical 10 000 000 mts.

Por ejemplo en el gráfico (el cual no está a escala) se muestra la zona 18, si para el punto P se tiene que  $X = 112000$  m. e  $Y = 75000$  m. Entonces las coordenadas de dicho punto serán :

$$\text{Este} = 500\,000 - 112\,000 = 388\,000 \text{ mts.}$$

$$\text{Norte} = 10\,000\,000 - 75\,000 = 9\,925\,000 \text{ mts.}$$



Las líneas Norte-Sur y Este-Oeste, espaciados a una distancia UTM constante, es lo que se llama **grilla**.

### 2.5.d Convergencia de cuadrícula

Sólo el meridiano central coincide con una de las líneas Norte-Sur de la cuadrícula UTM. En el resto de la zona no coinciden las líneas Norte-Sur con los meridianos. Estas

diferencias se van acentuando en los extremos derecho e izquierdo de la zona UTM, y se hacen mayores conforme nos alejamos del meridiano central.

De lo anterior, la única línea de la grilla que indica el norte verdadero, es aquella que coincide con el meridiano central, las demás líneas Norte-Sur UTM se desvían de la dirección del polo verdadero. El valor de esta desviación se le llama **Convergencia de Cuadrícula**. Los mapas topográficos de la Carta Nacional suelen incluir esta información para el punto que se encuentra en el centro del mapa aunque este valor puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Convergencia de cuadrícula} = (\lambda - \lambda_0) \text{ Sen } \varphi$$

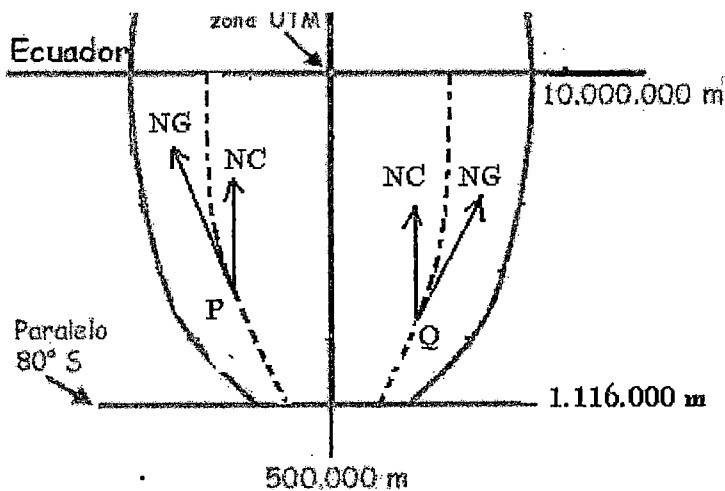
Donde:

$\lambda$  : Longitud del punto sobre el cual se desea calcular la convergencia.

$\lambda_0$  : Longitud del meridiano central.

$\phi$  : Latitud del punto sobre el cual se desea calcular la convergencia.

Un valor positivo significa que para un punto dado, su Norte geográfico está al Oeste del Norte de Cuadrícula UTM y un valor negativo significa que el Norte geográfico está al Este del Norte de Cuadrícula. Observar que cualquier punto que se encuentre en el meridiano central, o sea si:  $\lambda = \lambda_0$ , al reemplazar valores en la ecuación, la convergencia resulta cero.

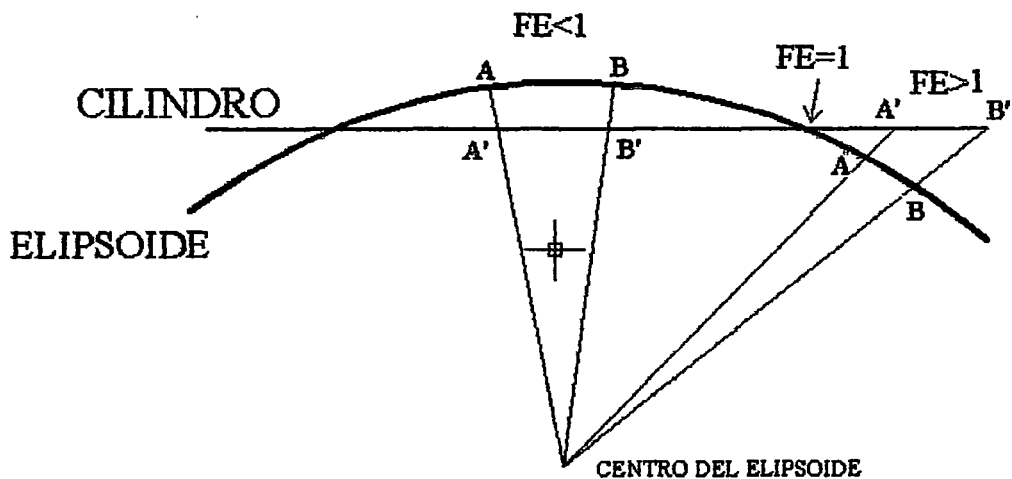


Por ejemplo en el gráfico, tenemos 2 puntos: P y Q. El punto P se encuentra al Oeste del meridiano central, la línea punteada representa al meridiano que pasa por dicho punto. Como se observa, si desde el punto P trazamos un vector orientado

al norte que siga la dirección de dicho meridiano (Norte Geográfico), este resulta que se encuentra al Oeste de la dirección Norte que pasa por dicho punto y que es paralelo al meridiano Central (Norte de Cuadrícula). Un caso similar ocurre para el punto Q sólo que a la inversa.

### 2.5.e Factor de escala y Distancia UTM

Debido a que el radio del cilindro transversal que gira alrededor del eje Norte-Sur, es ligeramente mas pequeña que el radio del eje menor del elipsoide, entonces este cilindro resulta ser secante al elipsoide. Por ejemplo si cortamos con un plano paralelo al ecuador al elipsoide y al cilindro observaremos algo parecido ha visto en el gráfico siguiente:



$$F.E. = A'B'/AB$$

De acuerdo a lo definido como factor de escala en el capítulo 2.2. Y según el gráfico mostrado observamos que podemos agrupar los puntos UTM de acuerdo a su factor de Escala, en 3 tipos:

- Aquellos cuyo FE es menor que 1. Los puntos se encuentran próximos o sobre el meridiano central.
- Aquellos en el que el FE es igual a 1. Dichos puntos están agrupados en las 2 intersecciones del cilindro con el elipsoide.
- Aquellos en el que el FE es mayor que 1. Dichos puntos están agrupados desde la intersección del cilindro y el elipsoide hasta el borde de la zona dada.

Si el cilindro fuese tangente al elipsoide, el factor de escala sería 1 sólo en el meridiano central y en todos los demás puntos sería mayor que 1. La finalidad de hacer secante el cilindro al elipsoide y no tangente es para conseguir que los factores de escala sean lo mas cercanos a 1 para todos los puntos de la zona de la proyección. Los valores de los factores de escala están entre 0,9960 y 1,0160 .

La ecuación para calcular el factor de escala es:

$$\text{Factor de escala} = ( 1 + ( X^2/(2 \cdot R \cdot N) ) + ( X^4/(24 \cdot R \cdot N^2) ) ) * 0.9960$$

Donde:

X = Coordenada Este del punto – 500 000

N = Radio de curvatura en la Primera Vertical

R = Radio de curvatura del elipsoide en el meridiano

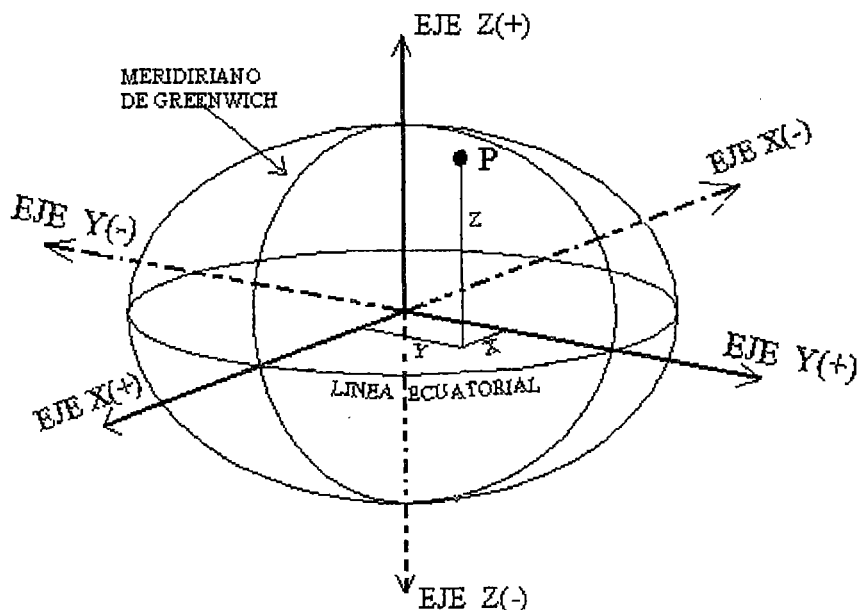
Por lo tanto, toda distancia proyectada al cilindro será la multiplicación de dicha distancia geodésica por el factor de escala promedio entre los 2 puntos extremos de dicha distancia:

$$\text{Distancia UTM o de cuadrícula} = \text{Distancia geodésica} \cdot \text{Factor de escala promedio}$$

## 2.6 El sistema de coordenadas rectangulares geocéntrico

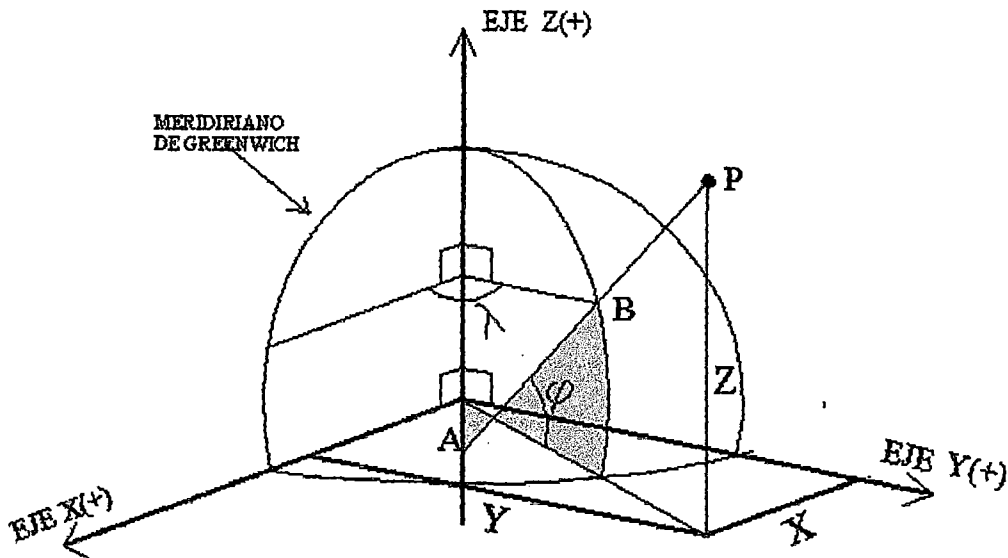
En este caso el sistema es cartesiano con 3 ejes perpendiculares, teniendo como origen (0,0,0) el centro de la tierra. El eje X está definido por la línea que pasa por el centro de la tierra y la intersección de la línea ecuatorial y el meridiano de Greenwich, sus coordenadas son positivas en dirección a Greenwich y negativos en sentido contrario. El eje Y es perpendicular a X y se encuentra sobre el plano ecuatorial., teniendo coordenadas positivas los puntos que se encuentran al Este de Greenwich y negativas las que están al Oeste. El eje Z, en perpendicular a los ejes X e Y, siendo positivo en dirección al Norte y negativo en la dirección al Sur. Por ejemplo en el gráfico el punto P, tiene sus tres coordenadas positivas.

Como es lógico entender la posición del centro de la tierra varía según el Datum tomado y el elipsoide escogido. Lo que determinan los equipos GPS son las coordenadas rectangulares respecto al centro de la tierra definido por el sistema WGS84, posteriormente de acuerdo a los programas que disponga el equipo, calculará las coordenadas en otros sistemas de referencia y en otros elipsoides. Es importante notar que las efemérides precisas se encuentran en el sistema ITRF (International Earth Rotation Service Terrestrial Reference frame) ya que es un sistema un poco mas precisos que el WG84.



## 2.7 Transformación de coordenadas

### 2.7.a Transformación de coordenadas rectangulares a geográficas y viceversa



Si:

P = Un punto elevado sobre el elipsoide

A-B = Radio de curvatura de la primera vertical (N) en el punto P.

B-P = La altura elipsoidal (h) del punto P

$\varphi$  = La latitud del punto P

$\lambda$  = La longitud del punto P

e = Primera excentricidad

$e'$  = Segunda excentricidad

Del gráfico fácilmente se puede demostrar las fórmulas para convertir las coordenadas geodésicas a egocéntricas:

$$X = (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \quad \dots\dots\dots(1)$$



$$Y = (N + h) \cos \varphi \operatorname{Sen} \lambda \quad \dots\dots\dots (II)$$

$$Z = (N(1 - e^2) + h) \operatorname{Sen} \varphi \quad \dots\dots\dots (III)$$

Para convertir coordenadas geodésicas a cartesianas geocéntricas, bastará con reemplazar los valores de la latitud, longitud y altura elipsoidal en las fórmulas.

Ahora, si se desea el proceso inverso, es decir de coordenadas cartesianas geocéntricas, podemos realizarlo de la siguiente manera:

Si dividimos (II) entre (I), obtendremos:

$$\lambda = \operatorname{arctg}(Y/X) \quad \dots\dots\dots (IV)$$

Ahora si elevamos X e Y al cuadrado y sumamos ambas expresiones obtenemos:

$$X^2 + Y^2 = (N + h)^2 \cos^2 \varphi$$

Hallando su raíz cuadrada

$$(X^2 + Y^2)^{1/2} = (N + h) \cos \varphi$$

Llamamos  $\rho = (X^2 + Y^2)^{1/2}$  y reemplazando:

$$\rho = (N + h) \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (V)$$

Despejando h

$$h = \frac{\rho}{\cos \varphi} - N \quad \dots\dots\dots (VI)$$

Dividiendo la expresión (III) entre (V), obtenemos:

$$\boxed{\text{Tg } \varphi = \frac{Z(N+h)}{(N(1-e^2)+h) \cdot \rho} \dots\dots\dots(\text{VII})}$$

se resolverá por aproximaciones sucesivas, calculando un valor aproximado para  $\varphi$  de suponiendo que  $N = 1$  y  $h = 0$ , así:

$$\text{Tg } \varphi = \frac{Z}{(1-e^2) \cdot \rho}$$

Una vez conocido los valores de  $\lambda$  y  $\varphi$ , se calcula  $N$ ,  $\rho$  y  $h$ , se reemplazan estos valores en (VII) y se vuelve determinar  $\varphi$ , se compara con el valor de  $\varphi$  obtenido anteriormente. El proceso se repite hasta que converjan los valores de  $\varphi$ .

También se puede determinar las coordenadas geodésicas teniendo como dato las coordenadas cartesianas, con las siguientes fórmulas:

$$P = (X^2 + Y^2)^{1/2}$$

$$\Theta = \text{arctg} \left[ \frac{Z \cdot a}{P \cdot b} \right]$$

$$\varphi = \text{arctg} \left[ \frac{Z + e'^2 \cdot b \cdot \text{Sen}^3 \Theta}{P - e'^2 \cdot a \cdot \text{Cos}^3 \Theta} \right]$$

$$\lambda = \text{arctg} (Y/X)$$

$$h = \frac{P}{\text{Cos } \varphi} - N$$

## 2.7.b Transformación de coordenadas geodésicas a U.T.M.

### Parámetros necesarios:

$a$  = Semieje mayor

Latitud  $\varphi$  y longitud  $\lambda$

$e$  = excentricidad o primera excentricidad

$e'$  = segunda excentricidad

$c$  =  $a/(1-e^2)^{1/2}$

$K_0$  = Factor de escala

$\lambda_0$  = Meridiano Central

### Fórmulas analíticas

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$$

$$A = \text{Cos } \varphi \cdot \text{Sen } \Delta\lambda$$

$$t = \frac{1}{2} \text{Ln} \left[ \frac{(1+A)}{(1-A)} \right]$$

$$n = \text{Tg}^{-1}(\text{Tg } \varphi / \text{Cos } \Delta\lambda) - \varphi$$

$$v = (c / (1 + e'^2 \text{Cos}^2 \varphi)^{1/2}) K_0$$

$$\Theta = \frac{e'^2 \cdot t^2 \text{Cos}^2 \varphi}{2}$$

$$\alpha = \frac{3}{4} e'^2$$

$$\beta = \frac{5}{3} \alpha^2$$

$$\gamma = \frac{35}{27} \alpha^3$$

$$A_1 = \text{Sen } 2\varphi$$

$$A_2 = A_1 \cdot \text{Cos}^2 \varphi$$

$$J_2 = \varphi + \frac{A_1}{2}$$

$$J_4 = \frac{3J_2 + A_2}{4}$$

$$J_6 = \frac{5J_4 + A_2 \cdot \cos \varphi}{3}$$

$$X = t.v(1 + \Theta/3)$$

$$Y = n.v(1 + \Theta) + \int a(1 + e^2)/(1 - e^2 \cdot \text{Sen}^2 \varphi)^{3/2} \cdot d\varphi \cdot K_0$$

Desarrollando la integral obtenemos que la coordenada de Y es:

$$Y = n.v(1 + \Theta) + K_0 \cdot C(\varphi - \alpha J_2 + \beta J_4 - \gamma J_6 + \dots)$$

Entonces las coordenadas U.T.M. serán:

$$\begin{aligned} \text{ESTE} &= 500000 - X \\ \text{NORTE} &= 10000000 - Y \end{aligned}$$

### 2.7.c Transformación de coordenadas UTM a geodésicas

#### Parámetros necesarios

Coordenadas UTM del punto (ESTE, NORTE)

**a** = Semieje mayor

**b** = Semieje menor

**e** = excentricidad o primera excentricidad

**e'** = segunda excentricidad

**m** =  $a(1 - e^2)$

$$n = \frac{a-b}{a+b}$$

$K_0 =$  Factor de escala: 0.9996

Zona

### Fórmulas analíticas

$$\alpha = \frac{(a+b)}{2} \left( 1 + \frac{n^2}{4} + \frac{n^4}{64} \right)$$

$$\beta = \frac{3n}{2} - \frac{27n^3}{32} + \frac{269n^5}{512}$$

$$\gamma = \frac{21n^2}{16} - \frac{55n^4}{32}$$

$$\delta = \frac{151n^3}{96} - \frac{417n^5}{128}$$

$$\varepsilon = \frac{1097n^4}{512}$$

$$\varphi' = (10000000 - \text{Norte}) / (0.9996 * \alpha)$$

$$\varphi_f = \varphi' + \beta \cdot \text{Sen } 2\varphi' + \gamma \cdot \text{Sen } 4\varphi' + \delta \cdot \text{Sen } 6\varphi' + \varepsilon \cdot \text{Sen } 8\varphi'$$

$$v = a / (1 - e^2 (\text{Sen } \varphi')^2)^{1/2}$$

$$\rho = m / (1 + e^2 \text{Sen}^2 \varphi_f)^{3/2}$$

$$VII = \frac{\text{Tg} \varphi_f \cdot (500000 - X)^2}{2 * 0.9996^2 \cdot v \cdot \rho \cdot \text{Sen } 1''}$$

$$\text{VIII} = \frac{\text{Tg}\varphi_f \cdot (500000 - X)^4 \cdot (5 + 3 \cdot \text{Tg}^2\varphi_f)}{24 \cdot 0.9996^4 \cdot v^3 \cdot \rho \cdot \text{Sen}1''}$$

$$\text{XI} = \frac{(500000 - \text{ESTE}) \text{ Sen}1''}{0.9996 v \cdot \text{Cos}\varphi_f}$$

$$X = \frac{(500000 - \text{ESTE})^3}{6 (0.9996^3) v^3 \cdot \text{Cos}\varphi_f \cdot \text{Sen}1''} \left[ \frac{v}{\rho} + 2\text{Tg}^2\varphi_f \right]$$

$$E = \frac{(500000 - \text{ESTE})^5}{120 (0.9996^5) v^5 \cdot \text{Cos}\varphi_f \cdot \text{Sen}1''} (5 + 28 \text{Tg}^2\varphi_f + 24\text{Tg}^4\varphi_f)$$

Latitud en grados:  $\varphi$

$$\varphi = \varphi_f (180 / \pi) + \text{VII} / 3600 + \text{VIII} / 3600$$

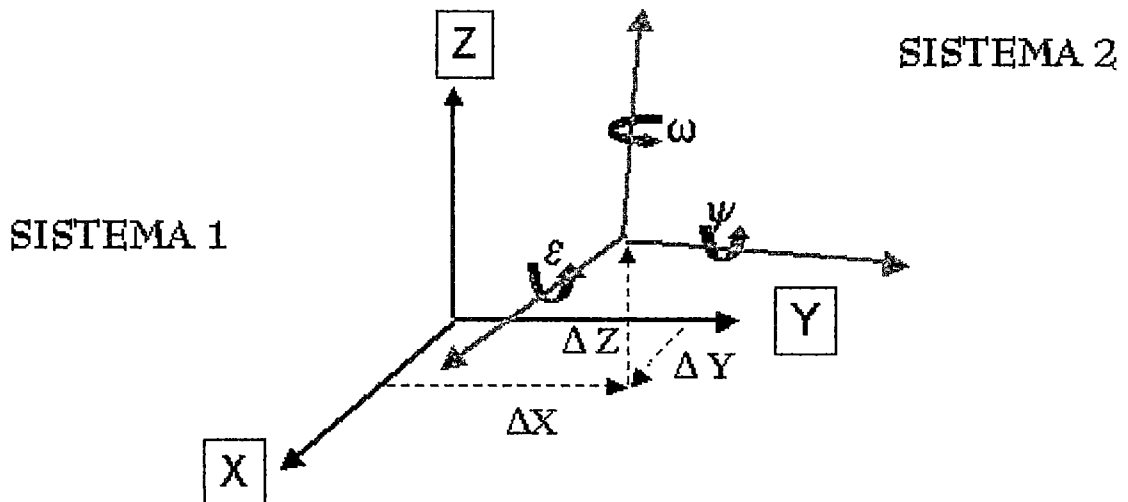
Longitud en grados:  $\lambda$

$$\lambda = \lambda_o + (\text{IX} - X + E) / 3600$$

## 2.7.d Paso de Coordenadas de un elipsoide a otro

### 2.7.d.1 Mediante coordenadas cartesianas

Para convertir coordenadas cartesianas de un sistema elipsoidal a otro, debemos conocer los 7 parámetros de la Transformación Helmert entre los dos elipsoides:  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ,  $\varepsilon$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$ ,  $\delta s$ ).



Las coordenadas  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$  de un punto dado en el sistema elipsoidal 2, se podrán determinar conociendo las coordenadas  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  de dicho punto en el sistema elipsoidal 1 y los parámetros de transformación del sistema 1 al sistema 2. La presente ecuación nos permite dichos cálculos:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = (1 + \delta s) \begin{pmatrix} 1 & \varphi & -\omega \\ -\varepsilon & 1 & \omega \\ \varepsilon & -\varphi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

Donde:

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  : coordenadas del origen del sistema 2, expresadas en el sistema 1.

$\varepsilon, \varphi, \omega$ : rotaciones diferenciales (expresada en radianes) alrededor de los ejes del sistema 1, hasta conseguir el paralelismo con los ejes del sistema 2. Se consideran positivas las rotaciones contrarias a las agujas del reloj cuando se ven desde el exterior de los ejes coordenados.

$\delta s$  : cambio diferencial de escala entre los sistemas coordenados 1 y 2,

Como en todos los elipsoides, se busca que el eje menor sea paralelo al eje de rotación de la tierra y los ejes X e Y se encuentre sobre un plano paralelo al plano ecuatorial. Entonces los valores  $\varepsilon, \varphi, \omega$  son muy pequeños como para influir demasiado en la conversión de coordenadas (están alrededor de las milésimas de segundo sexagesimal). Por lo tanto la ecuación más usada para la transformación de coordenadas es con 3 parámetros:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

#### 2.7.d.2 Mediante coordenadas geodésicas

En este caso si deseamos realizar las transformaciones de manera directa usaremos las fórmulas abreviadas de Molodensky :



$$\Delta\varphi'' = [ -\Delta X \cdot \text{Sen}\varphi \cdot \text{Cos}\lambda - \Delta Y \cdot \text{Sen}\varphi \cdot \text{Sen}\lambda + \Delta Z \cdot \text{Cos}\varphi + (\mathbf{a} \cdot \Delta f + \mathbf{f} \cdot \Delta \mathbf{a}) \text{Sen}2\varphi ] \\ * [ (\mathbf{N} + \mathbf{h}) \cdot \text{Sen}1'' ]^{-1}$$

$$\Delta\lambda'' = [ -\Delta X \cdot \text{Sen}\lambda - \Delta Y \cdot \text{Cos}\lambda ] * [ (\rho + \mathbf{h}) \cdot \text{Cos}\varphi \cdot \text{Sen}1'' ]^{-1}$$

$$\Delta\mathbf{h} = \Delta X \cdot \text{Cos}\varphi \cdot \text{Cos}\lambda + \Delta Y \cdot \text{Cos}\varphi \cdot \text{Sen}\lambda + \Delta Z \cdot \text{Sen}\varphi + (\mathbf{a} \cdot \Delta f + \mathbf{f} \cdot \Delta \mathbf{a}) \text{Sen}2\varphi - \Delta \mathbf{a}$$

**Obtenidos estos valores tendremos que:**

$$\varphi_1 = \varphi + \Delta\varphi$$

$$\lambda_1 = \lambda + \Delta\lambda$$

$$\mathbf{h}_1 = \mathbf{h} + \Delta\mathbf{h}$$

**Donde:**

$\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $\mathbf{h}$  : Coordenadas geodésicas en el Sistema 1. Latitud geodésica, longitud geodésica, altura elipsoidal respectivamente.

$\Delta\varphi$ ,  $\Delta\lambda$ ,  $\Delta\mathbf{h}$  : Correcciones para transformar las coordenadas del Sistema 1 al Sistema 2.

$\varphi_1$ ,  $\lambda_1$ ,  $\mathbf{h}_1$  : Coordenadas geodésicas en el Sistema 2. Latitud geodésica, longitud geodésica, altura elipsoidal respectivamente

$\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  : coordenadas del origen del sistema 2, expresadas en el sistema 1.

$a, e, f, N, \rho$ : Parámetros del elipsoide 1: Semieje mayor, excentricidad, achatamiento, Radio de curvatura de la primera vertical, Radio de curvatura de la elipse meridiana.

$a_1, f_1$ : Parámetros del elipsoide . Semieje mayor, excentricidad.

$$\Delta a = a - a_1$$

$$\Delta f = f - f_1$$

Pero también se puede realizar estas transformaciones de manera indirecta, es decir transformando las coordenadas geodésicas a cartesianas (ver 2.7.a), luego convertir dichas coordenadas cartesianas del elipsoide dado al elipsoide requerido (ver 2.7.d.1) y finalmente convertir estas coordenadas cartesianas calculadas a geodésicas en el elipsoide requerido (ver 2.7.a). Este procedimiento es el que se ha empleado para realizar los programas de la presente tesis.

### 2.7.d.3 Respecto a los parámetros de transformación y sus valores

El no tener los adecuados parámetros de transformación, lleva a cometer grandes errores en el cálculo de las nuevas coordenadas. Es común requerir los correctos valores de los parámetros de transformación para poder convertir las coordenadas del WGS84 que da el GPS a coordenadas en el Psad-56 con que está hecha gran parte de la carta nacional. La DMA (Defense Mapping Agency) ha propuesto unos valores de parámetros de transformación para todo el Perú, pero cálculos realizados con dichos parámetros han dado errores de metros en muchas zonas del territorio nacional. Con la finalidad de reducir este error, el Registro público de minería peruano (RPM), ha propuesto usar

distintos parámetros de transformación según la zona catastral minera (son 6 zonas) en la que se encuentre el punto. Con esto ha logrado reducir los errores a menos de 1 metro, e inclusive distribuye un software llamado RPMTRANS donde se permite realizar las conversiones con los parámetros de transformación del RPM.

A continuación se muestran los valores de los parámetros de transformación del WGS84 al Psad56 según el DMA y según el RPM.

Entidad	Sector o Zona	$\Delta X$ (mts)	$\Delta Y$ (mts)	$\Delta Z$ (mts)
DMA	Perú	279	-175	379
RPM	Zona Centro Norte 6° Sur a 9° Sur de latitud	279	-175	375
RPM	Zona Centro 9° Sur a 12° Sur de latitud	285.4143	-190.7858	373.8808
RPM	Zona Centro Sur 12° Sur a 15° Sur de latitud	284.6759	-195.2908	375.5998

## **CAPÍTULO 3**

### **EL POSICIONAMIENTO POR SATÉLITES (GPS-GLONASS)**

### 3.1 Generalidades sobre el sistema GPS

#### 3.1.a Introducción

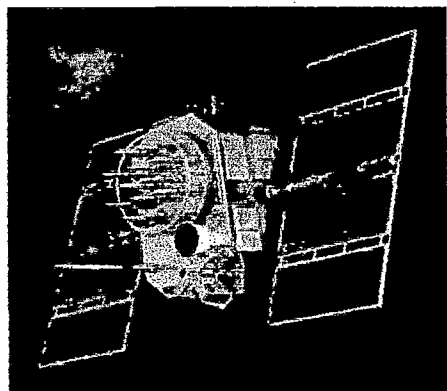
El Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, para constituir un sistema de navegación preciso con fines militares.

Este proyecto se hizo realidad entre los meses de febrero y diciembre de 1978, cuando se lanzaron los cuatro primeros satélites de la constelación NAVSTAR, que hacían posible el sistema que resolvería la incógnita de nuestra posición en la Tierra.

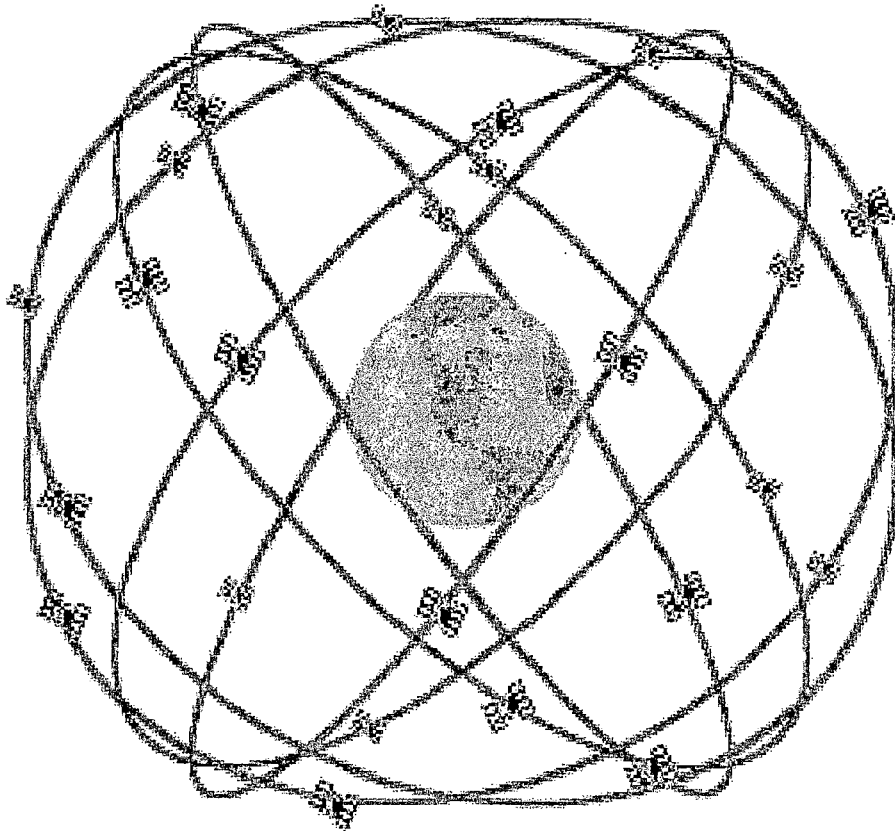
A continuación se va a describir las generalidades del sistema GPS y sus características más importantes. Para ello, se divide el sistema en tres segmentos fundamentales y dependientes entre sí, el *segmento espacial*, el *segmento de control* y el *segmento de usuarios*.

#### 3.1.b El segmento espacial

Este segmento lo forman los satélites de la constelación NAVSTAR. Dicha constelación está formada por seis planos orbitales, y en cada uno de ellos existe una órbita elíptica casi circular donde se alojan los satélites regularmente distribuidos. Los planos tienen una inclinación de  $55^\circ$  respecto al plano del ecuador, y se nombran como A, B, C,



D, E y F. Cada órbita contiene al menos cuatro satélites, aunque pueden contener más. Los satélites se sitúan a una distancia de 20200 Km respecto del geocentro, y completan una órbita en doce horas siderales.



### b.1 Características de los satélites

Los satélites de la constelación NAVSTAR son identificados de diversos modos:

- \* Por su número NAVSTAR (SVN).
- \* Por su código de ruido pseudoaleatorio (PRN). En los códigos de transmisión existen características de ruido pseudoaleatorio traducidas en bits que identifican a cada satélite de la constelación.
- \* Por su número orbital. Un ejemplo sería el satélite 3D, que corresponde al satélite número tres del plano orbital D.
- \* La esperanza de vida de cada satélite es de 7.5 años

En la actualidad, a junio 2002, existe un número de veintisiete satélites operativos y cuatro en mantenimiento, reparación o reposición.

Estos equipos disponen de relojes atómicos de cesio o de rubidio, y en cualquiera de los casos sus errores no superan los  $10^{-12}$  segundos.

El tiempo utilizado es el tiempo GPS (GPST), el cual tuvo idéntica época en 6 Enero de 1980 con el tiempo UTC que define el Observatorio Naval de los Estados Unidos mediante relojes atómicos de hidrógeno. Desde entonces la cuenta ha ido incrementándose en 1 por cada semana y se emite como parte del mensaje GPS del satélite. El campo donde se encuentra esta información, puede almacenar hasta 1024 semanas, esto significa que al final de la semana 1023 el número de semana GPS cambió a 0 en la medianoche del 21 de agosto de 1999. En la actualidad la diferencia de tiempos entre el GPST y el UTC es: 13 segundos.

Así mismo, debemos añadir que los satélites disponen además de:

- Antenas emisoras de ondas de radio (banda L). Con ellas transmiten la información al usuario.
- Antenas emisoras-receptoras de ondas de radio (banda S). Sirven para actualizar su situación a través del segmento de control.
- Paneles solares para disponer de la energía necesaria para su funcionamiento.
- Reflectores láser para el seguimiento desde el segmento de control.

## b.2 Señal de los satélites

Los satélites de la constelación NAVSTAR constan de 4 osciladores (uno que funciona y los otros de repuesto), dicho oscilador genera una frecuencia fundamental  $\nu_0$  de 10,23 MHz. A partir de esta frecuencia fundamental se generan dos portadoras en la banda L de radiofrecuencia, denominadas L1 y L2. Una portadora es una señal que no lleva información o datos. Es una senoide repetida.

Sobre las frecuencias portadoras son enviados los mensajes en dos tipos de códigos: C/A y P. El código C/A es para uso civil, mientras que el código P es para uso militar de los Estados Unidos. Además, existen dos formas de código pseudoaleatorio que se modulan sobre estas portadoras son los códigos C/A y P.

El mensaje de navegación es mandado por los satélites, y consta esencialmente de información sobre el reloj de los satélites, parámetros orbitales (efemérides), estado de salud de los satélites y otros datos de corrección. El mensaje consta de 25 grupos de 1500 bits cada uno y divididos en cinco celdas. Cada grupo se transmite con una frecuencia de 50 Hz y tarda 30 s. Esto supone que el mensaje modulado completo sobre ambas portadoras tiene una duración de 12 min. 30 s. Por razones de índole militar, se introducía un error intencionado en las efemérides radiodifundidas de los satélites, denominado Disponibilidad Selectiva (SA). Esto repercutía en el posicionamiento sobre el sistema de referencia WGS84, ya que si la posición de los satélites que nos sirven de referencia estaba alterada. Este problema era importante en posicionamientos absolutos, en la que inclusive se llegaba al orden de las decenas de metros. A partir del 1º de Mayo del 2000 el gobierno de los Estados Unidos ha decidido suspender esta degradación de la precisión, obteniendo, a partir de entonces, errores en posicionamientos absolutos hasta 10 veces menores que los que se obtenían cuando existía la Disponibilidad Selectiva.



### **3.1.c El Segmento de Control**

Este segmento tiene como misión el seguimiento continuo de todos los satélites de la constelación NAVSTAR para los siguientes fines:

- Establecer la órbita de cada satélite, así como determinar el estado de sus osciladores.
- Hallados los parámetros anteriores, emitirlos a los satélites para que éstos puedan difundirlos a los usuarios.

De este modo, el usuario recibe la información de las efemérides de posición de los satélites y el error que se está produciendo en su reloj, todo ello incluido en el mensaje de navegación.

Las Estaciones de Control están en:

- Colorado Springs (U.S.A.). Central de cálculo y operaciones.
- Ascensión (Atlántico Sur).
- Hawai (Pacífico Oriental).
- Kwajalein (Pacífico Occidental).
- Diego García (Indico).

Existen además otras estaciones de seguimiento (láser, radar y ópticas), cuyo fin es la obtención de efemérides denominadas precisas ya que las efemérides radiodifundidas que envían los satélites son calculadas extrapolando su posición teniendo en cuenta unas efemérides de partida y el recorrido del satélite, mientras que las efemérides precisas se refieren a la posición de los satélites medidas en un instante dado cuando estas ya pasaron. Estas efemérides precisas están al alcance del usuario a través de organismos científicos como el IGS (International Geodynamic Service) o el NGS (National Geodetic Survey). Para los trabajos de ingeniería resulta innecesario trabajar con efemérides precisas, ya que la diferencia de precisión es de sólo algunos milímetros, entonces bastará con trabajar con las efemérides radiodifundidas.

### **3.1.d El segmento de Usuarios**

Este segmento lo compone el instrumental que deben utilizar los usuarios para la recepción, lectura, tratamiento y configuración de las señales, con el fin de alcanzar los objetivos de su trabajo. Los elementos son el equipo de observación y el software de cálculo, que puede ser mediante post-procesamiento o en tiempo real

d.1 **Equipo de observación**. Lo componen la antena, el sensor y la unidad de control o controlador.

- *La antena de recepción* tiene la misión de recibir las radiaciones electromagnéticas que emiten los satélites y transformarlas en impulsos eléctricos, los cuales conservan la información modulada en las portadoras

- *El sensor* recibe los impulsos de la antena receptora, y reconstruye e interpreta los componentes de la señal, es decir, las portadoras, los códigos y el mensaje de navegación. En definitiva, lo que hace es demodular la señal original.

El proceso es el siguiente, el sensor correlaciona los códigos, es decir, lo compara con una réplica que él mismo genera, y de este modo halla el tiempo que ha tardado en llegar la señal al receptor, obteniendo la distancia al satélite multiplicando esa diferencia de tiempos por el valor de la velocidad de propagación de las ondas en el vacío (aproximadamente unos 300.000 Km/s). Como estas distancias están afectadas de errores, se las denomina pseudodistancias.

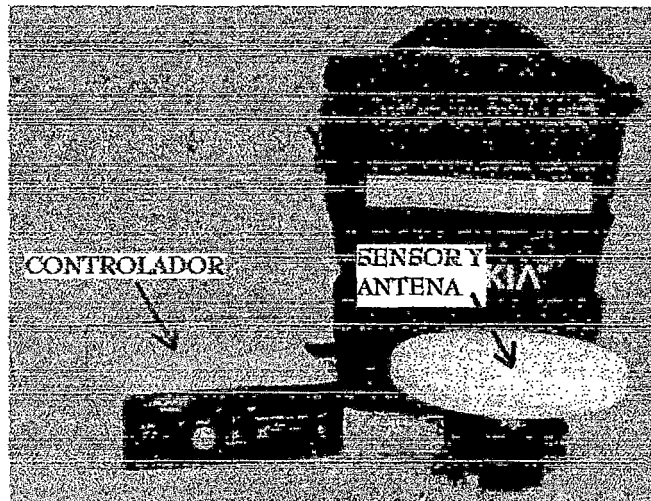
En los equipos G.P.S. Leica que es lo que dispone la U.N.I el sensor y la antena forman un elemento único, lo que facilita el paso de información y agiliza el proceso, evitando los retardos que se producen en la transmisión por cable.

Respecto al sensor y la antena, se pueden clasificar en:

- **Secuencial**, que tiene un sólo canal receptor, y que rastrea los 4 satélites necesarios de uno en uno. A la hora de obtener los resultados utiliza la medida real de uno de ellos y las medidas extrapoladas de los otros tres.
- **Multicanal**, que tiene 4 o más canales paralelos, lo que le permite engancharse realmente a 4 satélites simultáneamente. Son los más precisos pero también los más caros.
- **Multiplexado**, sólo tiene un canal físico pero puede multiplexar la señal a los correladores sin necesidad de volver a buscar los satélites cada vez. En menos de 1 segundo es capaz de obtener las señales de los 4 satélites. La desventaja es que se pierde potencia de señal y se disminuye la capacidad de enganche.

Como se observa los mejores GPS en estos casos es el Multicanal, es más cuanto mayor cantidad de canales tengan es mejor , ya que va a poder recibir mas satélites, esto será importante cuando se trabaja en el sistema combinado GPS-GLONASS.

- El *controlador* realiza las siguientes tareas:



- \* Controlar el sensor.
- \* Gestionar la observación.
- \* Almacenar los datos.

En definitiva, con él vamos a marcar las pautas y modos de trabajo que consideremos oportunos en cada caso. Entre estas pautas destacan:

- \* Tipo de observación (estática, parada y arranque, cinemática, etc.).
- \* Parámetros de la observación (máscara de elevación, modo de grabación, determinación de las épocas, datos meteorológicos, etc.).
- \* Estado y salud de los satélites.
- \* Seguimiento de los mismos y calidad de la señal que transmiten.
- \* Filtrado de observaciones y datos.
- \* Definición y atributos de los puntos de observación.
- \* Estados de aviso en conceptos de geometría y pérdidas de ciclo.
- \* Definición del sistema de referencia.
- \* Tiempos de observación y actualización de tiempos.
- \* Control del nivel energético.

- \* Control del nivel energético.
- \* Posición inicial y secuencial.
- \* Etc.

El buen manejo del controlador es fundamental en los procesos de observación, así como el conocimiento y aplicación de los parámetros adecuados en cada situación o necesidad.

Los datos suelen ser grabados en unidades de memoria interna o tarjetas RAM PCMCIA, que varían desde los 512 Kbytes a los 4 Mbytes de capacidad. También pueden ser almacenados directamente en un PC portátil conectado al receptor según el modelo de equipo.

Es muy importante controlar la capacidad de grabación de datos y el tiempo de observación marcado. Estos son algunos ejemplos de almacenamiento por tiempo de observación en función del número de satélites y señales recibidas:

	0,5 Mb.	1 Mb.	2 Mb.	4 Mb.
6 satélites sobre L1 y L2 con épocas de 2 s	1 h.	2 h.	4 h	8 h.
6 satélites sobre L1 y L2 con épocas de 5 s	2,4 h.	4.8 h	9,6 h.	19,2 h
6 satélites sobre L1 y L2 con épocas de 15 s	7,2 h	14,4 h	28,8 h	57,6 h.

Así por ejemplo, los GPS geodésicos de la UNI tienen una memoria RAM de 1 Mb. De modo que si tomamos datos cada 15 segundos y en promedio estamos captando 6 satélites, podremos almacenar datos durante aproximadamente 14,4 horas antes que se nos agote la memoria. Sin embargo si quisieramos tomar datos cada 2 segundos con la finalidad de disminuir el tiempo de permanencia ya que la distancia entre el Master y el Rover así lo ameritan, tendríamos sólo memoria para 2 horas, con los problemas que ello

nos puede acarrear. Por lo tanto siempre es recomendable tener memorias de mayor capacidad.

Tras la observación se obtienen los siguientes datos:

- \* Mensaje de navegación.
- \* Efemérides radiodifundidas por los satélites.
- \* Datos meteorológicos.
- \* Almanaque de estado de los satélites.
- \* Fichero de observación.

Estos datos pueden ser volcados en un ordenador para ser tratados con un software de post-proceso, o bien tratados “in situ” por el mismo controlador si éste dispone de un software de proceso y así obtener los resultados en tiempo real.

Es conveniente saber que los datos citados anteriormente pueden ser transformados a un formato estándar independiente en modo ASCII para insertarlos y ser tratados por cualquier software de proceso de datos GPS. Este formato es el denominado RINEX, que en la actualidad ya figura como RINEX-2, con la posibilidad de incluir observaciones realizadas a través de la constelación GLONASS.

#### **d.2 Tipos de receptores.**

Fundamentalmente existen:

**Navegadores.** Reciben únicamente los observables de código(tiempo) de L1. Son los instrumentos menos precisos, aunque su evolución está siendo espectacular. Sus

aplicaciones más comunes son la navegación, catastro, GIS y levantamientos de escalas menores de 1/ 5000 en los más sofisticados. Su manejo y operación se realizan con una sola mano. Generalmente, cuentan con pantallas que reportan distintos parámetros de navegación, como la velocidad, el rumbo, el tiempo y el odómetro de viaje, las coordenadas geográficas ( latitud, longitud y altitud ), la distancia y el tiempo que falta para llegar al punto de destino.

La navegación hacia algún punto de interés consiste solamente en dirigirse por tierra, mar o aire, según lo indican la flecha de rumbo, de tal forma que si el usuario se aparta de la dirección correcta, es advertido por alarmas gráficas y audibles. Cuando se está a menos de 10 metros de llegar al destino, el receptor de nuevo le indica al usuario del arribo al lugar de deseado.

Otra de las capacidades de los "navegadores" estriba en el hecho de poder capturar puntos con precisiones de entre los 3 a 10 m según el grado de afectación de las obstrucciones locales. Los "navegadores" indican la precisión que existe en ese momento, a través de una parámetro llamado **EPE** ( Error Esférico Probable).

Los receptores tienen la capacidad generalmente de levantar de 250, 500 o 1000 puntos asociados a una clave y un pequeño comentario, que por defecto es la fecha y hora de captura. Esta información puede ser transferida al **SIG**, una vez que la información del receptor ha sido llevada a la computadora por medio de un cable de interfaz y un programa de computo que regularmente esta asociado con el equipo. Los programas reportan las coordenadas geográficas o en alguna proyección cartográfica de uso común en nuestro país, por ejemplo la **UTM** (Universal Transversa de Mercator), para que finalmente pueda ser exportadas a archivos de intercambio de información como el formato **ASCII**. Los puntos pueden ser agrupados en rutas de navegación, donde el usuario navega de acuerdo a un itinerario ya establecido, cubriendo los puntos que necesite visitar según su programa de trabajo.

Otro tipo de "navegadores", presenta ya incorporada cartografía digital de muchas ciudades, carreteras, división política, poblaciones de mas de 5000 habitantes y cuerpos de agua, que facilitan la ubicación de los trabajos de campo. Con estos tipos de referencias cartográficas y con todos los apoyos ya comentados, resulta realmente difícil perderse durante los trabajos de campo.

E inclusive, la última generación en navegadores permiten conectarse a las computadoras personales PALM, con una considerable economía de recursos ya que el GPS solo dispone de los accesorios de recepción de datos ya que el procesamiento y almacenamiento lo tiene en la PALM.

En la fotografía se muestra un navegador "Garmin 12MAP" con cartografía digital incluida.



La próxima generación de navegadores incluirá reconocedores de voz y nos indicará que calles tomar para tener la mejor ruta de un punto a otro punto de una ciudad. Inclusive el analista y futurólogo Alvin Tofler en la conferencia dada en mayo del 2002 en Lima habló de futuros navegadores adjuntados a la ropa de modo que cualquier persona pueda ser ubicada rápidamente.



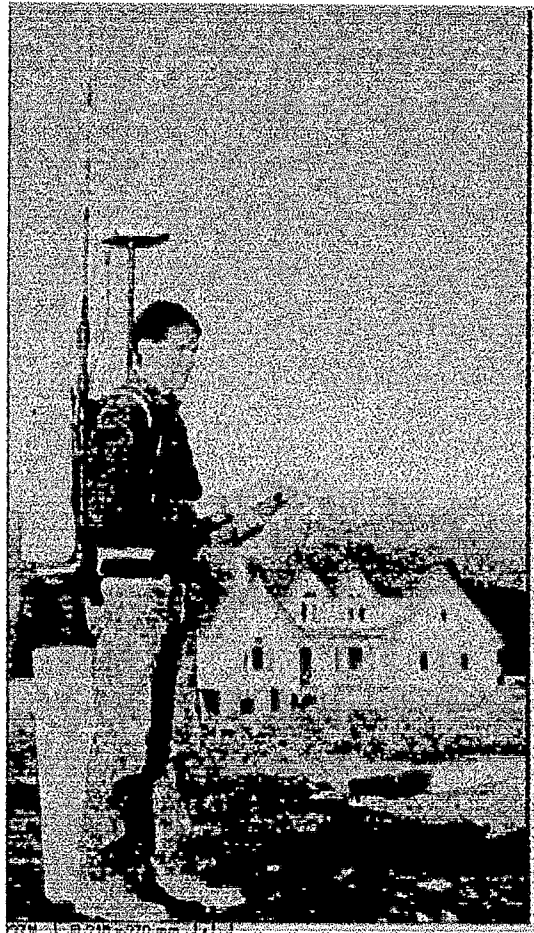
**Monofrecuencia.** Recibe los observables de código y fase de la portadora L1. La precisión de estos instrumentos ya es significativa, si es que se trabaja con el método diferencial. Son de aplicación topográfica y geodésica en pequeñas distancias entre el GPS Master y el GPS Rover (aproximadamente hasta 10 Kms.). Ya que para distancias mayores las condiciones ionosféricas cambian por lo tanto el error enviado a ambos equipos puede ser diferente.

Estos equipos permiten realizar mediciones mediante el método diferencial y todas las variantes que este método dispone además de dar las posiciones navegadas. Pueden procesar los datos en tiempo real y/o post-procesamiento. Así como dispone de accesorios para comunicaciones a la computadora, equipos fotogramétricos, etc.

Son muy utilizados en trabajos geodésicos ya que además de su alta precisión, son mucho más económicos que los equipos Bifrecuencia.

Existen equipos Monofrecuencia que reciben y procesan información del GPS y GLONASS simultáneamente.

En la fotografía se muestra uno de estos equipos de la marca **Sokkia**, donde el equipo está en una mochila que la sostiene el usuario, con la finalidad de trasladarse rápidamente de un punto a otro, en especial cuando se trabaja con el método *Stop and Go* o con el método *Cinemático*.



**Bifrecuencia.** Reciben las observables de código y fase de las portadoras L1 y L2. Donde, además de las características indicadas en los Monofrecuencia, la precisión y el rendimiento son mucho mayores debido a la posibilidad de combinar los datos y formar en post-proceso combinaciones de observables que agilizan el cálculo y eliminan errores ionosféricos. Están indicados para trabajos de precisión y allí donde el rendimiento y los buenos resultados requeridos sean máximos. La distancia máxima entre el Master y el Rover puede ser superior a 10 Kms. siempre que existan satélites comunes a ambos equipos y el error probable no exceda de lo máximo permisible según el requerimiento del trabajo, ya que a mayor distancia entre el Master y el Rover hay mas error en la determinación de la posición del Rover.

## **3.2 Generalidades sobre el sistema GLONASS**

### **3.2.a Introducción**

A principios de los 70s, quizá como una respuesta al desarrollo del Sistema GPS, el antiguo Ministro de Defensa Soviético desarrolló el Global' naya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema o Sistema Global de Navegación por Satélite (GLONASS). El Sistema GLONASS es similar al GPS en muchos aspectos, aunque como se verá también hay muchas diferencias.

En el año 1993, oficialmente el Gobierno Ruso colocó el programa GLONASS en manos de Fuerzas Espaciales Militares Rusas (RSF). Este organismo es el responsable del desarrollo de satélites GLONASS, de su mantenimiento y puesta en órbita, y certificación a los usuarios. Este organismo opera en colaboración con el CSIC (Coordinational Scientific Information Center), el cual publica la información sobre GLONASS.

Las coordenadas del GLONASS están referidas al Datum Geodésico Parametry Zemli 1990 o PZ-90, o en su traducción Parámetros de la Tierra 1990 o PE-90. Este sistema reemplazó al SGS-85, usado por GLONASS hasta 1993. Los parámetros de éste sistema se indicaron en el capítulo anterior.

### **3.2.b El segmento espacial**

#### **b.1 Características de los satélites**

La constelación completa se compone 24 satélites en tres planos orbitales. Cada plano contiene 8 satélites espaciados regularmente, con argumento de latitud de  $45^\circ$ . Los planos están inclinados  $64,8^\circ$  respecto al Ecuador. Los satélites GLONASS se encuentran a una distancia de aproximadamente 19100 Km y se sitúan en órbitas casi circulares con

semieje mayor de aproximadamente 25510 Km, siendo el periodo orbital de 675,8 minutos, es decir , 11 horas y 15 minutos. Esto garantiza, con la constelación completa, la visibilidad de un mínimo de 5 satélites en todo el mundo con adecuada geometría, es decir, la constelación GLONASS proporciona una cobertura de navegación continua y global para la ejecución satisfactoria de observaciones de navegación. Cada satélite transmite una señal de navegación de radiofrecuencia, conteniendo un mensaje de navegación para los usuarios.

Los planos se numeran del 1 al 3. Cada satélite, según el plano en el que esté, 1 ,2 ó 3, se numera del 1 al 8, del 9 al 16 y del 17 al 24 respectivamente.

Cada satélite GLONASS dispone de un pequeño reflector, que es usado para el seguimiento de los satélites por láser desde las estaciones de control. Existen 4 modelos de satélite, cada subsiguiente generación de satélites contiene equipamientos más modernos y tienen un mayor periodo de vida. El nuevo modelo de satélites forma la constelación GLONASS-M. Las principales características de la Constelación GLONASS-M son:

- la esperanza de vida de los satélites de 5 años, frente a los 3 años de los satélites anteriores.
- transmisión del código C/A en L2 para uso civil.
- estabilidad en los relojes de  $1 \cdot 10^{-13}$  s.
- mejora de las precisiones de las efemérides respecto a las generaciones anteriores.
- capacidad del Sector de Control para establecer la mala salud de los satélites a los 10s de producirse el fallo.
- transmisión instantánea del desfase entre las escalas de tiempo GPS y GLONASS.

## b.2 La señal de los satélites

Los satélites GLONASS al igual que el GPS, transmiten los códigos C/A y P en las portadores L1 y L2.

El mensaje de navegación se transmite con una velocidad de 50 bit/s y se modula junto con los códigos C/A y P. El mensaje de navegación GLONASS del código C/A divide los datos en datos operacionales o inmediatos y datos no operacionales o no inmediatos. Los *datos operacionales* son las efemérides, los parámetros de reloj y época del reloj del satélite. Las efemérides de los satélites se dan en términos de posición, velocidad, y vector de aceleración de la época de referencia. Los *datos no operacionales* comprenden el almanaque (o efemérides aproximadas) de la constelación, junto con los estados de salud de todos los satélites GLONASS. Los datos de salud de los satélites no tienen tiempo de actualización. Además, en los datos no operacionales hay un parámetro que indica la diferencia entre el sistema de tiempo GLONASS y el UTC, parámetro llamado  $\tau_c$ . Estos datos se determinan para el comienzo de cada día.

El Sistema GLONASS dispone de un sistema de tiempos y de un sistema de referencia propio y distinto al de GPS. El tiempo GLONASS está referido al UTC(SU). El UTC(SU) se diferencia en unos microsegundos al UTC. El NTFS (National Time and Frequency Service) se encarga de que el desfase sea de un microsegundo o menos. Para ello, en determinadas ocasiones se introduce un salto de unos segundos, a diferencia del tiempo GPS que no requiere de estos saltos.

### **3.2.c El segmento de Control**

El Segmento de Control está formado por un Sistema Central de Control (SCC) en la región de Moscú (Golitsyno-2) y una red de estaciones de seguimiento y control (Command Tracking Stations, CTS), emplazadas por todo el área alrededor de Rusia. El Segmento de Control GLONASS, al igual que el de GPS debe seguir y vigilar el estado de sus satélites, determinar las efemérides y errores de los relojes de los satélites, es decir, la diferencia entre el tiempo GLONASS y la escala de tiempo UTC(SU). Además también deben actualizar los datos de navegación de los satélites. Estas actualizaciones se realizan dos veces al día.

Las estaciones de control (CTSS) realizan el seguimiento de los satélites y almacenan los datos de distancias y telemetría a partir de las señales de los satélites. La información obtenida en las CTSs es procesada en el Sistema Central de Control (SCC) para determinar los estados de las órbitas y relojes de los satélites, y para actualizar el mensaje de navegación de cada satélite. Esta información es enviada a cada satélite por medio de las CTSs. Las CTSs calibran periódicamente los datos de distancias a los satélites mediante láser. Para ello, los satélites GLONASS van provistos de unos reflectores especiales.

La sincronización de todos estos procesos en el Sistema GLONASS es muy importante. Para conseguir esta sincronización, se dispone de un reloj atómico de hidrógeno de alta precisión, el cual determina la escala de tiempo GLONASS.

A todas estas estaciones de control debemos añadir otras estaciones de seguimiento que se utilizan para obtener los parámetros de transformación del Sistema GLONASS PZ-90 al Sistema GPS WGS-84, además de la determinación de las órbitas y observación y análisis de las anomalías de los satélites. Estos parámetros de transformación se aplican cuando se trabaja con el sistema combinado GPS/GLONASS. Estas estaciones están repartidas por todo el mundo y utilizan técnicas láser, radar y

ópticas. Estos parámetros son calculados por mínimos cuadrados utilizando 9 días de datos de seguimiento.

La calidad de las posiciones estimadas obtenidas a partir de GLONASS es comparable a la que se obtiene con GPS .

Las estaciones de control de las Fuerzas Espaciales Rusas (RSF) publican unos boletines, llamados NAGUSs para los usuarios GLONASS con noticias, estado y anomalías del sistema, para así anunciar la inutilidad de alguno o varios satélites. Otras organizaciones, como GLONASS Group del Laboratorio de Lincoln de Massachusetts o el DLR-DFD Neustrelitz Remote Sensing Ground Station en Alemania, también controlan la actividad de GLONASS.

### **3.2.d El Segmento Usuario**

El Sistema GLONASS es un sistema militar y civil. Todos los usuarios militares y civiles constituyen el Sector Usuario. El desarrollo y diseño de nuevos receptores por parte de los fabricantes está en continua evolución.

Un equipo de recepción de señales GLONASS, al igual que uno de GPS, está formado por una antena y un receptor. La antena suele llevar un plano de tierra para evitar el efecto multipath. Además los receptores disponen de un reloj para sincronizar las señales recibidas

Existen dos generaciones de receptores GLONASS. La primera generación contenían hasta 4 canales. La segunda generación tiene equipos ya mucho más

compactos y ligeros, incluyendo 5, 6 y 12 canales, usados para aplicaciones civiles y capaces de operar con las dos constelaciones GPS/GLONASS.

Fuera de Rusia, hay un número considerable de fabricantes e investigadores que han diseñado y construido receptores GLONASS o GPS/GLONASS incluyendo doble frecuencia y códigos C/A y P. Algunos de ellos eran prototipos desarrollados para ganar experiencia con GLONASS, y otros para aplicaciones específicas.

Entre las principales marcas del receptores GLONASS o GPS/GLONASS se encuentran:

- GEOTRACER 2404: 12 canales GPS y 12 canales GLONASS.
- Magnavox: 8 canales GLONASS.
- 3S Navigation: 12 canales GNSS para navegación.
- GG-24 Astech: 12 canales GPS y 12 canales GLONASS.
- Sercel Scorpio 6001: 16 canales GPS/GLONASS.



### **3.3 Uso combinado de los sistemas GPS y GLONASS**

#### **3.3.a Generalidades**

Los Sistemas GPS y GLONASS son sistemas autónomos, es decir, cada uno tiene su propio sistema de referencia y su propio sistema o escala de tiempo. Usan diferentes sistemas de referencia para expresar las posiciones de sus satélites, y por lo tanto, para determinar las posiciones de los usuarios.

Para poder utilizar los dos Sistemas de Posicionamiento por Satélite, GPS y GLONASS, es decir, recibir señales de los satélites de la constelación GPS y de la constelación GLONASS, es necesario establecer la relación entre los sistemas de tiempo y sistemas de referencia utilizados en los dos sistemas. El Sistema GPS utiliza el sistema de referencia WGS-84, mientras que el Sistema GLONASS utiliza el PZ-90. Los parámetros que definen los dos sistemas de referencia son significativamente diferentes.

El Laboratorio Lincoln de Massachusetts hizo un estudio de las precisiones que ofrecen ambos sistemas de posicionamiento y las precisiones de su uso combinado, analizando las precisiones obtenidas en posicionamiento absoluto usando en código C/A durante periodos de 24 h.

**\* Posiciones estimadas con GLONASS:**

Error horizontal: 26.8 mts.  
Error vertical : 46.3 mts.

**\* Posiciones estimadas con GPS:**

Error horizontal : 10 mts.  
Error vertical : 14 mts.

Sin embargo trabajando con ambos sistemas simultáneamente el error horizontal disminuye a menos de 6 mts y el vertical a menos de 10 mts.

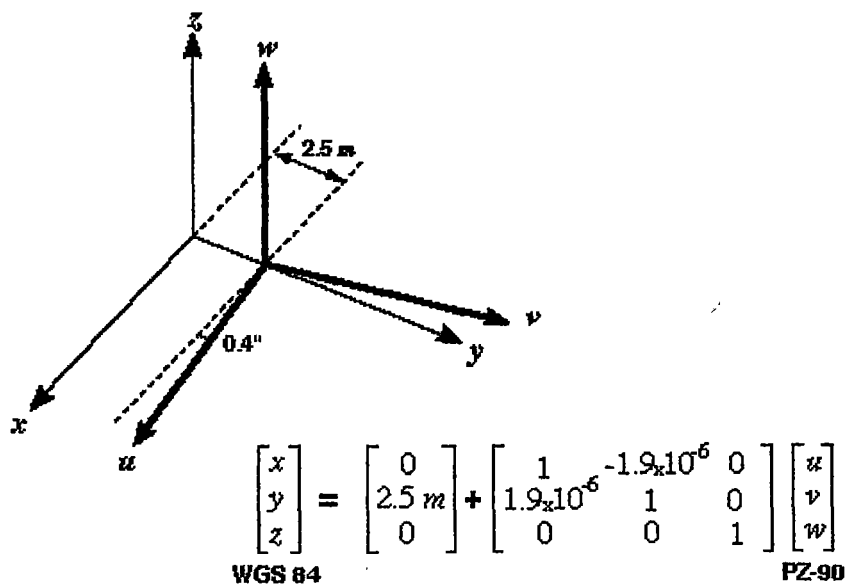
Con la disponibilidad de receptores GPS/GLONASS, el usuario puede tener acceso a un sistema combinado con más de 48 satélites (con las dos constelaciones completas). Con todos estos satélites, los trabajos en desfiladeros y otras localizaciones de visibilidad restringida, tales como áreas boscosas, cañones, etc., es mejorada debido a la posibilidad de mayor información de más satélites. Además, una mayor constelación de satélites también mejora la ejecución del posicionamiento diferencial en tiempo real, ya que, el tiempo menor de toma de datos, con respecto a un posicionamiento diferencial calculado en post-proceso, se ve compensado por la obtención de una mayor información de más satélites. Pero eso no es todo, además el tiempo de inicialización para alcanzar precisiones a los centímetros mejora en un factor de 3 a 6 con una constelación de 48 satélites.

La principal ventaja del uso combinado GPS/GLONASS son la mejora en la geometría de los satélites por ende el GDOP. Las posiciones se estiman usando los parámetros de transformación entre el sistema PZ-90 y el WGS-84.

### 3.3.b Obtención de los parámetros de transformación entre PZ-90 y WGS84

Los sistemas de referencia PZ-90 y WGS84 son diferentes, como se pueden ver en sus parámetros mostrados en el capítulo 2. Entonces para poder usar el sistema combinado GPS/GLONASS, se deberá pasar las efemérides de los satélites en PZ-90 a WGS-84. Además de la unificación del sistema de referencia, es necesario establecer también la relación entre los dos sistemas o escalas de tiempo utilizados. Esto se resuelve por medio de la información contenida en los mensajes de navegación de cada uno de los sistemas, donde aparecen las diferencias entre los tiempos GPS o tiempos GLONASS con respecto al Tiempo Universal Coordinado.

En el Laboratorio Lincoln de Massachusetts se calculan los parámetros de transformación entre ambos sistemas. Se utiliza una red de receptores de referencia distribuidos por toda la superficie de la Tierra que obtienen las coordenadas de los satélites GLONASS en ambos sistemas. Obtienen las posiciones de los satélites GLONASS en el sistema PZ-90 a partir de las efemérides transmitidas, y las coordenadas de los satélites GLONASS en WGS-84 a partir de la red de estaciones de seguimiento láser y sistemas radar. Se estiman los parámetros de la transformación por MMCC, obteniendo como resultado de la transformación una rotación alrededor del eje Z y una traslación a lo largo del eje Y. Los parámetros de la transformación resultantes se muestran en la siguiente figura :



Una vez que tenemos los parámetros de la transformación del sistema PZ-90 al sistema WGS-84 ya podemos tener las efemérides de todos los satélites GLONASS en el sistema WGS-84, y por lo tanto podremos utilizar el sistema combinado GPS/GLONASS.

### 3.4 Las observables

#### 3.4.a Introducción

Las observables del posicionamiento por satélite son fundamentalmente dos:

##### - Observables de tiempo:

- \* Código C/A modulado sobre la portadora L1.
- \* Código P modulado sobre la portadora L1.
- \* Código P modulado sobre la portadora L2.

##### - Observables de diferencia de fase de la portadora:

- \* Diferencia de fase de la portadora L1, denominado  $\Phi_1$ .
- \* Diferencia de fase de la portadora L2, denominado  $\Phi_2$ .

#### 3.4.b Observables de tiempo (Código)

A partir de estas observables podemos calcular la distancia satélite-receptor, mediante la comparación entre la señal que envía el satélite y la que genera el receptor. Pero estas distancias están afectadas por una serie de errores, por consiguiente se denominan pseudodistancias. Además con estas observables se pueden formar diferentes combinaciones como las que mencionaremos más adelante. Dicha distancia calculada no es la verdadera ya que no se toma en cuenta el desfase de los relojes entre otras fuentes de error, por lo tanto a esta distancia se le llama pseudodistancia (R).

$$R = c \cdot \Delta t$$

La precisión de posicionamiento que nos ofrece este método es de aproximadamente un 1% del periodo entre sucesivas épocas de un código. Así para el

código P , cuyas épocas son de 0,1 microsegundo (por lo que la precisión de medida será de 1 nanosegundo), al multiplicar dicho factor por la velocidad de la luz, obtendremos una precisión de distancia de 30 cm. en tiempo real. Para el código C/A, cuya precisión es diez veces menor a la del código P, obtendremos unos errores de unos 3 m.

### 3.4.c. Observables de fase

Esta forma de medir es muy parecida a la que emplea el Distanciómetro de la Estación total. Cuando esta emisión de la portadora llega a la antena, su recorrido corresponde a un número entero de longitudes de onda (denominado N o ambigüedad) mas una cierta parte de longitud de onda cuyo observable (o momento exacto de recepción por parte de la antena) puede variar entre 0 y 360° . Tenemos pues, una frecuencia y cierta parte de la longitud de onda conocidas, y la ambigüedad (Número entero de las longitudes de onda) por conocer. La resolución de la ambigüedad se realiza en base a un extenso proceso de cálculo. Una vez obtenidos dichos valores, la resolución interna que nos proporcione el sistema , será de orden submilimétrico, aunque diversas fuentes de error limiten la precisión operativa a algún centímetro o incluso menos, siempre en función de las técnicas de observación empleadas. Debe destacarse que es fundamental en el sistema no perder el seguimiento de la fase para que la ambigüedad inicial no pueda variar. Si hay alguna pérdida de recepción por cualquier causa, la cuenta de ciclos se rompe (Cycle Slip), perdiendo este método toda su eficacia. Esta pérdida de ciclos puede ocurrir por muchas causas desde el paso de un avión, disturbios ionosféricos, u obstrucciones físicas importantes (edificios, etc.). Podremos comprender, entonces, la dificultad de trabajar en zonas próximas a arbolados, tendidos eléctricos, torres, edificios, etc., limitando las aplicaciones de éste método.

$$\text{Distancia} = (\lambda) \cdot (N) + (\Phi) \cdot (\lambda)$$

Donde:

$\lambda$  : Longitud de la onda

N : ambigüedad

$\Phi$  : diferencia de fase.

#### 3.4.d Combinación de observables

Las combinaciones de observables que se puedan formar van a depender de la cantidad de observables que dispongamos, es decir, se podrán utilizar o no todas las observables dependiendo del tipo de receptor que se utilice (navegador, monofrecuencia, bifrecuencia, etc. ).

Cuando disponemos sólo de medidas de código sobre las dos portadoras, es decir, P1 y P2, podemos formar una combinación lineal de ambos códigos. Con la ventaja de reducir el ruido.

Cuando disponemos sólo de medidas de código y fase sobre una portadora, es decir, C/A o P, y L1, podemos formar una combinación de medidas de código y fase sobre una portadora. En este caso, el código se utilizará para obtener una solución aproximada del punto, mejor que la solución de navegación, y tomar ésta para calcular las coordenadas aproximadas del punto que se utilizarán en la ecuación de fase.

Cuando disponemos de medidas de código y fase sobre las dos portadoras, es decir, de todos los observables podemos formar una gran combinación de observables. Como en el caso anterior las medidas de código nos ayudarán a obtener una solución más aproximada del punto, para luego trabajar con las medidas de fase.

## 3.5 Calidad y bondad de las observaciones

### 3.5.a Introducción

Al igual que cualquier observación de topografía clásica, una observación GPS o GLONASS está sometida a varias fuentes de error que se pueden minimizar o modelar según los equipos y metodología de observación que utilizemos. Un receptor determina las distancias que hay entre su antena y las antenas de los satélites desde los cuales está recibiendo su señal. Basándose en estas distancias y en el conocimiento de las posiciones de los satélites, el receptor puede calcular su posición. Sin embargo, diversos errores afectan a la medida de la distancia y por consiguiente se propagan al cálculo de la posición del receptor.

Las medidas de código y las medidas de fase se ven afectadas por errores sistemáticos y por ruido aleatorio. La precisión en posicionamiento absoluto que un usuario puede alcanzar con un receptor depende principalmente de cómo sus sistemas de hardware y software puedan tener en cuenta los diversos errores que afectan a la medición. Estos errores pueden ser clasificados en tres grupos: los **errores relativos al satélite**, los **errores relativos a la propagación de la señal** en el medio, y los **errores relativos al receptor**.

Algunos de estos errores sistemáticos pueden ser modelados e incluso eliminados utilizando combinaciones apropiadas de los observables a partir de una o dos frecuencias, o trabajando en modo diferencial, utilizando dos receptores.

En la medida de la calidad y bondad de una observación van a influir o contribuir dos términos: el **URE** y el **DOP**. El **URE** (User Range Error) es el error cometido en la medida de la pseudodistancia por el usuario. Este error contempla los errores al predecir las efemérides, inestabilidades en el vehículo espacial, relojes de los satélites, efectos

ionosféricos y troposféricos, efecto multipath, ruido de la señal y para GPS, la Disponibilidad Selectiva (SA). Todos estos errores en su conjunto se recogen en el valor  $\sigma_{URE}$ . El **DOP** o Dilución de la Precisión es la contribución puramente geométrica al error en el posicionamiento de un punto. Es un valor adimensional que da una idea de la solidez de la figura formada por el receptor y los satélites que tiene a la vista.

<b>ELEMENTO</b>	<b>FUENTE DE ERROR</b>
<b>Satélite</b>	Errores en el oscilador Errores o variaciones en los parámetros orbitales
<b>Propagación de la señal</b>	Refracción ionosférica Refracción troposférica S/A. Disponibilidad Selectiva Pérdidas de ciclos Multipath. Ondas reflejadas
<b>Receptor</b>	Errores en el oscilador Error en las coordenadas del punto de referencia Error en el estacionamiento Error en la manipulación del equipo Variación y desfase del centro de la antena



### **3.5.b Errores relativos al satélite**

#### **b.1 . Error del reloj del satélite**

Este error es el desfase que tiene el reloj del satélite respecto al Tiempo GPS o respecto al Tiempo GLONASS. Los satélites llevan relojes atómicos con osciladores de cesio o de rubidio, sin embargo ningún reloj, incluso el atómico es perfecto.

Los errores en los osciladores de los satélites pueden eliminarse mediante las correcciones enviadas en el mensaje de navegación que recibe el receptor, y que son calculadas y actualizadas por las estaciones de seguimiento. Para cada reloj de satélite se determina su desfase para una época inicial, y los coeficientes de la marcha o deriva del estado del reloj. Estos parámetros se graban en el correspondiente satélite y se incluyen en el mensaje de navegación que manda el satélite. Pero aunque el receptor aplique las correcciones para el error del reloj del satélite, sigue permaneciendo un pequeño error residual estimado en unos 10 nanosegundos o menos, y que es debido a la imposibilidad de predecir exactamente la marcha del estado del reloj del satélite.

#### **b.2. Errores en los parámetros orbitales**

Para calcular su posición, el receptor debe conocer las posiciones de los satélites. Las estaciones de seguimiento registran datos de pseudodistancia y medidas de fase que mandan a la Estación de Control principal, donde con un sofisticado software se predicen las futuras posiciones orbitales de los satélites, es decir sus efemérides. Éstas son transmitidas en el mensaje de navegación del satélite. Pero las efemérides transmitidas por los satélites tendrán asociado un error a causa de que es imposible predecir exactamente sus posiciones. El efecto del error de las

efemérides transmitidas en la medida de la pseudo-distancia se obtiene proyectando el vector error de la posición del satélite sobre el vector que une el satélite y el receptor. Los errores en los parámetros orbitales se pueden eliminar trabajando con las efemérides precisas de los días de observación, donde aparecen las verdaderas posiciones de los satélites. Estos datos pueden ser bajados de Internet como se explicó en la sección 3.1. del presente capítulo.

### **3.5.c Errores relativos a la propagación de la señal**

La velocidad de propagación de la señal es crítica para cualquier sistema de medida de distancias. Esta velocidad multiplicada por el intervalo de tiempo en que se propagó la señal nos da una medida de la distancia. Si una onda electromagnética se propaga por el vacío, su velocidad de propagación, sea cual sea su frecuencia es la velocidad de la luz ( $c$ ). Sin embargo, en el caso de observaciones GPS o GLONASS, las señales deben atravesar las capas de la atmósfera hasta llegar al receptor posicionado sobre la superficie de la tierra. Las señales interactúan con partículas cargadas, que provocan un cambio en la velocidad y dirección de propagación, es decir, las señales son refractadas. Cuando la señal viaja por un medio que no es el vacío, ésta sufre un *retardo* debido a que la velocidad de propagación es menor.

#### **c.1 . Refracción Ionosférica**

La Ionosfera es aquella región de la atmósfera comprendida entre 100 y 700 Km de altitud, donde las radiaciones solares y otras radiaciones ionizan una porción de las moléculas gaseosas liberando electrones, que interfieren en la propagación

de ondas de radio. La Ionosfera es un medio disperso para ondas de radio, por lo tanto su índice de refracción es función de la frecuencia de la onda. También es función de la densidad de electrones, y en menor grado, de la intensidad del campo magnético de la tierra. Esta capa produce errores en la medida de fase y en las pseudodistancias.

Se puede eliminar este efecto si se conociese un modelo ionosférico de la tierra, pero debido a la dificultad de encontrar un modelo satisfactorio, se emplea un método más eficiente para eliminar la refracción ionosférica que es la utilización de dos señales con diferentes frecuencias con equipos de doble frecuencia. Si usamos equipos de una sola frecuencia entonces se usan modelos aproximados cuyos parámetros son enviados en el mensaje de navegación y que pueden llegar a reducir hasta el 50% el error ionosférico.

También se puede reducir este error si el ángulo de elevación a los satélites no es menor a  $15^\circ$ , o si trabajamos preferentemente en la noche.

Este error afecta principalmente a la componente altimétrica del punto.

### c.2. Refracción troposférica.

Esta capa de la atmósfera que se encuentra desde el suelo hasta 80 Km. de altura. Afecta también las mediciones produciendo una refracción de la señal. Este error también se puede eliminar en gran medida con equipos de doble frecuencia y tomando datos meteorológicos de la zona de medición.

### c.3 La disponibilidad selectiva

La Disponibilidad Selectiva, alteración o manipulación de la información que los satélites de la constelación GPS envían a los usuarios en su mensaje de navegación, manipulación que realizaba el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) ha sido actualmente eliminada como se explicó en 3.1. Por lo tanto no es un error que actualmente tenga importancia, salvo que los Estados Unidos decidan nuevamente alterar la información:

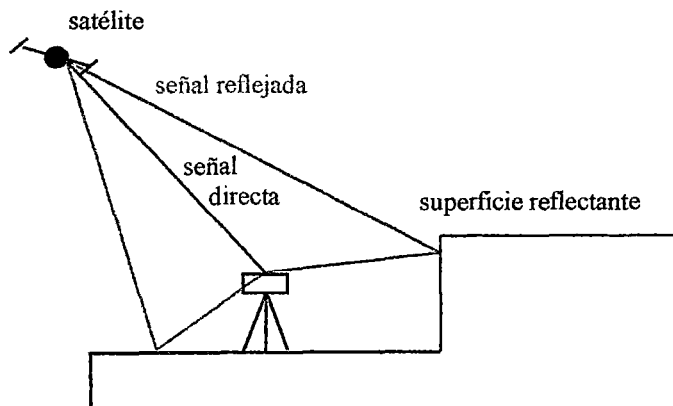
### c.4. Pérdidas de ciclos.

Esto se produce cuando ocurre alguna interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite. Estas pérdidas de ciclos pueden ser causadas por la obstrucción de la señal del satélite debido a la presencia de árboles, edificios, puentes, montañas, etc. Esta causa es la más frecuente, pero también pueden ser debidas a una baja SNR (calidad señal-ruido) debido a unas malas condiciones ionosféricas, efecto multipath, receptores en movimiento, o baja elevación del satélite. Otra causa puede ser un fallo en el software del receptor, que conduce a un procesamiento incorrecto de la señal. Una última causa de pérdida de ciclo, aunque suele darse en raras ocasiones, es aquella debida a un mal funcionamiento del oscilador del satélite. En todo caso los receptores tratarán de corregir in situ mediante su propios software, estos errores de pérdida de ciclos o caso contrario indicarán que se ha presentado esta anomalía.

### c.5 Efecto multipath

El efecto multipath o multicamino es causado principalmente por múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite en superficies cercanas al receptor.

Estas señales reflejadas que se superponen a la señal directa son siempre más largas, ya que tienen un tiempo de propagación más largo y pueden distorsionar significativamente la amplitud y forma de la onda. Este efecto puede ser considerablemente reducido eligiendo puntos de estación protegidos de reflexiones (edificios, vehículos, árboles, etc.), es decir, evitar las superficies reflectantes en las proximidades del receptor; y por un apropiado diseño de la antena, como es la utilización de planos de tierra, que reducen las interferencias de señales con baja elevación o incluso con elevación negativa, que son las que provocan el multipath, en otras palabras, se intenta reducir la intensidad de las señales secundarias y aislar a la señal directa. El efecto multipath depende de la frecuencia de la portadora. Por lo tanto, las medidas de fase se verán menos afectadas que las medidas de código, donde el efecto multipath puede alcanzar hasta el nivel de metro.



### 3.5.d. Errores relativos al receptor

#### d.1. Error del reloj

Cuando un receptor recibe una señal de un satélite, en ese momento su reloj interno tendrá un desfase o error con respecto a la Escala de Tiempo. Este error afectará a todas las medidas de pseudo-distancias realizadas para cada época.

Este error se elimina tomando como mínimo 4 satélites para determinar la ubicación de un punto, como se verá en la sección 3.6 del presente capítulo.

#### d.2 Error en el estacionamiento de la antena

Los errores en el estacionamiento de la antena tienen menos influencia y las exigencias de estacionamiento son muy inferiores a las de los instrumentos de observación clásica. No necesitan una altísima estabilidad, ya que pequeños desplazamientos, vibraciones o torsiones en nada afectan a la observación de las señales de los satélites.

#### d.3. Errores en la manipulación de equipos

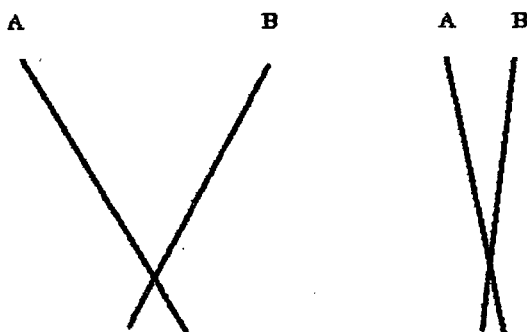
Los errores de manipulación se producen cuando no se siguen las instrucciones del fabricante del instrumento o cuando éstas suelen descuidarse cuando se trabaja rutinariamente. Por ejemplo, es importante no comenzar una observación hasta que no se hayan sincronizado perfectamente todos los satélites, ya que lo único que estaremos haciendo es introducir ruido a la observación.

#### d. 4. Variación del centro radioeléctrico de la antena

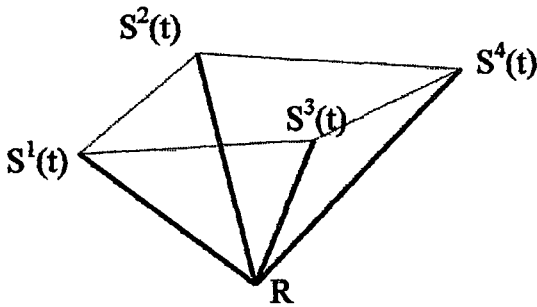
La variación y desfase del centro de la antena se debe a la falta de coincidencia entre el centro radioeléctrico o punto que realmente se posiciona, ya que es el punto al que llega la señal; y el centro mecánico o físico, generando un error residual por excentricidad que puede ser de unos milímetros. Para evitar este error en posicionamiento relativo se recomienda una orientación aproximada común para todas las antenas del mismo tipo, ya que el fabricante monta en el interior de todas las carcasas el elemento físico receptor en la misma posición respecto a alguna referencia exterior del conjunto, y trabajando en modo diferencial este error se eliminará en ambas estaciones.

### 3.5.e Dilución de la precisión

La geometría de los satélites visibles es un factor importante a la hora de conseguir altas precisiones en el posicionamiento de un punto. Como la ubicación de un punto se determina en base a la intersección de las distancias que hay de dicho punto hacia los satélites, es conveniente que éstos no se encuentren demasiado cercanos entre sí. Por ejemplo en el gráfico mostrado si el punto de intersección de la derecha está mejor determinada que el de la izquierda.



Dicha geometría cambia con el tiempo como consecuencia del movimiento orbital de los satélites. Un factor que mide la bondad de esta geometría es el denominado factor de dilución de la precisión ( dilution of precision , **DOP** ).



El valor del DOP puede ser interpretado geoméricamente como el volumen del cuerpo formado por los satélites y el receptor. Cuanto mayor sea el volumen de este cuerpo mejor será la geometría, y por lo tanto menor será el valor del DOP, siendo el valor ideal la unidad.

Como ya se vio anteriormente, el valor del DOP es el factor por el que debe ser multiplicado el error obtenido en las pseudodistancias para obtener el error final en el posicionamiento. Los valores de DOP más utilizados son los siguientes:

- \* **GDOP:** Dilución de precisión en posición y estado del reloj.
- \* **PDOP:** Dilución de precisión en posición.



### 3.6 Como determina el sistema GPS la posición de un receptor

#### 3.6.a Introducción

A continuación se va a explicar como es que el sistema puede determinar la posición de un punto mediante el posicionamiento absoluto. En la parte de la formulación de las ecuaciones se ha escogido las observables de código siendo la formulación para las observables de fase bastante similar.

#### 3.6.b Modelo de ajuste por mínimos cuadrados

Se pueden utilizar diversas técnicas de ajuste, pero aquí nos vamos a basar en el método de ajuste estándar por mínimos cuadrados, basado en la utilización de una serie de ecuaciones, donde las observaciones son expresadas en función de los parámetros incógnitas. Este método también es muy usado en la topografía, por ejemplo para el cálculo de redes de apoyo. En el caso de que las ecuaciones no sean lineales, es preciso linealizarlas antes de realizar el ajuste, para la linealización esto se emplean 2 métodos: o por medio del desarrollo en serie de Taylor para lo que es preciso conocer unos valores aproximados de las incógnitas, o aplicando logaritmos. En el caso del desarrollo en serie de Taylor, éste puede ser truncado a partir de los términos de segundo orden con el fin de obtener una función lineal con respecto a las incógnitas, ya que para los siguientes términos de la serie el valor obtenido es tan pequeño que resulta despreciable.

El modelo de observación lineal conseguido tras aplicar el desarrollo en serie de Taylor, puede ser expresado en forma matricial de la siguiente forma :  $L = A \cdot x$  .

Donde : L : Vector columna de las observaciones.

A : Matriz de diseño.

x : Vector columna de las incógnitas.

Si suponemos el caso en el que tengamos “n” ecuaciones y “u” incógnitas, siendo  $n > u$ , entonces la matriz de diseño, A , tendrá “n” filas y “u” columnas. Pero para estas condiciones, tendremos un sistema de ecuaciones compatible sobredeterminado (es decir existen más ecuaciones que incógnitas), y por lo general, debido a los errores inherentes de la observación, no será un sistema consistente, existiendo unos residuos, V, para cada ecuación. Por lo tanto, teniendo en cuenta estos residuos, el modelo queda de la forma :

$$L + V = A \cdot x$$

La resolución de este sistema se realiza aplicando el principio de mínimos cuadrados, que es:  $V^T P V = \text{mínimo}$ . La aplicación de este principio en las ecuaciones de observación lleva al siguiente sistema de ecuaciones normales:

$$A^T \cdot P \cdot A \cdot x = A^T \cdot P \cdot L$$

donde la solución para los parámetros incógnita, x, es:

$$x = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot L$$

que puede ser simplificada por:

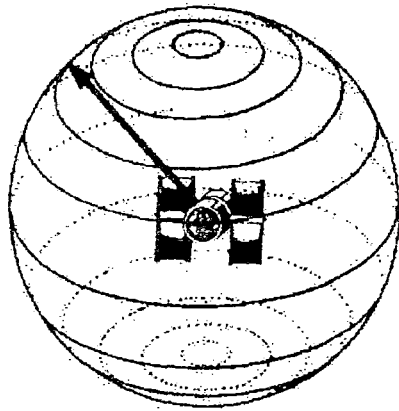
$$x = N_A^{-1} \cdot t \quad \text{donde } N_A = (A^T \cdot P \cdot A) \text{ y } t = A^T \cdot P \cdot L.$$

∴

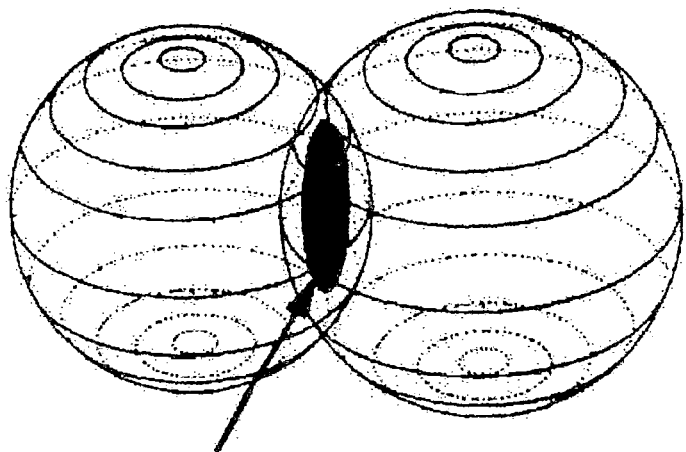
### 3.6.c Generalidades sobre los cálculos realizados

Antes de proceder a explicar mediante ecuaciones matemáticas la manera como se determinan las coordenadas del receptor GPS, es conveniente mostrar de manera gráfica este procedimiento.

Si utilizamos sólo un satélite y conocemos su posición y la distancia que nos separa sabremos nuestra posición en un área de incertidumbre que es geoméricamente una esfera.



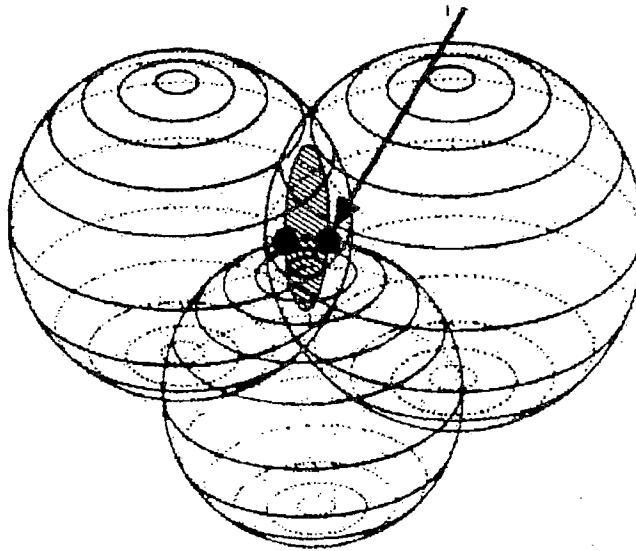
Si disponemos de dos satélites y conocemos sus posiciones y las dos distancias podremos determinar nuestra posición a lo largo de una **circunferencia**.



*La intersección de dos esferas es un círculo*

conseguimos contar con otro satélite más, podremos determinar nuestra posición en uno de los dos puntos en que se cortan las tres esferas. Generalmente uno de los puntos está lo suficientemente alejado de la superficie de la tierra como para que pueda rechazarse por inconsistente.

*Tres esferas se intersectan en dos puntos*



#### 3.6.d Formulación de las ecuaciones con medidas de código

Llamamos  $t^S$  al tiempo que marca el reloj del satélite cuando emite la señal y  $t_R$  al tiempo que marca el reloj del receptor cuando la recibe. Llamemos  $\Delta t = t_R - t^S$ . El intervalo de tiempo  $\Delta t$  multiplicado por la velocidad a la que viaja la onda, es decir la velocidad de la luz,  $c$ , nos da lugar a la medida de pseudodistancia. ( R )

$$R = c \cdot \Delta t$$

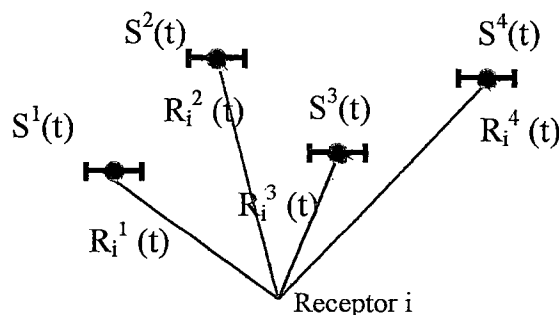
Análogamente, los desfases o errores de los relojes con respecto a las Escalas de Tiempo serán  $\delta^S$  y  $\delta_R$ . Por lo tanto el error de sincronización de los relojes será:  $\Delta\delta = \delta^S - \delta_R$ . El error del satélite  $\delta^S$  lo podemos modelar por medio de un polinomio con los coeficientes que son transmitidos del mensaje de navegación. Por lo tanto, suponiendo conocido el valor de  $\delta^S$  y aplicada esta corrección al valor de  $t^S$ , el valor de  $\Delta\delta$  será únicamente el valor de  $-\delta_R$ .

Si llamamos  $\rho$  a la distancia real entre el satélite y el receptor, la relación entre esta distancia la pseudodistancia será:

$$R = \rho + c \cdot \Delta\delta$$

La expresión de la Pseudodistancia para medidas de código para una época  $t$  correspondiente al receptor "i" y al satélite "j", tiene la siguiente expresión:

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c \cdot \Delta\delta(t)$$



Pero en esta ecuación, la expresión de la distancia geométrica real entre satélite-receptor,  $\rho$ , tiene una forma no lineal, y por lo tanto, tendremos que linealizarla aplicando el desarrollo en serie de Taylor y partiendo de unos valores aproximados de las coordenadas del punto  $(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0})$ . En el modelo que vamos a considerar, únicamente tendremos en cuenta los errores de los relojes, sin considerar los efectos ionosféricos y

troposféricos. La ecuación, una vez linealizada la expresión de la pseudodistancia queda de la siguiente forma:

$$R_i^j(t) = \rho_{io}^j(t) - \frac{X^i(t) - X_{io}}{\rho_{io}^j(t)} \cdot \Delta X_i - \frac{Y^i(t) - Y_{io}}{\rho_{io}^j(t)} \cdot \Delta Y_i - \frac{Z^i(t) - Z_{io}}{\rho_{io}^j(t)} \cdot \Delta Z_i + c \cdot \Delta \delta(t)$$

La expresión anterior, válida para la época  $t$  contiene cuatro incógnitas ( $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i, \delta_i(t)$ ), por lo tanto, si dispusiéramos de una única época  $t$  y quisiéramos resolver el sistema, necesitaríamos un mínimo de 4 satélites. En este caso, nos encontramos ante un sistema compatible determinado, en el que existe solución única. El sistema de ecuaciones formado por las 4 pseudodistancias a los 4 satélites se podría expresar de la forma  $A \cdot x = L$ , y los valores de la incógnitas los obtendríamos mediante  $x = A^{-1} \cdot L$ . Si se mide el valor de la pseudodistancia a un nº de satélites mayor que 4, sean  $j$  satélites en una época  $t$ , se puede plantear un sistema de  $j$  ecuaciones de pseudodistancia con 4 incógnitas y resolver por mínimos cuadrados, siendo la expresión del vector de incógnitas,  $x$ , como se vio anteriormente, es decir,  $x = N_A^{-1} \cdot t$ . El valor de  $\rho_{io}^j(t)$  es un valor arbitrario el cual va mejorando de acuerdo al número de iteraciones que se realice.

### **3.7 Métodos de posicionamiento**

Podemos distinguir dos modos de posicionamiento, y dentro de ellos las variantes que se pueden considerar. Fundamentalmente son el **absoluto** y el **diferencial**.

### **3.8 Posicionamiento absoluto**

Se realiza con un sólo receptor, y consiste en la solución de una intersección directa de todas las distancias receptor-satélite sobre el lugar de estación en un período de observación dado. La medida y la solución son por lo tanto directas.

Para llevar a cabo el posicionamiento, el receptor recibe las señales de los satélites y determina su posición en coordenadas absolutas y en el sistema de referencia al que están referidos los satélites. Las observables utilizadas para el posicionamiento absoluto suelen ser los códigos, pero también se podrían utilizar las diferencias de fase o ambas.

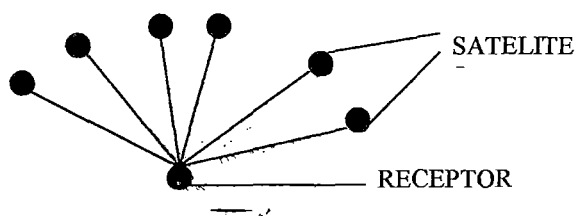
Para resolver un posicionamiento absoluto es necesario recibir la información de al menos cuatro satélites, ya que cada uno de ellos proporciona una ecuación al sistema y nuestras incógnitas son cuatro ( $X, Y, Z$  y estado del reloj del receptor). Esto está garantizado gracias a las configuraciones de las constelaciones NAVSTAR y GLONASS, según las cuales siempre tendremos en cualquier lugar del planeta al menos cuatro satélites sobre el horizonte.

El posicionamiento absoluto tiene la ventaja de que con un sólo instrumento de observación podemos obtener nuestra posición, pero posee una serie de inconvenientes que repercuten seriamente en la precisión del posicionamiento, y por ello no hace del método una aplicación apropiada en trabajos de precisión. Entre los inconvenientes más relevantes destacan:

- \* Influencia importante de los errores producidos por la atmósfera.
- \* Imposibilidad de eliminar errores por compensación, como son la excentricidad de la antena, retardo atmosférico, etc.



Esto, hace sea una forma expedita de posicionamiento, resultando útil para usuarios de barcos, aviones, vehículos, deporte, ocio y todas aquellas aplicaciones donde la tolerancia de error al determinar una posición esté cercano a los diez metros, que viene ser la precisión que ofrece generalmente el método, en función del tipo de receptor, estado de la constelación y condiciones de observación. Las soluciones se suelen obtener en tiempo real, bien con solución instantánea de navegación o por resolución de un sistema minimocuadrático en el que la redundancia del sistema está en función del tiempo de observación. Se habla entonces de los posicionamientos absolutos más precisos (puntos singulares o “single point”).



*Situación de un posicionamiento absoluto.*

### 3.9 Posicionamiento diferencial

#### 3.9.a Generalidades

Es el que se realiza cuando las precisiones requeridas son mayores. Será mejor o peor en función del instrumental utilizado y la técnica de posicionamiento diferencial a la que se recurra.

Se requiere de 2 receptores o más que estén trabajando simultáneamente, además deben existir satélites comunes.

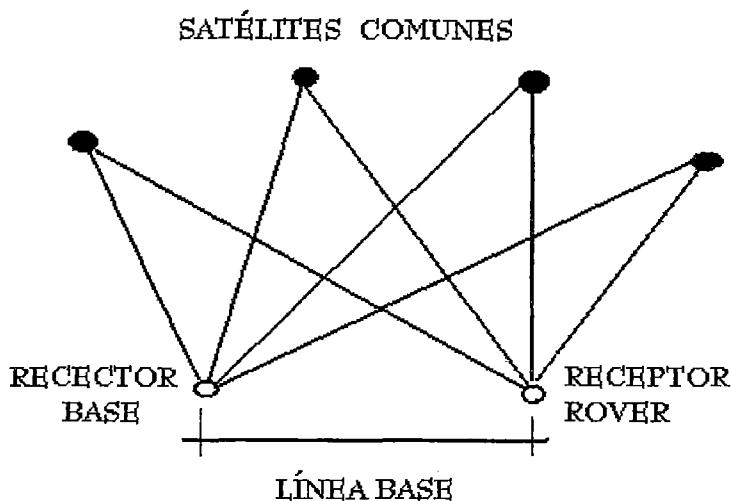
**Receptor base o master:** Es el que se encuentra sobre un punto cuya posición horizontal es conocida antes de realizar las mediciones. Desde donde se calculará la correcciones necesarias para que las pseudodistancias y delta-pseudodistancias medidas estén de acuerdo con la posición correcta previamente.

**Receptores rover :** Es el que se encuentra sobre un punto cuya posición horizontal no es conocida y se desea determinar.

El posicionamiento diferencial consistirá en hallar la posición absoluta del punto del Receptor rover, mediante observaciones realizadas desde este punto a los satélites comunes con el receptor base, sumadas a las correcciones obtenidas en el receptor base para ese mismo instante. Por lo tanto, aquí aparece el concepto de *línea base*, que es la línea recta que une el punto de base y el punto rover.

Resolviendo estos sistema se consigue eliminar gran parte de los errores que afectan a la observación. Con este método podemos tener posiciones relativas muy

buenas, y la exactitud en las posiciones absolutas dependerá principalmente de la exactitud del valor de la posición horizontal absoluta del master.



Cuanto mayor sea la distancia entre el Master y el Rover, mayor será el error obtenido.

También existe la posibilidad de trabajar en método diferencial sin necesidad que el usuario tenga una estación master, ya que hay entidades que prestan el servicio con estaciones Master que están permanentemente recibiendo datos de los satélites desde un punto de posición conocida. El Master puede encontrarse sobre la superficie de la tierra como la estación "Characato" en Arequipa, o también puede encontrarse en el espacio, como los satélites "OMNISTAR".

### 3.9.b Clasificación según el trabajo a realizarse

1.- **Estático.** Este modo de posicionamiento consiste en el estacionamiento de receptores que no varían su posición durante la etapa de observación. La referencia puede establecerse en cualquiera de ellos y la precisión será función del tiempo de observación, de la geometría y del instrumental utilizado. Se debe tener como mínimo 4 satélites comunes durante la medición simultánea.

Una variante del método estático es el denominado *estático rápido*, el cual se puso en funcionamiento gracias a la inclusión de algoritmos de tratamiento de las señales y espacios de búsqueda de ambigüedades más rápidos. De este modo, el tiempo de observación y de cálculo se reducen considerablemente. Sirva como ejemplo que este tiempo se puede reducir a diez minutos en instrumentos monofrecuencia y a un minuto en instrumentos bifrecuencia.

Podemos dar una relación de tiempos mínimos y tiempos aconsejables de un modo general en los cuales los resultados ya son satisfactorios:

	Tiempo mínimo	Tiempo óptimo
Instr. monofrecuencia	10 min.	20 min.
Instr. bifrecuencia	1 min.	10 min.

Cuando la distancia entre puntos supera los cien kilómetros o la diferencia de altitud entre ellos supera los 500 m, se debe plantear el prolongar estos tiempos de observación para contrarrestar los errores producidos por la Ionosfera y la Troposfera.

El método estático es el que mayor precisión proporciona, pero también es el que más tiempo de observación requiere. Se pueden obtener precisiones mejores de una parte por millón si utilizamos las observables de diferencia de fase.

Este método está especialmente indicado para:

\* Confección de redes fundamentales en las cuales se vayan a apoyar trabajos de Cartografía, Fotogrametría o proyectos de ingeniería.

- \* Obtención de puntos de apoyo fotogramétrico y control de puntos existentes.
- \* Control de deformaciones en superficies y estructuras.
- \* Proyectos de investigación sobre el comportamiento y estructura de la atmósfera terrestre, como afecta a las señales, estudio de precisiones, etc.

2.- **Reocupación o pseudoestático**. El método de posicionamiento es el estático, pero puede ocurrir que las condiciones de observación no sean idóneas, bien porque la bondad de la geometría es muy alta ( $GDOP > 8$ ) o bien porque disponemos de menos de cuatro satélites debido a obstrucciones.

Para poder dar solución al problema, volvemos a repetir la puesta al cabo de un cierto período (que puede ser visionado con los programas de planificación de observaciones a través de almanaques radiodifundidos), con el fin de obtener información de satélites distintos a los de la primera puesta. Para resolver el problema, el software mezcla los datos de las dos puestas para formar un único sistema de resolución como si todo se hubiera realizado una sola vez.

Por lo tanto, el estacionamiento es estático, y la reocupación una forma de solucionar problemas que surgen debido a la falta de información necesaria en posicionamientos estáticos. Las aplicaciones y fundamentos en precisiones y tratamientos de observables son los mismos que los indicados en el método estático, aunque la precisión si que se puede ver mermada en ocasiones.

3.- **Cinemático**. Este método constituye una solución eficaz al inconveniente de los posicionamientos estáticos que requerían períodos de observación prolongados. Esta indicado para el tratamiento de observables de diferencia de fase. También se requiere mínimo de 4 satélites comunes durante las mediciones simultáneas.

El fundamento es establecer una estación fija de referencia, estática, y otra estación móvil que va a realizar las puestas en los puntos que se consideren necesarios. Para desarrollar este método es necesaria una **inicialización**, que supone calcular todos los parámetros de la línea base que une el móvil y la referencia en un instante. Una vez hecho esto, se conservan los valores de las ambigüedades, lo que hace que el número de incógnitas se reduzca a tres (X,Y,Z del móvil), lo que requiere menos épocas de información para resolver el sistema y por lo tanto menor período de puesta del Rover.

Este método presenta la gran ventaja de que con él se obtienen resultados fiables y con buena precisión en poco tiempo, pero presenta el inconveniente de la posible pérdida de señal. Si esto se produce en un instante, las ambigüedades establecidas en la primera inicialización ya no sirven, lo que requiere un nuevo proceso de inicialización en el lugar donde se produjo la pérdida de señal.

Existen dos modos de inicialización. Tenemos la inicialización estática en la que es necesario que el Master y el Rover se encuentren fijos durante el proceso de inicialización, puede variar de uno a varios minutos. Y tenemos la inicialización en movimiento (OTF, On The Fly), donde en este caso no es necesario que el Rover esté quieto durante la inicialización. Esta técnica fue creada para aplicar a elementos que no pueden estar parados para efectuar inicializaciones estáticas, como son barcos y aviones; es evidente que si se produce una pérdida de señal, la inicialización se vuelve a realizar sin tener que detener los vehículos, cosa harto difícil en la inicialización estática.

Dentro del modo cinemático, se puede trabajar con el modo *continuo* (denominado cinemático propiamente dicho) o en modo *discontinuo* (stop & go).

- **Stop & Go** (parada y arranque) Para posicionar un punto con el receptor móvil (tras la inicialización satisfactoria) se realiza una parada en dicho punto de unas pocas épocas, después nos dirigimos al siguiente punto y actuamos de igual modo. El procedimiento se mantendrá hasta completar el trabajo o hasta sufrir una pérdida de señal que obligue a inicializar otra vez.

Este método es apropiado para el levantamiento de puntos cercanos entre sí. Es recomendable que el Receptor se encuentre instalado sobre un bastón el cual se va a colocar sobre el punto pero es imprescindible mantener la verticalidad de la antena en todo momento. La precisión del método siempre es función del tipo de instrumentación utilizado. Puede llegar a ser de uno a cinco centímetros en el mejor de los casos. Las aplicaciones más comunes son:

- \* Levantamientos de detalles y relleno en general.
- \* Determinación de superficies y parcelaciones.
- \* Control de avance de obras.
- \* Densificación de información de una zona.

- **Continuo**. También denominado cinemático propiamente dicho. En este caso, el receptor móvil no efectúa ninguna parada, normalmente porque no le es posible. Está indicado para el uso de estaciones móviles ubicadas en vehículos en movimiento, como aviones, trenes, camiones, barcos, turismos, etc. Para su aplicación, basta con indicar el tiempo transcurrido entre una grabación y otra (épocas de grabación) para posicionar las situaciones puntuales del receptor en movimiento continuo. Por ejemplo, si hemos establecido una época como cinco segundos, y queremos que el posicionamiento se produzca cada treinta segundos, deberán transcurrir seis épocas de observación para efectuar el posicionamiento. El intervalo de

grabación (épocas) para el método cinemático es aconsejable que sea de cinco segundos o menos.

Este método presenta el mismo inconveniente que el anterior, que es la posible pérdida de señal. Si esto se produce, y se dispone del modo OTF, el vehículo no necesita detener su marcha. Las aplicaciones más comunes de este método son:

- \* Determinación de la trayectoria de vehículos en movimiento.
- \* Levantamientos batimétricos.
- \* Navegación.
- \* Determinación de itinerarios (carreteras, caminos, canales, rutas, líneas de enlace de redes, cauces fluviales, etc.).
- \* Levantamientos de trabajos de poca precisión, por ejemplo reconocimientos

### 3.9.c Clasificación según el procesamiento de su información

Se pueden clasificar en :

- 1.- Por post-procesamiento
- 2.- En tiempo real

- 1.- Por post- procesamiento

Los datos tomados en el Master y los Rover son transferidos a la computadora para que mediante un programa se proceda al cálculo.

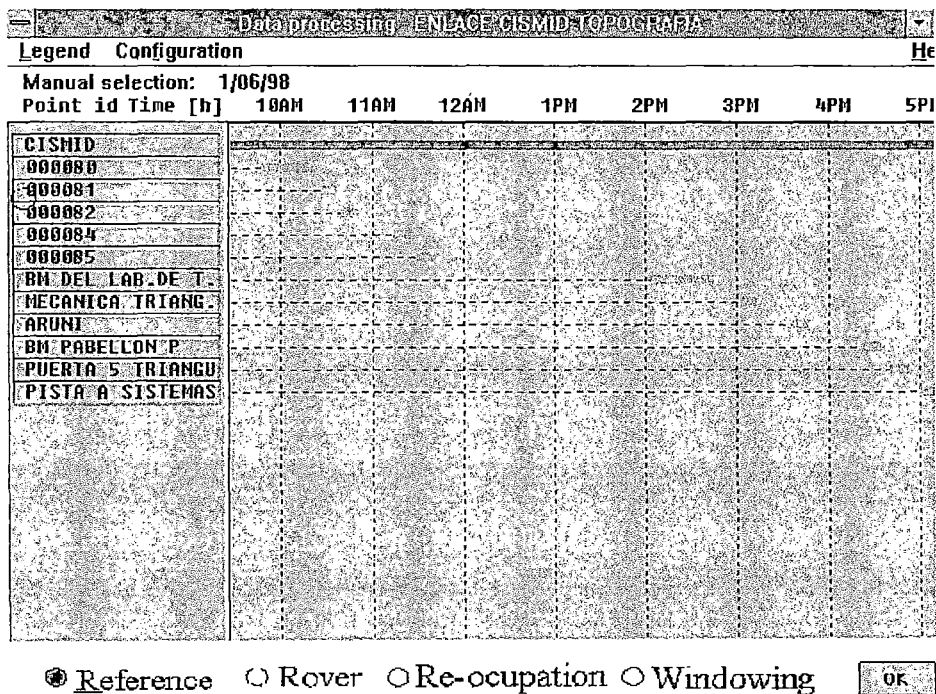
Todo GPS transmite sus datos a la computadora de manera compactada muchas veces como archivos binarios, algunos programas permiten transformar estos archivos a Rinex. Es conveniente trabajar con archivos Rinex ya que es más



versátil, es decir es posible procesar información de distintos modelos de GPS, siempre que toda la información esté en Rinex.

Con los datos transferidos, será necesario indicar que tipo de trabajo se ha realizado ( estático, cinemático, reocupación), así como cuales datos pertenecen al Master, ingresar sus coordenadas conocidas e indicar cuales datos pertenecen al Rover y a la línea base en caso se haya realizado inicializaciones. Así también nos pedirá con que tipo de efemérides vamos a trabajar, o precisas o propagadas.

Por ejemplo en gráfico se muestra una pantalla del programa SKI que mediante un diagrama de Vennt muestra el tiempo que estuvo el receptor en cada punto, se puede observar por ejemplo que el Master fue el punto CISMID y que todos los demás puntos coincidieron sus mediciones en algún momento con el Master. En esta pantalla se indicará cual es el Master y cuales son los Rover.



Luego procederemos a procesar la información para finalmente el programa nos muestre las coordenadas calculadas de los demás puntos y sus respectivos errores.

Muchas veces los programas permiten guardar los resultados en formatos ASCII e inclusive convertir a otros elipsoides que no son el WGS84.

## 2.- Procesamiento en tiempo real

En este caso el procesamiento se realiza de forma inmediata a la recepción de las observaciones obteniendo las coordenadas corregidas por el modo diferencial, en el instante. Es decir, en tiempo real. Para ello, se incorporan los algoritmos de cálculo de los software post-proceso, o parte de ellos, a los controladores para este tipo de aplicaciones.

Esto, supone una gran ventaja, ya que todo el tiempo que se invierte en transferir, chequear y procesar los datos se suprime al obtener los resultados al instante.

En el argot actual de la Topografía aplicada al posicionamiento por satélite, se denomina *equipo de trabajo con módulo RTK* (Real Time Kinematic) a aquel que incorpora un software completo en la unidad de control y un sistema de transmisión de información que permite la obtención de resultados en tiempo real. Los módulos RTK pueden procesar observables de código y de diferencia de fase, y son aplicables a cualquier trabajo donde el posicionamiento por satélite sea necesario.

Las fases del trabajo en tiempo real son las siguientes:

- El equipo de trabajo mínimo son dos equipos de observación (sensor y antena), dos radiomodems (transmisor y receptor) y un controlador en la unidad móvil con un software de proceso de datos.

- En primer lugar, se estaciona el equipo de referencia (sensor, antena y radiomodem transmisor), que va a permanecer fijo durante todo el proceso. Encender el controlador e indicar las coordenadas conocidas de la estación de referencia (Master) y empezar las mediciones. El radiomodem transmisor va a transmitir sus datos de observación por ondas de radio al receptor incorporado en el equipo móvil, que a su vez almacenará en la unidad de control.

- En segundo lugar, si el método escogido es el posicionamiento estático, el controlador calculará la posición del móvil en tiempo real. Si el método elegido es del tipo cinemático (stop & go o cinemático continuo), se debe proceder a la *inicialización*, necesaria para poder efectuar estos modos de posicionamiento. Tras efectuarse con éxito, se pueden determinar coordenadas de puntos en pocos segundos. En ocasiones la inicialización es muy rápida y con una fiabilidad muy alta, pero conviene comprobar las coordenadas obtenidas sobre un punto conocido para verificar que la inicialización ha sido correcta.

Hasta aquí hemos descrito el funcionamiento del módulo RTK, que como se ha podido ver, está asociado a trabajos de cierta precisión, pero existen otras formas de trabajo en tiempo real. Es cierto que en posicionamientos absolutos, la solución instantánea por navegación la estamos obteniendo en tiempo real.

Es evidente que la obtención de resultados en tiempo real es una gran ventaja en todos los trabajos de índole topo-geodésicos, así como en todos los campos donde esté presente el posicionamiento por satélite. Pero quizás, la aplicación donde mayor beneficio representa es en la *topografía y replanteo de obras de ingeniería*.

En la actualidad, los software de los controladores incorporan potentes programas para hallar datos de replanteo en cualquier sistema de referencia. Apoyados en la estación de referencia, podemos replantear cualquier punto en la superficie, ya que obtenemos información en tiempo real de la situación y dirección a seguir desde la referencia deseada ( ya sea una base de replanteo, el punto anterior u otro que resulte de interés) para localizar y materializar el punto correspondiente.

Finalmente, debido a la frecuencia y a la potencia de los radio MODEM, la medición está limitado a un radio de acción de hasta 8 Km. en promedio.

### 3.10 Planificación

#### 3.10.a Generalidades

Así como en todo trabajo geomático, es necesario realizar un planeamiento previo en que además de las consideraciones generales como: accesibilidad, precisión requerida, el equipo a llevar, el método de medición requerido, apoyo logístico, etc. será importante saber si se va a disponer de los satélites necesarios y si la Dilución geométrica es la adecuada desde cada punto a medir.

Entonces lo primero a hacer es determinar aproximadamente las coordenadas de cada punto a medir, datos que se pueden conseguir de cualquier mapa de la zona (por ejemplo la Carta Nacional), además averiguar cuales son las obstrucciones existentes que impedirían una buena recepción a los satélites, por ejemplo puntos que se encuentren cerca de un árbol, un edificio, etc. Habrá que hacer un croquis aproximado de las obstrucciones de cada punto. Para luego llevar estos datos a la computadora y mediante un programa aplicativo determinar la disponibilidad de satélites.

*Se va a mostrar mediante un ejemplo usando el SKI como se realizaría una programación. Por ejemplo, nos encontramos en abril de 1997 y deseamos programar si que disponibilidad de satélites tendremos para el 30 de mayo de dicho año para un punto de la UNI. Lo primero que deberemos hacer es tener en la computadora los datos de las coordenadas de los puntos, ángulo de elevación y fecha de observación.*

Enter site parameters

Site:

Latitude: ° '  N  S

Longitude: ° '  E  W

Height:  m

Time zone:  hour  min  +  -

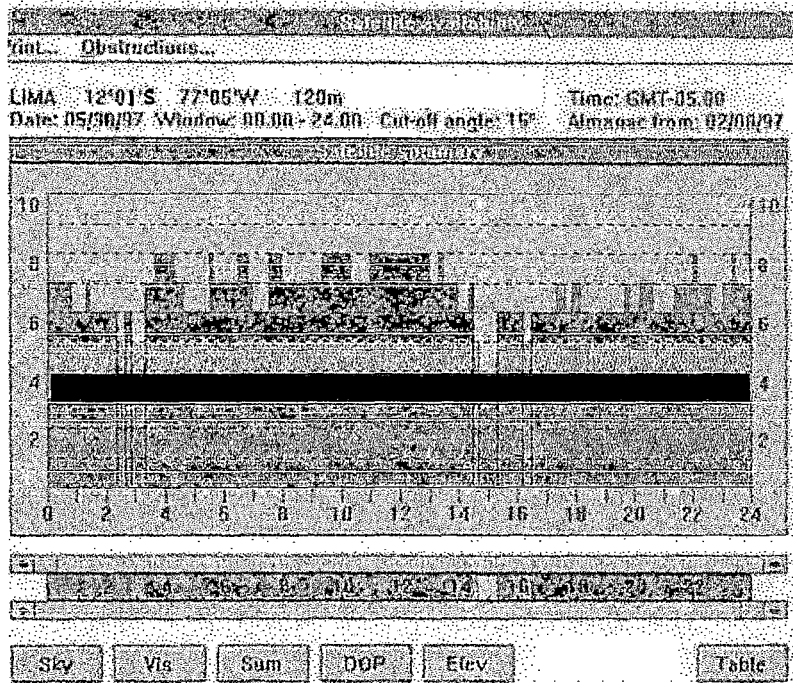
Cut-off angle: °

Date:  d  m  y

Conocidos estos, será necesario conocer las efemérides de los satélites para dicha fecha. Para calcular dichas efemérides, los programas disponen de un archivo llamado **almanaque**, en el que se encuentran las efemérides para una fecha anterior, así el programa calcula las efemérides para la nueva fecha teniendo como dato las efemérides de dicho almanaque.

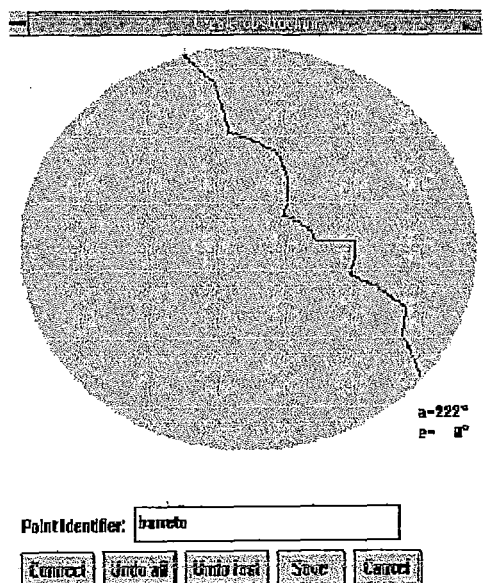
Cada vez que el usuario baja información del GPS a su computadora se crea un nuevo archivo almanaque con las efemérides de la última fecha de recepción de datos, por lo tanto habrá tantos almanaque como trabajos haya realizado el usuario. Cuando se realiza el planeamiento tiene que escoger uno de estos almanaques, generalmente es preferible escoger el último almanaque creado ya que este tiene información actualizada sobre los satélites que se encuentran operativos.

Una vez escogido el almanaque, el programa procederá a calcular la disponibilidad de satélites para el día indicado.



Podemos observar que a las 15 horas solo tenemos 4 satélites (lo mínimo requerido), claro está que lo que manda es el GDOP, ya que si aún teniendo solo 4 satélites observamos que tenemos un GDOP pequeño, entonces significaría que podríamos hacer mediciones con normalidad a dicha hora. Para ver el GDOP bastará con presionar el botón DOP (esta pantalla se va a mostrar mas adelante).

La planificación se complica si es que tenemos obstáculos que impiden la visibilidad a los satélites. Por ejemplo que en la dirección Noreste se encuentre un edificio alto, árboles y otros obstáculos. Habrá que indicar la posición y el ángulo de elevación de dichos obstáculos. En el programa que estamos usando esto se consigue escogiendo la opción

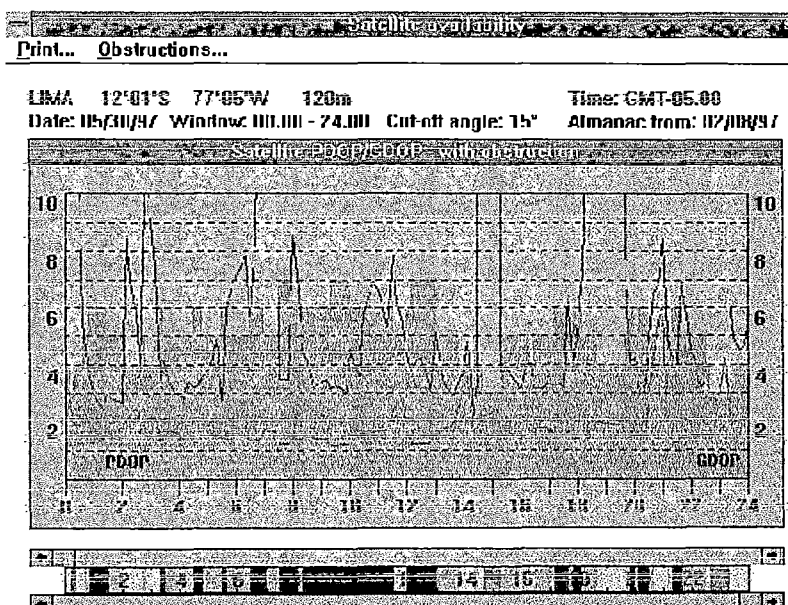


**Obstructions**, desde la barra de menús.

Entonces se muestra una ventana en la que se puede ingresar de manera gráfica las obstrucciones en dicho punto, observar que la línea continua representa las obstrucciones y que solo tenemos buena visibilidad en el Suroeste. Una vez creada las obstrucciones la grabamos con un nombre, ya que puede ser empleado para otros puntos o usar otro archivo de obstrucciones para nuestro mismo punto si las condiciones de visibilidad cambian.

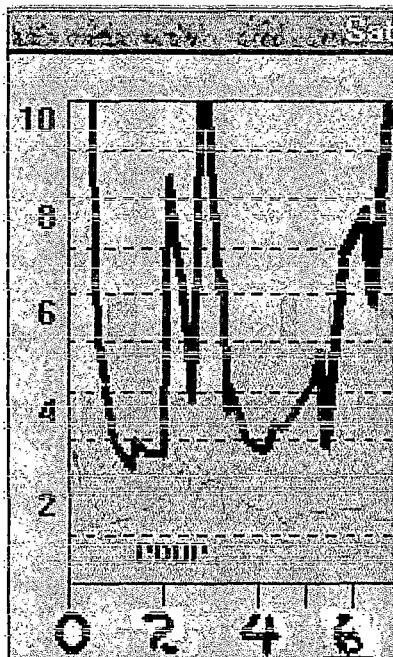
Luego volvemos a realizar los cálculos pero en este caso ya estamos tomando en cuenta las obstrucciones.

En el gráfico siguiente se muestra, mediante barras verticales, el número de satélites disponibles así como el GDOP y el PDOP, como se observa el número de satélites observables en el día es menor que en el caso anterior cuando no existía obstáculos, también muestra el GDOP y el PDOP para todo el día mediante una línea continua.





*Para visualizar mejor el GDOP vamos a ampliar el gráfico entre las 0 y 6 de la mañana:*



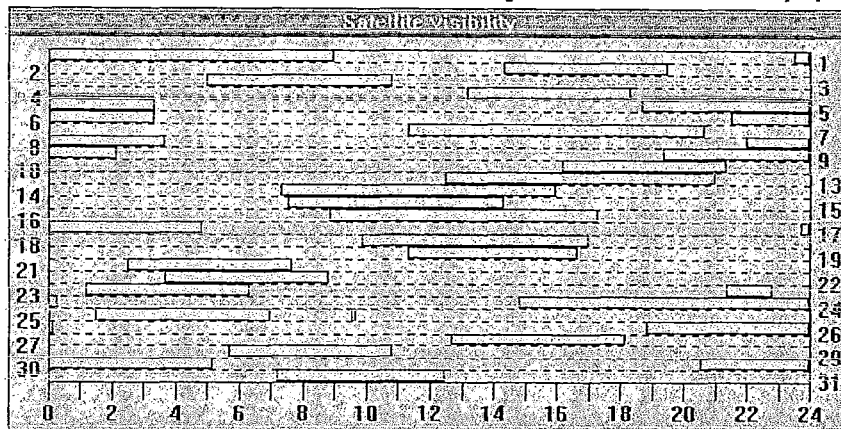
*Recordando que las barras representan el número de satélites y la línea continua el GDOP, observamos que desde las 0 horas hasta las 6 horas tenemos casi en todo momento 4 satélites como mínimo, sin embargo el GDOP no siempre es el adecuado. por ejemplo, hasta la 1 de la mañana el GDOP es muy alto, entre 1 de la mañana y 2:15 el valor del GDOP es menor que 6 por lo que nos convendría hacer mediciones a dicha hora ya que luego el GDOP aumenta y no se debería hacer mediciones sino hasta las 3:00 que nuevamente empieza a bajar el GDOP a valores menores que 6. Y así se puede continuar y escoger los horarios adecuados para las mediciones.*

*Además dentro de los horarios escogidos, deberemos averiguar si existen satélites comunes entre ambas estaciones. Si no tenemos obstáculos y debido a la considerable altura que se encuentran los satélites, siempre es posible encontrar satélites comunes.*

*Por ejemplo si quisiéramos saber si existen satélites comunes entre Tumbes y Tacna, para un día determinado, entonces averiguaremos mediante nuestro programa, que satélites disponemos en cada uno de los puntos para dicho día.*

*Así para Tumbes tendremos el siguiente reporte:*

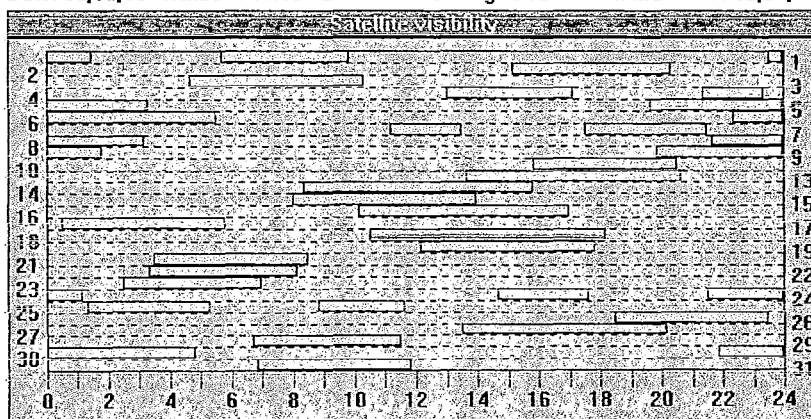
TUMBES 4°38'S 80°34'W 60m Time: GMT-05.00  
 Date: 03/19/98 Window: 00.00 - 24.00 Cut-off angle: 15° Almanac from: 02/02/98



Mediante un diagrama de Gantt se muestra la disponibilidad horaria de cada satélite durante dicho día.

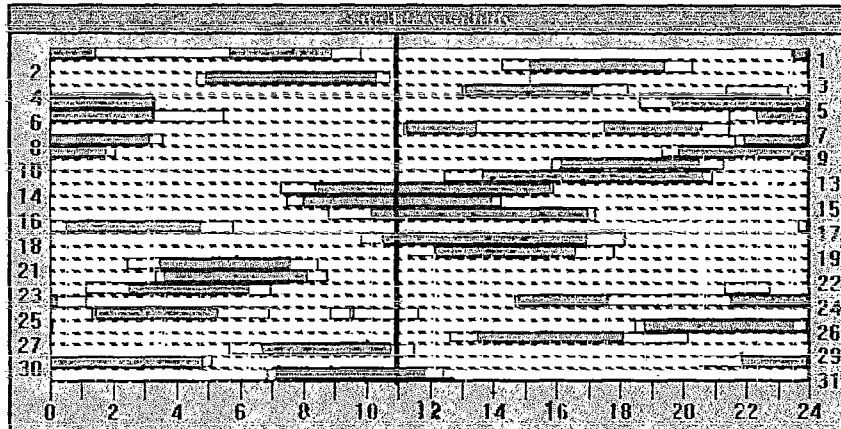
De igual modo determinamos un gráfico similar para el otro punto el cual se encuentra en Tacna:

TACNA 18°05'S 70°15'W 360m Time: GMT-05.00  
 Date: 03/19/98 Window: 00.00 - 24.00 Cut-off angle: 15° Almanac from: 02/02/98



Si superponemos ambos gráficos y sólo se achuran las barras que tienen zonas comunes, entonces tendremos:

TIME: 18:00:00 S 760344W 3600m Time: GMT-05:00  
Date: 03/19/98 Window: 00.00 - 24.00 Cut-off angle: 15° Almanac from: 02/02/98



Observamos que a pesar de la distancia entre ambos puntos, existen satélites comunes. Así por ejemplo a las 11 de la mañana tenemos 5 satélites comunes, los números: 13,14,15 y 31. Claro que habría que chequear si la Dilución Geométrica con estos 4 satélites es la correcta, algo que también se puede realizar con estos programas.

Esta claro que no se va a realizar un trabajo en método diferencial teniendo puntos tan distantes entre sí ya que llevaría a mucho error, la finalidad de este ejemplo sólo fue demostrar que es posible encontrar satélites comunes aún cuando las distancias sean grandes.

Para concluir esta parte, es conveniente mencionar que si el usuario no dispone de un programa de este tipo, puede usar programas de Internet en línea con la finalidad de realizar su planeamiento. Por ejemplo si entramos a la página:  
[http://sirius.chinalake.navy.mil/satpred/satpred\\_query.cgi](http://sirius.chinalake.navy.mil/satpred/satpred_query.cgi)

*Pedirá ingresar las coordenadas del punto, ángulo del elevación, hora y fecha que se va a realizar la observación (la hora en Tiempo Universal)*

Reset values to China Lake.

Enter the **latitude**:   Degrees  Minutes  Seconds

Enter the **longitude**:   Degrees  Minutes  Seconds

Enter the **altitude**:  Meters

Enter the **Elevation mask**:  Degrees

Enter the **time of applicability**  :  GMT

Enter the **date of applicability**:  /  /

To submit the query, press this button:

To reset the form, press this button:

Ingresados los datos presionar la tecla: Predict Satellites

Entonces el programa realizará los cálculos en línea y mostrará los resultados:

**Prediction for:**

**June 8, 2002 20:24:00 UTC (GPS week = 145 GPS TOW = 591840 seconds)**

**Altitude = 100.0 Meters**

**Latitude = 12° 1' 0.00"S**

**Longitude = 77° 5' 0.00"W**

**Using an elevation mask of 20°**

**There are 6 satellites in view**

**The best GDOP is obtained using satellites: 5, 6, 9 and 14**

**GDOP = 4.6**

**PDOP = 3.9**

**TDOP = 2.5**

**HDOP = 1.6**

**VDOP = 3.6**

También mostrará el azimut y el ángulo de elevación de los satélites observados para la fecha determinada:

Satellite	Elevation	Azimuth
GPS BIIA-22 (PRN 05)	37.4°	134.8°
GPS BIIA-24 (PRN 06)	56.2°	221.9°
GPS BIIA-21 (PRN 09)	48.1°	43.6°
GPS BIIR-06 (PRN 14)	25.5°	264.7°
GPS BII-09 (PRN 15)	24.7°	346.3°
GPS BIIA-27 (PRN 30)	39.2°	173.9°

# **CAPÍTULO 4**

## **LA ESTACIÓN TOTAL**

## 4.1 Antecedentes

Luego que Sr. Henrich Wild por los años 20, introdujera la fabricación de los limbos de cristal transparentes y por ende la del micrómetro óptico, el teodolito alcanzó su máximo diseño. La precisión angular se llegó inclusive hasta fracciones de segundo. Sin embargo la medición de distancias, con wincha o hilos invar, no tenían una precisión compatible con la obtenida para los ángulos. Con la finalidad de salvar en algo, este problema, se ideó el método de triangulación para los cálculos de la red de apoyo.

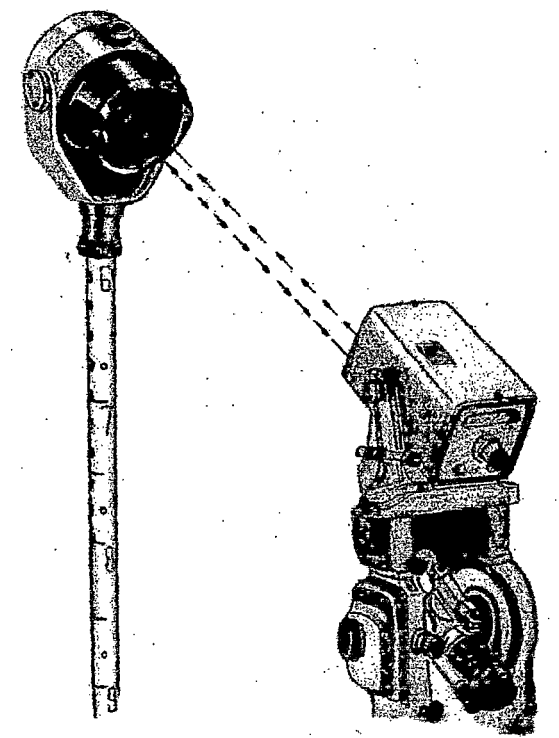
En 1948 surge el primer distanciómetro electrónico creado por el geodesta sueco Erick Bergtrand y patentado por la firma GEOTRONICS como Geodímetro. Se trataba de un instrumento electro-óptico que usaba una lámpara de tungsteno o de vapor mercurio el cual emitía una luz la cual era reflejada en un prisma reflector, volviendo la señal al emisor. La distancia era calculada por diferencias de fase. Con estos equipos se mejoró la precisión en distancias de forma drástica, llegando a tener una precisión de  $5\text{mm}+1\text{ppm}$ . y una desviación media de 20 mm. en 5 km. Las distancias medidas llegaron a 5 km. durante el día y 15 km. en la noche. Los distanciómetros han evolucionado, en la actualidad trabajan con luz infrarroja y rayo láser.

La alta precisión obtenida con los distanciómetros originó un nuevo método para los cálculos de la red de apoyo: la trilateración.

Con la aparición de los distanciómetros surgió la idea de unirlos al teodolito con la finalidad de aprovechar las técnicas de triangulación y trilateración de manera simultánea. El hecho de tener información redundante sugirió el empleo del método de mínimos cuadrados para el ajuste de las redes. Sin embargo este método requiere mucho cálculo operacional, por lo que es mejor hacerlo mediante computadoras, cuya utilización estaba todavía muy restringida a mediados de siglo, por lo tanto se descartó esta posibilidad.

Con el advenimiento de la microcomputación a principios de los 80 y la miniaturización de los equipos electrónicos, surgió nuevamente la idea de acoplar los 2 equipos de medición. Así durante la segunda mitad de la década de los 80 los fabricantes comenzaron a

acoplar distanciómetros a sus teodolitos mecánicos a lo que se adicionó una colectora (en nuestro medio se llamó libreta de campo electrónica) para el almacenamiento de datos. Había nacido la primera Estación total que en principio eran equipo modulares en la que cada uno de sus componentes trabajaba independientemente (ver gráfico 4.1). Estos equipos evolucionaron rápidamente de modo que en la actualidad se entiende por Estación total al sistema con todos los componentes integrados y con programas de cómputo para topografía y afines que trabajan con los datos recopilados por la colectora de la Estación total.



*Gráfico 4.1: muestra un teodolito al cual se le ha acoplado un distanciómetro en la parte superior del equipo. Este es un equipo de estructura modular. En el gráfico el equipo se encuentra apuntando hacia un prisma.*



## 4.2 Definición

La Estación total se define como un sistema integrado compuesto por: **Teodolito, Distanciómetro, Colectora de datos y Programas.**

Se entiende por sistema integrado al hecho que la información obtenida por uno de los componentes es compartida con los otros componentes del sistema.

Así, los datos de distancias recibidos por el distanciómetro y los ángulos leídos por el teodolito a un punto dado, serán transferidos a la colectora, con la finalidad que mediante los programas disponibles se corrija la distancia por refracción, curvatura, horizontalidad, entre otras; luego mostrar los datos corregidos en la pantalla y almacenarlos en la colectora. Todo este proceso con solo presionar una tecla desde la Estación total.

Existen diversos tipos de modelos de Estaciones totales en el mercado. Como se resume a continuación:

Respecto a su mecánica para hacer la puntería. Hay equipos que tienen los clásicos tornillos de ajuste del antejo y la alidada, con sus tangenciales. (como los TopCon serie 300). Otros equipos, solo disponen de los tornillos tangenciales y no de tornillos de bloqueo, de esta manera se evita estar bloqueando (o soltando) el equipo en cada puntería (por ejemplo los Leica serie TPS300). Otros como los de Geodimeter, no tienen ni tornillos de bloqueo ni tangenciales, sino utilizan servomotores en los que el movimiento del equipo depende de que tanta presión se aplique manualmente sobre este, por ejemplo una ligera presión sobre la alidada del equipo equivaldrá a un movimiento tangencial, mientras que una presión mayor será como haber soltado la alidada para moverla libremente.

Respecto a los distanciómetros, estos son diseñados para enviar luz infrarroja, sin embargo últimamente también han salido equipos que tienen la opción de enviar luz laser. Dependiendo del equipo y de las condiciones atmosféricas, con luz infrarroja se logra medir distancias de hasta 6 km. teniendo en cuenta que es necesario que la señal rebote en un prisma, el

cual se encuentra en el otro punto a medir. Con la luz láser, si las distancias a medir son alrededor de 80 mts. o menos, no se requiere de prisma, es decir la señal puede rebotar en cualquier superficie (de preferencia de color blanco). Si a la medición con láser le adicionamos un prisma reflector, podemos llegar a medir distancias cercanas a los 10 kms.

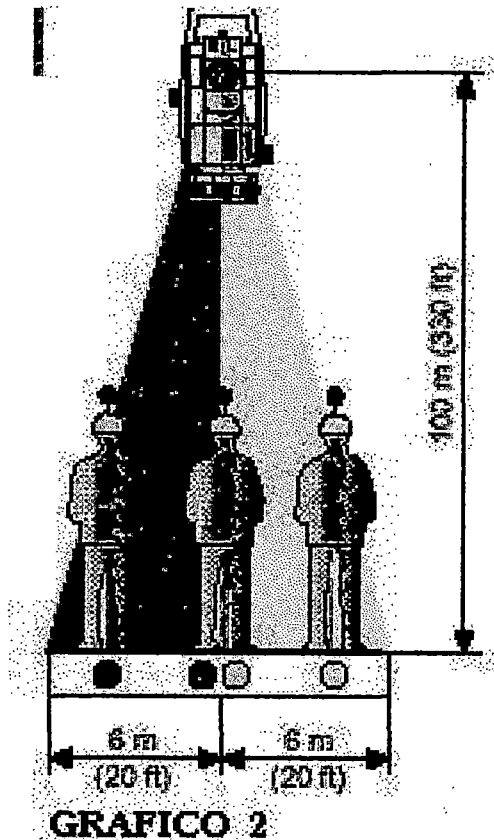
Respecto a las colectoras utilizadas, existen de 2 tipos: las colectoras internas y las externas. Las primeras colectoras fueron externas, sin embargo en la actualidad, las mas usadas son las colectoras internas. Se piensa que las colectoras externas van a volver a tener vigencia con la masificación de las *Palmtops*. Al respecto es importante resaltar que equipos con los de *Geodimeter* pueden transmitir las mediciones en forma instantánea a un computador externo (técnica denominada *Tiempo real*).

Respecto a la medición de ángulos, existen 2 sistemas de lectura de acuerdo al codificador que estén utilizando: El *sistema absoluto* y el *sistema incremental* dependiendo del codificador que estén utilizando. De ambos sistemas, el mas usado por las Estaciones totales es el incremental, y se lo reconoce porque al momento de encender el equipo, este solicita girarlo. La empresa *Leica* ha patentado un sistema de medición absoluta llamado *dinámico*, y es el usado en todos sus equipos.

Respecto a sus valores agregados que son muchos y dependen de cada equipo, algunas estaciones incluyen sensores para medir la temperatura y presión atmosférica para realizar las correcciones de la distancia; sin embargo la experiencia ha demostrado que no es conveniente tener sensores dentro de la estación ya que la temperatura que da no es la del medio ambiente sino que es la del equipo. Los fabricantes también se preocupan en hacer equipos impermeables, por ejemplo una fotografía de la publicidad de una Estación total, muestra a su equipo cayéndosele un balde de agua. Otros equipos incluyeron brújula para orientarse, lo cual resultó un fracaso, debido a que el campo magnético de la Estación total desvía la aguja de la brújula. Es de resaltar que la estación total Nikon ha sido la primera en el medio en incorporar baterías solares a sus equipos, su idea ha tenido seguidores en otras empresas fabricantes. Otro valor agregado es la resistencia de los equipos al trabajo duro en el campo. Los teclados pueden ser una ventaja competitiva en estos equipos, así existen estaciones que tienen teclados en ambos

lados, o tienen pocas teclas o inclusive el teclado es posible desmontarlo junto con su memoria de almacenamiento de datos. Existen equipos que disponen de enfoque automático.

Otro valor agregado importante, es la versatilidad del equipo para trabajar en la noche, así como iluminación de la pantalla donde se leen los datos o luces guía para ubicación nocturna. Algunos equipos han incluido luces guía durante el día como auxiliar de puntería en casos de replanteo como se muestra en el gráfico siguiente.



También hay que tomar en consideración el soporte técnico que ofrece la empresa vendedora del equipo. Así por ejemplo: el período de garantía, capacitación, actualización permanente del software de la Estación total. Además es importante saber que tanto se puede hacer con el programa de comunicación de datos entre la computadora y la Estación total. Así por ejemplo si es que el programa permite la transferencia de datos en archivos tipo DXF del Autocad o similares, u otros tipos de archivos. Si el programa de transferencia permite bajar datos de Estaciones totales de diferentes modelos, etc.

El advenimiento de la estación total, ha cambiado los paradigmas de los trabajos topográficos. No solo en lo que respecta a los cálculos topográficos, sino también en el trabajo de campo, así la brigada topográfica ha sido reducida a 2 personas: el operador de la estación y el portador del prisma. Es más, con los nuevos equipos motorizados a control remoto (llamados también *Servocontroladas*) donde el equipo busca en forma automática el prisma y realiza las mediciones, solo se requiere una sola persona (en el prisma) para todo el trabajo de campo.

A continuación se va a analizar en detalle cada uno de sus componentes.

### 4.3 El teodolito electrónico

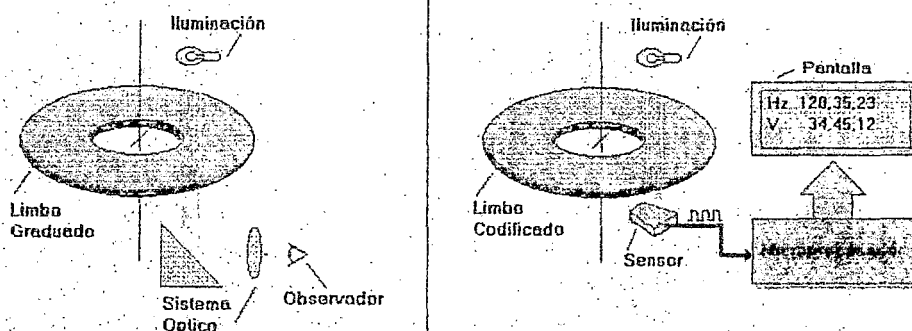
#### a.- Consideraciones teóricas

En los teodolitos electrónicos se ha generalizado la representación de los ángulos en una pantalla de cristal líquido. Para ello ha sido necesario modificar los limbos de vidrio para que un círculo de lectura sea capaz de realizar la estimación angular y presentar el resultado en la pantalla.

En el gráfico de la izquierda se muestra la manera típica de leer los ángulos en un teodolito mecánico, en donde se ilumina el limbo graduado y mediante una serie de espejos el observador llega a leer el valor iluminado en el limbo.

En el gráfico de la derecha se muestra como se realiza la medición de ángulos en un teodolito electrónico. Un diodo emisor de luz atraviesa un limbo codificado, el cual permite a un sensor convertir valores analógicos en digitales para obtener finalmente en la pantalla los valores.

Estos limbos codificados son de cristal donde las escalas grabadas con trazos transparentes y opacos serán signos de codificación a leer por una célula.



Existen dos sistemas de lectura: *Incremental y absoluto.*

*El sistema incremental:* No tiene valor fijado en la superficie. El ángulo de rotación se obtiene por variación de una magnitud susceptible de medida electrónica. Algunos sistemas miden diferencias de fase, otros intensidad luminosa. Casi todas las Estaciones totales adoptan este sistema. De manera práctica se les reconoce porque es necesario girar el anteojo para inicializar el limbo para que el detector explore las coincidencias y fije el cero.

*El sistema absoluto:* Sobre el alidada de cristal lleva grabado un origen o un cero absoluto. Los menos precisos, llevan grabados un código especial, y por lectura sobre él se determinan los valores angulares. En este caso el limbo codificado es leído por fotosensores que se mueven conjuntamente con la alidada (dinámico) o que están fijos (estáticos). Las posiciones de luz y oscuridad de los sensores proporcionan un código binario que es traducido a valor angular. En la práctica se les reconoce a estos equipos porque al momento de encenderlos muestra directamente los ángulos en la pantalla, sin necesidad de girar el anteojo.

#### **h.- Características técnicas**

En estos equipos, es posible es posible colocar el cero angular según los requerimientos del usuario. En el caso de ángulos horizontales, basta con indicarle al equipo que queremos el cero en una dirección dada. Para ángulos verticales es posible colocar el cero en la dirección Zenital, Nadiral o en el horizonte.

Además es posible configurar el equipo de modo de leer los ángulos en sentido horario o antihorario. También se puede escoger diferentes graduaciones. Sexagésimal en grados, minutos y segundos. Sexagesimal en grados. Centesimal, etc.

La precisión en estos equipos, no depende de la menor lectura que se pueda realizar con estos equipos como es en el caso de teodolitos mecánicos. Ya que cuando se habla de precisión en un teodolito electrónico, se refiere al error medio cuadrático. Esta precisión

depende del equipo ya que tenemos equipos con 5" hasta equipos de 0,1" de precisión.

Como la precisión no depende de la menor lectura, no es de sorprender por ejemplo que un equipo de 5" de precisión tenga una lectura hasta 1".

La corrección por error de índice para ángulos verticales, lo realiza automáticamente la estación total, si es que así lo desea el usuario. Y el valor de dicha corrección lo determina un auto - compensador que tiene el equipo, por lo tanto no es necesario visar un punto en anteojo directo e invertido para determinar dicho error como si se hace con los teodolitos mecánicos clásicos.

### **c.- Recomendaciones**

Es preferible trabajar con ángulos verticales cenitales ya que existen programas informáticos de topografía que solo permiten el manejo de los datos de ángulos verticales si estos son cenitales.

Si el equipo dispone de tornillos de bloqueo de la alidada y del anteojo, es conveniente usarlos. Ya que si el equipo está suelto, al presionar la tecla para almacenar los datos puede moverse ligeramente el equipo y por consiguiente almacenar otro valor del ángulo.

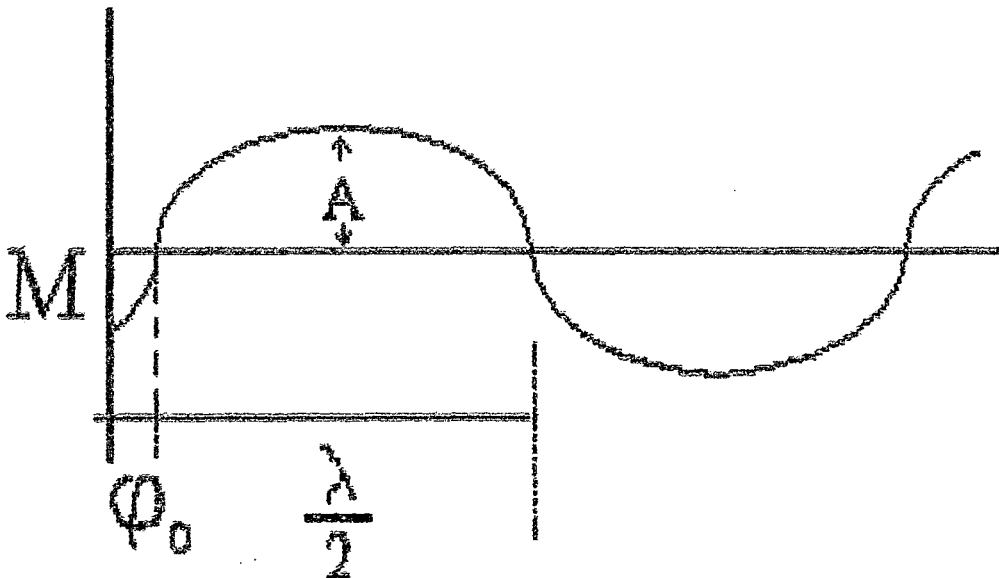
Es conveniente configurar el equipo de modo que si se apaga accidentalmente, no se pierda la orientación del ángulo horizontal.

#### 4.4 Distanciómetro

##### a.- Consideraciones teóricas

##### a.1) Fundamentos básicos

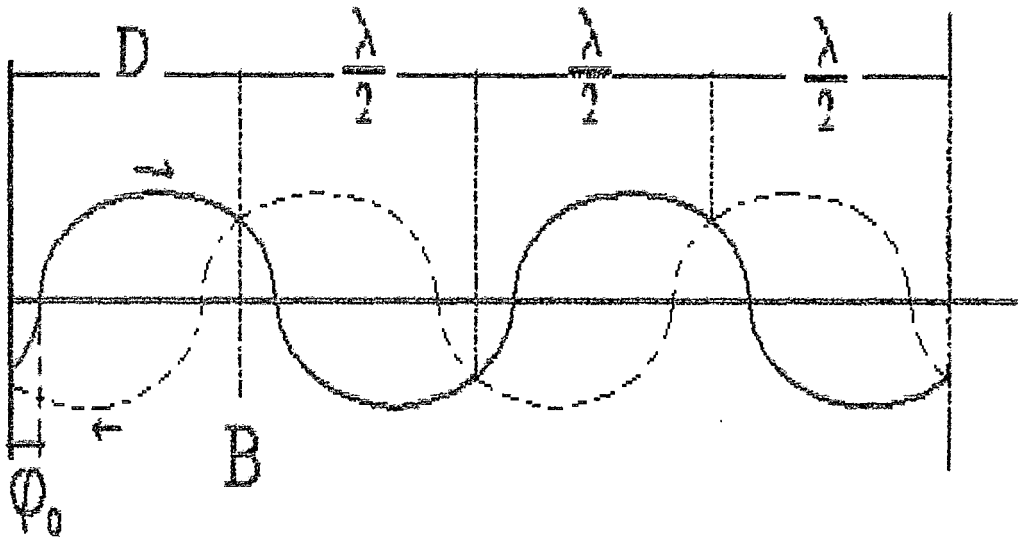
Los distanciómetros envían ondas electromagnéticas las cuales rebotan en un prisma colocado convenientemente de modo que regresan al distanciómetro. Aplicando la teoría de ondas suponiendo que se emite una onda sinusoidal desde el extremo M.



Cuya ecuación es:  $S = A \sin(\omega t + \varphi_0)$

El valor de  $S$  se repite luego de un tiempo  $T$ , llamado período. La longitud de la onda es  $\lambda$ . Suponiendo que el prisma se coloca a una distancia  $D$  inferior a la mitad de la longitud de onda  $\lambda$ , (digamos en el punto B) la onda se refleja en el extremo B y vuelve al punto M.





Al retirar el prisma  $\lambda / 2$  (o un múltiplo de dicho valor) desde el punto B, observamos que la onda de regreso tiene el mismo camino de regreso, por lo tanto la única distancia que podríamos calcular sería D ya que esta puede ser medida por la diferencia de fases de la onda de salida y la de llegada. Retirando el prisma a cualquier posición ( como se observa en el gráfico siguiente), se ve que la distancia desde el distanciómetro al prisma siempre va a ser la suma de un valor D y un número entero de veces que se repite  $\lambda / 2$  . Osea:

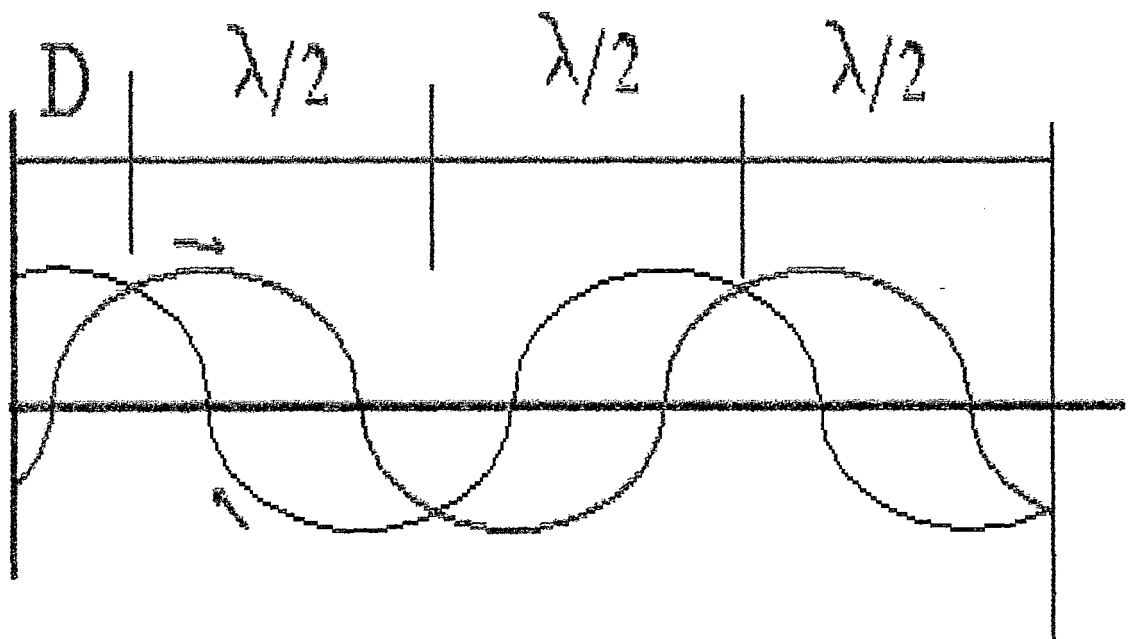
$$\text{Distancia} = D + n (\lambda / 2)$$

El valor D es medido con un fasómetro, la longitud de onda ( $\lambda$ ) es dato de acuerdo a las características del equipo mientras que la determinación del valor n va a ser explicado posteriormente.

### *a.2 Precisión que se puede lograr en la medición*

Todos los equipos tienen errores de medición, el fasómetro tiene un error al medir la distancia D, (digamos por ejemplo 5mm). Por otro lado el distanciómetro mide la longitud de la

onda con un error , a mayor número de ondas (que es lo mismo decir que a mayor distancia) mayor será el error; por lo tanto dicho error puede ser expresado directamente proporcional a la distancia medida ( por ejemplo digamos 1 mm por cada millón de milímetros de distancia medida o lo que es lo mismo decir 1 parte por millón). Es por esta la razón por la cual los errores en los distanciómetro se expresa como la suma de 2 valores, uno constante y otro variable dependiente de la distancia medida .



### a.3 Distancia límite

Es común oír el concepto de distancia límite en los distanciómetros , es decir la máxima distancia que se puede medir con dichos equipos. Esto se debe a que con la finalidad de poder determinar el valor de "n" se requerirá que el equipo envíe 2 o más ondas cada una con diferentes longitudes de onda.

En principio el equipo envía 2 ondas con diferentes longitudes de onda , digamos  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  , la distancia límite será aquella dentro de la cual en valor de "n" es el mismo para ambas ondas, para distancias iguales o superiores a dicho valor los valores que resulten de "n" serán

diferentes para  $D_{lim}$  de onda y siendo los valores de "n" distintos no podría calcularse la distancia medida en función de la fórmula indicada anteriormente, por lo tanto en la distancia límite ( $D_{lim}$ ) se cumplirá que:

$$D_{lim} = n \frac{\lambda_1}{2} + (n+1) \frac{\lambda_2}{2}$$

Debajo de este valor los valores de "n" son iguales, encima de este valor se repiten los fenómenos, por ejemplo si la distancia límite es 1000 mts. el valor de "n" será el mismo para una distancia de 800 mts o de 1800 mt o de 2800 mts. etc. Despejando el valor máximo que puede tomar "n" con la finalidad que la distancia pueda ser determinada, tenemos:

$$n = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} .$$

y llevando este valor a la expresión anterior

$$D_{lim} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)} \dots \dots \dots (\alpha)$$

Es importante indicar que la distancia límite no es el alcance máximo en distancias que se obtiene en el campo con un distanciómetro, ya que el alcance depende de otros factores como las condiciones atmosféricas, tipo de prisma que se está utilizando. El alcance máximo siempre resulta ser menor o igual que la distancia límite.

#### *a.4 Métodos para la determinación de "n"*

Como se explicó para calcular la distancia del distanciómetro al prisma es necesario conocer el valor de "n". A continuación se va a estudiar 3 métodos:

- I) Método de longitudes de onda con pequeñas diferencias.
- II) Método de las longitudes de onda múltiplos de 10 mts.
- III) Método de la variación continua de la longitud de onda.

#### **I) Método de longitudes de onda con pequeñas diferencias**

Este método consiste en enviar 2 tipos de onda cuya longitud de onda tienen una ligera diferencia, una de la otra. Para una distancia menor que la mínima, como ambas longitudes de onda son casi iguales, entonces el valor de "n" es el mismo, lo que difiere es la diferencia de fase (D). Así para cada caso la distancia a medir será:

$$\text{Distancia a medir} = D_1 + \frac{n}{2} \cdot \lambda_1$$

o

$$\text{Distancia a medir} = D_2 + \frac{n}{2} \cdot \lambda_2$$

$D_1$  y  $D_2$  son distancias calculadas a partir de la diferencia de fases para cada una de las ondas, como se explicó al principio de esta sección.

Despejando "n" se tiene:

$$n = \frac{D_2 - D_1}{\frac{\lambda_1}{2} - \frac{\lambda_2}{2}} \dots \dots \dots (\beta)$$

Calculado "n", ya se puede determinar la distancia medida, reemplazando en cualquiera de las ecuaciones de distancia mostradas.

## II) Método de las longitudes de onda múltiplos de 10 m.

Este método está basado solo en la medida del desfase y consiste en el empleo de ondas de longitud creciente y múltiplos de 10 m. El principio es enviar ondas de diferentes longitudes de onda múltiplos de 10. Por ejemplo si estas fuesen: 20 m, 200 m, 2000 m. y 20000 m. Los valores de las medias ondas serán 10 m, 100 m, 1000 m y 10000 m., para cada una de las ondas enviadas, se va a leer un valor de "D" en el fasímetro, para la primera onda dicho valor será menor que 10,

en el segundo caso dicho valor será menor que 100, y así sucesivamente. La distancia medida se calculará en base a los valores leídos en el fascómetro en cada uno de los casos.

Para explicar este método usaré un ejemplo: Si queremos medir la distancia 1234,343 m. Los pasos son:

- 1) Primero enviamos una onda de  $l = 20$  m. En el fasómetro leeríamos  $D' = 4,343$  m. debido a que:

$$\text{Distancia medida} = D' + n' (\lambda/2)$$

donde

$$\text{Distancia medida} = 4,343 + 123 (20/2) \text{ m.}$$

Pero con solo una longitud de onda no se puede determinar  $n'$ , por lo tanto lo único que podemos determinar es  $D'$ , pero de lo anterior si podemos deducir que:

$$\text{Distancia medida} = 4,343 + \text{múltiplo de } 10 \text{ m.}$$

- 2) Luego enviamos una onda de  $\lambda = 200$  m. En el fasómetro leeríamos  $D'' = 3^*,***$  m. (las unidades de metros, centímetros y milímetros ya no nos interesa leer ya que lo hemos hecho en el paso (1), es por esa la razón por la cual se ha colocado asteriscos en dichas posiciones). Así tenemos:

$$\text{Distancia medida} = D'' + N'' (\lambda/2)$$

entonces

$$\text{Distancia medida} = 3^*,*** + 12(200/2) \text{ m.}$$

Osea  $n''$  es 12, pero este valor no se puede determinar. Lo que sí podemos leer en el fasómetro es la cifra de las decenas, en nuestro ejemplo es 3.

- 3) De manera similar, enviando una onda de  $\lambda = 2000$  m. En el fasómetro leeríamos la cifra de las centenas. Osea 2.
- 4) Y enviando una onda de  $\lambda = 20000$  m. En el fasómetro leeríamos la cifra de los millares. Osea 1.

Este método es el usado por los distanciómetros debido a que los rayos infrarrojos tienen la ventaja de poder modular directamente su frecuencia.

### III) Método de la variación continua de la longitud de onda

El equipo variará la longitud de la onda hasta que el fasímetro señale un desfase nulo. Luego se disminuirá la longitud de la onda, aumentando la frecuencia de las oscilaciones hasta que el fasímetro señale nuevamente cero. Con lo que tendremos:

La fórmula de distancia cuando se obtiene en por primera vez el desfase cero:

$$\text{Distancia a medir} = n \cdot \frac{\lambda_1}{2}$$

La fórmula de distancia, luego de haber disminuido el valor de la longitud de onda hasta conseguir nuevamente un desfase cero. Como se observa al disminuir la longitud de onda, el número de ondas requeridas, para medir la distancia, aumenta.

$$\text{Distancia a medir} = (n+1) \cdot \frac{\lambda_2}{2}$$

De ambas ecuaciones despejamos  $n$ . Conocido el valor de  $n$ , ya se puede calcular la distancia.

Este método no tiene aplicación práctica, porque un equipo de frecuencias variables es más costoso que los anteriores para las mismas prestaciones.

#### **4.4.b - Características técnicas**

##### **b.1).- Alcance máximo**

El alcance máximo de los equipos depende de: Las condiciones atmosféricas, el tipo luz enviada y el número de prismas utilizado.

Respecto a las condiciones atmosféricas se logrará mejores alcances en zonas que exista poca atmósfera, como por ejemplo a grandes alturas, o en zonas de temperaturas altas ya que parte del aire se ha elevado.

Con luz infrarroja se obtiene alcances máximos entre 1 y 5 kms. dependiendo del equipo, del número de prismas utilizado y de las condiciones atmosféricas. Por ejemplo bajo condiciones atmosféricas promedio la serie TC(R) 300 de *Leica* indica que: con un prisma se obtiene un alcance de 3000 mts. mientras con 3 prismas el alcance llega a 4500 mts.

De igual manera con rayo láser, se obtienen alcances máximos entre 30 mts. y 10 kms. dependiendo del equipo, superficie reflejante, número de prismas utilizado y condiciones atmosféricas. Por ejemplo para la misma estación *Leica*, indicada y bajo condiciones atmosféricas promedio: se obtiene alcances máximos de 50 mts si la superficie reflejante es gris, pero si la superficie reflejante es blanca el alcance llega a 80 mts. Mientras que si se usa 3 prismas como reflector, el alcance llega hasta 7000 mts.

##### **b.2).- Error en distancias**

Como se explicó en la sección anterior, el error en distancias está expresado en un valor constante en milímetros mas un valor variable expresado en partes por millón. Así por ejemplo si las características técnicas del equipo son  $\pm (4 \text{ mm.} + 5 \text{ ppm})$ , esto quiere decir que:

$$\text{Error en distancias} = \pm (4 \text{ mm.} + 5 * \text{Distancia leída}/1000000)$$

Así, si en la pantalla del equipo en mención se indica que la distancia medida es de 2015 mts., entonces su error será:

$$\text{Error en distancias} = \pm (4 \text{ mm.} + 5^{\circ} 2 \text{ 015 mts}/1000000)$$

Convirtiendo mts a mm. con la finalidad de tener todo en mm.

$$\text{Error en distancias} = \pm (4 \text{ mm.} + 5^{\circ} 2 \text{ 015 000 mm}/1000000)$$

operando:

$$\text{Error en distancias} = \pm (4 \text{ mm.} + 10,0 \text{ mm.})$$

llega

$$\text{Error en distancias} = \pm 14 \text{ mm.}$$

Si dividimos la distancia entre el error obtenido tenemos:

$$\text{distancia/ Error en distancia} = 2 \text{ 015 000} / 14$$

$$\text{distancia/ Error en distancia} = 143 \text{ 929}$$

Entonces el error relativo será:

$$\text{Error relativo} = 1 / 143929$$

El error relativo obtenido, hubiese sido muy difícil de obtener con otros métodos de medición de distancias como la wincha metálica, más aún si el terreno fuese accidentado donde generalmente los errores relativos que se pueden obtener con wincha están alrededor de 1/10000. En cambio cuando se mide con distanciómetro no tiene ninguna importancia que el terreno sea



llano o accidentado. Por lo tanto la tendencia para el futuro es a que en la mayoría de las distancias medidas sean hechas con medios electrónicos, ya que los errores son menores, es más rápido y confiable que otros métodos de medición.

### b.3).- Tipos de medición de distancia

Se llama proceso de medición de una distancia a aquel que se inicia cuando se presiona la tecla que activa dicho proceso y termina cuando en la pantalla muestra la distancia. Dicho proceso puede trabajarse con diferente precisión, de acuerdo a los requerimientos del trabajo de campo, por lo que los equipos disponen de opciones para escoger la precisión requerida. La forma como utiliza la Estación total los resultados obtenidos en cada uno de los procesos, es lo que se llama tipos de medición y son 2: *Por promedios* y *Continua*.

***Medición por promedios:*** Si se selecciona este tipo de medición, habrá que indicar cuantas mediciones se desean hacer, es decir indicar cuantas veces se va a repetir el proceso de medir una distancia., ya que la medición por promedios, realiza el proceso las veces indicadas y promedia los resultados de las distancias obtenidos en cada proceso. Este tipo de medición es útil para levantamientos, por ejemplo en una poligonación, se puede escoger que los lados de la poligonal van a ser medidos 3 veces, mientras que los de radiación sólo una vez.

***Medición continua:*** Llamada también tracking debido a su expresión inglesa, consiste en que el proceso de medición de una distancia se repite varias veces sin parar, mostrando en cada vez la distancia obtenida. Este tipo de medición es utilizado en replanteo, donde se miden distancias con prisma en movimiento. Sin embargo existen algunos usuarios que también usan este tipo de medición para ubicar puntos de relleno.

#### 4.4.c.- Correcciones a lo medido con el distanciómetro

La Estación total permite realizar correcciones a su distancia medida ya sea debido a las características propias de la medición o porque lo requieren las especificaciones del trabajo. Son obligatorias las correcciones debido a las características propias de la medición. Las 3 primeras correcciones indicadas a continuación, se encuentran disponibles en todos los equipos ya que son obligatorias, mientras que las siguientes correcciones no se encuentran en todas las Estaciones totales.

##### -Corrección por constante del prisma

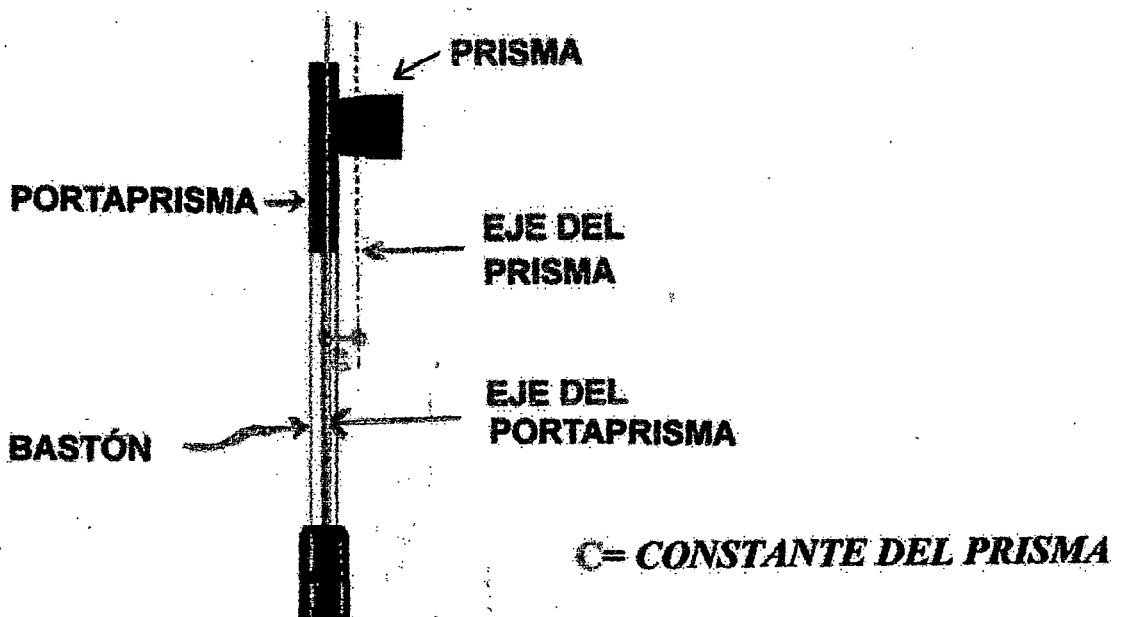
Esta corrección es obligatoria, por lo tanto habrá que indicarle a la Estación total, que constante del prisma que está usando y consiste en:

El prisma es un accesorio compuesto por un conjunto de espejos convergentes que permiten que la señal enviada rebote tenga la misma dirección con la que llegó. La distancia medida es desde el distanciómetro hasta el punto sobre el prisma donde rebota la señal para volver, entonces llamemos eje vertical del prisma a la línea vertical que pasa por dicho punto del prisma. El prisma se coloca sobre un portaprisma, el cual es un accesorio que tiene como finalidad sostener el prisma. A su vez el portaprisma es enroscado sobre una base nivelante con un trípode (o sobre un bastón vertical), el cual se encuentra sobre el punto del terreno a donde se desea hacer las mediciones. Llamemos eje vertical del portaprisma a aquel que pasa por el portaprisma y el punto del terreno a medir. De acuerdo a su diseño, es posible que el eje vertical del portaprisma no coincida con el eje vertical del prisma, por lo que como la distancia que se desea es hasta el eje del portaprisma y lo que se ha medido es hasta el eje vertical del prisma, existe una diferencia entre ambas distancia, a dicha diferencia se le llama constante del prisma.

Será necesario indicar a la Estación total, cual es la constante del prisma con la finalidad que esta corrija las distancias medidas. Dicha constante puede ser mayor, menor o igual a cero, de acuerdo a la posición del eje vertical del prisma, respecto al eje del portaprisma.

En el gráfico se observa que el eje del prisma se encuentra adelante que el del portaprisma, por lo tanto para que el equipo corrija automáticamente las distancias medidas, habrá que indicarle a la Estación total que la constante del prisma es un valor C en mm.

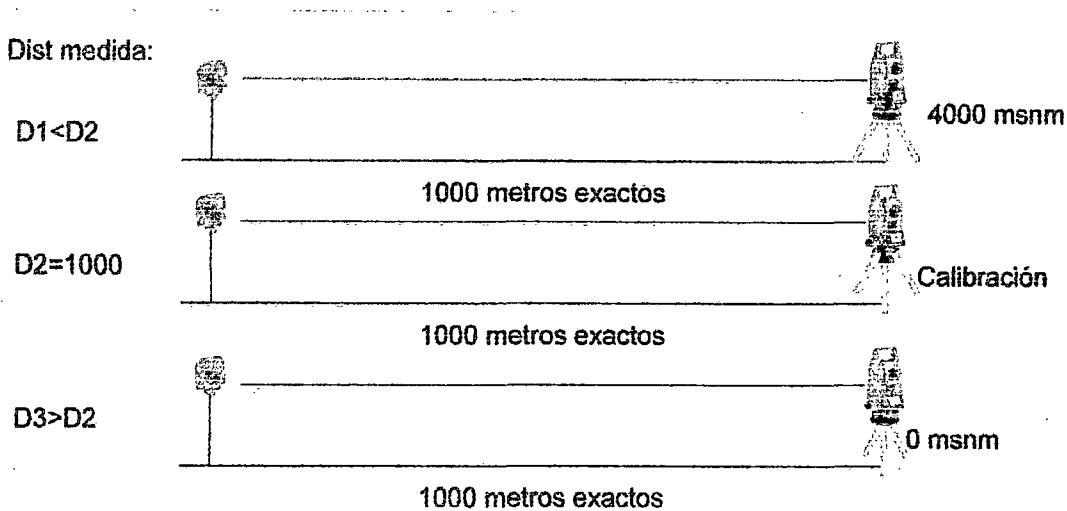
Nota: En la mayoría de Estaciones totales , si el eje del prisma se encuentra delante del eje del portaprisma, entonces la constante es positiva. Y lo contrario, si el eje del prisma se encuentra detrás del eje del portaprisma, entonces se ingresará una constante negativa. Sin embargo existen Estaciones totales (como la NIKON 400) que toman otra convención. Por lo tanto tener mucho cuidado al momento de ingresar el signo de la constante del prisma ya que un signo equivocado, podría acarrear graves errores. Lo mejor en estos casos es revisar los manuales de la Estación total respectiva o hacer verificaciones In Situ de la constante del prisma que estamos usando.



- Corrección por condiciones atmosféricas

Esta corrección también es obligatoria. Como toda onda de luz, la enviada por el distanciómetro se refracta al pasar por la atmósfera. A mayor atmósfera, la luz tiene mayor refracción. La cantidad de atmósfera depende de la presión atmosférica y de la temperatura ambiental.

La manera como afecta este fenómeno, se explica con el siguiente gráfico.



**D1 puede tener un error de unas 100 ppm**

**D3 puede tener un error de unas 10 ppm**

Teniendo las mismas condiciones de temperatura y sabiendo que la presión atmosférica varía con la cota, se explicará este concepto con el ejemplo de la gráfica:

- Así a una altura encima del nivel del mar, a la cual llamaremos altura de Calibración, la distancia medida por el distanciómetro resulta ser igual a la distancia exacta.
- Si esa misma distancia se es medida a una altura debajo de la de calibración, por ejemplo a nivel del mar, donde existe mas atmósfera entonces existe mas refracción, por lo que el

recorrido de la luz del distanciómetro al prisma será mayor que en el caso anterior, por lo tanto la distancia mostrada en la pantalla será mayor que la verdadera ( $D3 > D2$ ).

- Caso contrario, si subimos a mayor altura, existirá menor refracción, por que la distancia recorrida por la señal será menor ( $D1 < D2$ ). Por lo tanto a  $D1$  y  $D3$  habrá que corregirlos.

Esta corrección, para las distancias, debido a la refracción se expresa en partes por millón (ppm). Es decir cuantos milímetros corregir por cada km. de distancia. Como los valores del ppm. no solo dependen de la presión atmosférica sino también de la temperatura ya que a mayor temperatura, menor atmósfera.

Por lo tanto es necesario indicar a la Estación total los valores de temperatura y presión atmosférica con lo que el equipo calculará el valor del ppm. y realizará las correcciones automáticamente. Algunos equipos permiten ingresar cota absoluta ya que bajo las mismas condiciones de humedad relativa, la presión atmosférica y la cota absoluta son magnitudes directamente proporcionales.

Los valores del ppm. cambian según el equipo usado y existen fórmulas y tablas que permiten calcular el valor del ppm. ingresando como datos la presión atmosférica (o cota) y la temperatura. Por ejemplo para un equipo dado, a 0 mts. de cota y a  $10^{\circ}$  de temperatura el valor del ppm es 0, pero si la temperatura aumenta a  $20^{\circ}$  entonces el valor del ppm aumenta a 10 mm. pero si la cota aumenta a 4000 msnm. el valor del ppm es superior a 100 mm. Sin embargo es conveniente indicar que si la estación que estamos utilizando calcula automáticamente el valor del ppm. sólo con ingresar los datos anteriormente mencionados, entonces usar fórmulas o tablas para el cálculo del ppm. es innecesario.

- Corrección por horizontalidad o reducción al horizonte

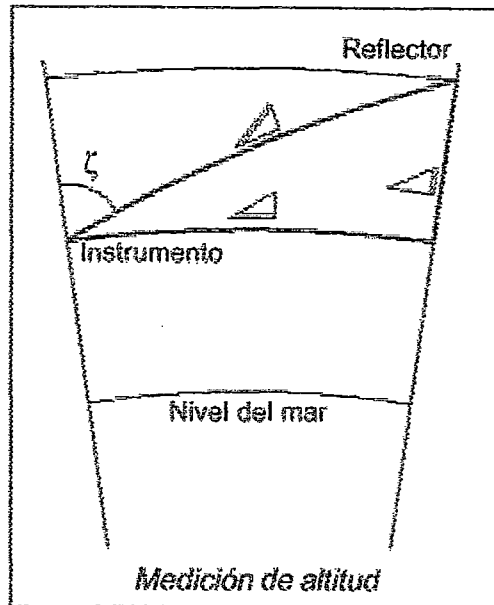
La distancia medida por el equipo es inclinada. Como la Estación total también mide ángulos, es posible que el equipo reduzca dicha distancia al horizonte. La reducción se realiza a partir de la estación mediante las ecuaciones clásicas de trigonometría donde en el triángulo rectángulo, la hipotenusa es la distancia inclinada medida, la distancia horizontal es uno de los catetos, y el otro cateto es la vertical que pasa por el punto a medir y que corta a la hipotenusa. En la mayoría de Estaciones totales este cálculo es automático al momento de medir una distancia, en otros es necesario configurarlo.

- Reducción al nivel medio del mar

La mayoría de Estaciones totales tienen la posibilidad de corregir la distancia horizontal con la finalidad de reducirlo al nivel medio del mar.

La reducción de las distancias al nivel medio del mar solo es necesario hacerlo si es que se va a trabajar con coordenadas UTM. Si solo trabajamos con coordenadas topográficas entonces esta corrección es innecesaria.

En realidad la reducción debería hacerse al nivel del elipsoide, para lo cual se debería tener al altura elipsoidal. Pero como esta información generalmente no se dispone, además para las distancias menores de 10 km. que es lo que mide el distanciómetro, no existe casi ninguna diferencia sustancial en reducir al elipsoide que en reducir al nivel medio del mar, ya que ambas superficies están relativamente cercanas. Entonces bastará con hacer nuestros cálculos respecto al nivel medio del mar (geoide).



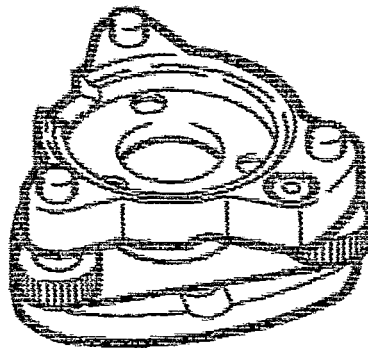
- Corrección por factor de escala

Esta corrección solo debe hacerse si es que se está trabajando con datos para la proyección UTM. El concepto de factor de escala ya fue revisado anteriormente.

**4.4.d- Recomendaciones**

- Todos los equipos tienen condiciones de temperatura las cuales hay que respetarlas ya que temperaturas muy altas o muy bajas afectan sensiblemente la operatividad del equipo.
- En caso de mediciones con láser es mejor que la superficie reflejante sea blanca, ya que se obtienen mejores alcances que si fuese gris.

- En caso de mediciones muy precisas, es mejor colocar el prisma (con su portaprisma) sobre una base nivelante apoyada en un tripode. *(El gráfico de una base nivelante es mostrada en la parte inferior de la hoja.)*
- En caso que las mediciones precisas sean realizadas con el prisma (con su portaprisma) sobre un bastón. Es mejor visar con el anteojo a la parte inferior del bastón y luego mover el tangencial vertical para llegar a ver el prisma y realizar las mediciones. Además en estos casos es conveniente nivelar el bastón con el nivel de burbuja que disponen.
- Nunca visar directamente al sol sino se dispone de filtros adecuados, ya que puede malograr el sistema del distanciómetro de manera irreparable.
- No permitir que el rayo láser penetre a los ojos. Si existe esta posibilidad, como medida de precaución es mejor mirar hacia otra dirección o cerrar los ojos.



**BASE NIVELANTE**



## **4.5 Colectora de datos**

### **a) Generalidades**

Llamada también: Libreta de campo electrónica. Es el accesorio que tiene múltiples funciones:

- Permite el almacenamiento de datos de diferentes fuentes: desde su propio teclado o de mediciones hechas en el campo o desde una base de datos externa como por ejemplo una PC.
- Permite utilizar los datos almacenados en la colectora para realizar otros trabajos de campo.
- Permite que programas informáticos puedan usar los datos de la colectora.

### **b.- Tipos de colectoras**

Existen 2 tipos de colectoras: Externa e Interna.

#### **b.1.- Colectora externa**

Fue la primera colectora que se utilizó en la Estación total. Consiste en un accesorio muy parecido a una calculadora con su pantalla de cristal líquido, la cual se encuentra comunicada con la Estación total mediante un cable o por sistemas de radio comunicación. Este tipo de colectora viene generalmente con programas de aplicación.

En principio, cada marca de Estación total creó su propia colectora de datos lo cual a veces resultaba muy oneroso ya que se requería investigación en hardware para crear una colectora. El paso siguiente tomado por la mayoría de los fabricantes de

Estaciones totales fue utilizar calculadoras existentes en el mercado y adicionarle programas de transferencia y manejo de datos de la Estación total, en este caso la calculadora que se utilizó fue la Hewlett-Packard HP-48GX por su versatilidad. La tendencia a futuro es el uso de la Palmtop, que vienen a ser calculadoras cuyo entorno de trabajo es enteramente gráfico mediante una pantalla interactiva, las cuales además de las funciones indicadas anteriormente permitirá realizar croquis o mostrar, en tiempo real, los puntos del levantamiento que se está realizando en su pantalla de cristal líquido.

#### Ventajas:

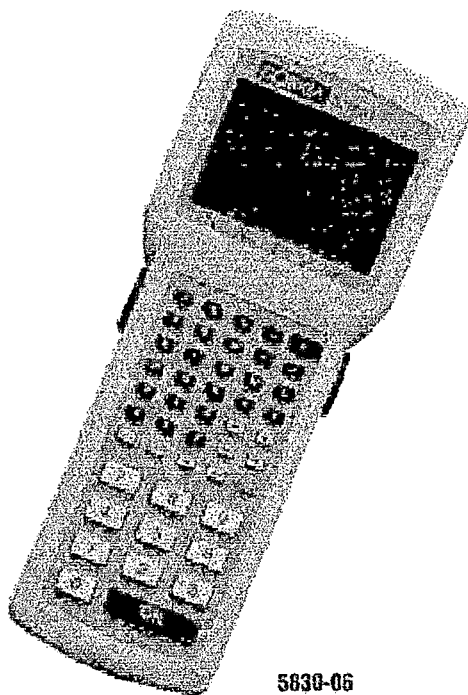
- Gran capacidad de almacenamiento de datos, inclusive la mayoría de estos accesorios tienen posibilidad de extender su memoria.
- Para transferir datos tomados en el campo a la PC, no es necesario llevar la Estación total a donde está la PC sino basta con desconectar la colectoras de la Estación total y llevarlo a donde se desee transferir la información.

#### Desventajas:

- Generalmente necesario aprender a utilizarla. Esto quiere decir que un operador de Estación total no necesariamente sabe utilizar colectoras externas, ya que puede haber utilizado siempre la colectoras interna de la estación. Salvo que las colectoras correspondan a estaciones robotizadas en la que una capacitación en el manejo de la Estación total incluye obligatoriamente el manejo de la colectoras.
- Los cables son muy propensos a malograrse si es que no se tiene cuidado. Podría ocurrir que durante un levantamiento, el cable de conexión entre la

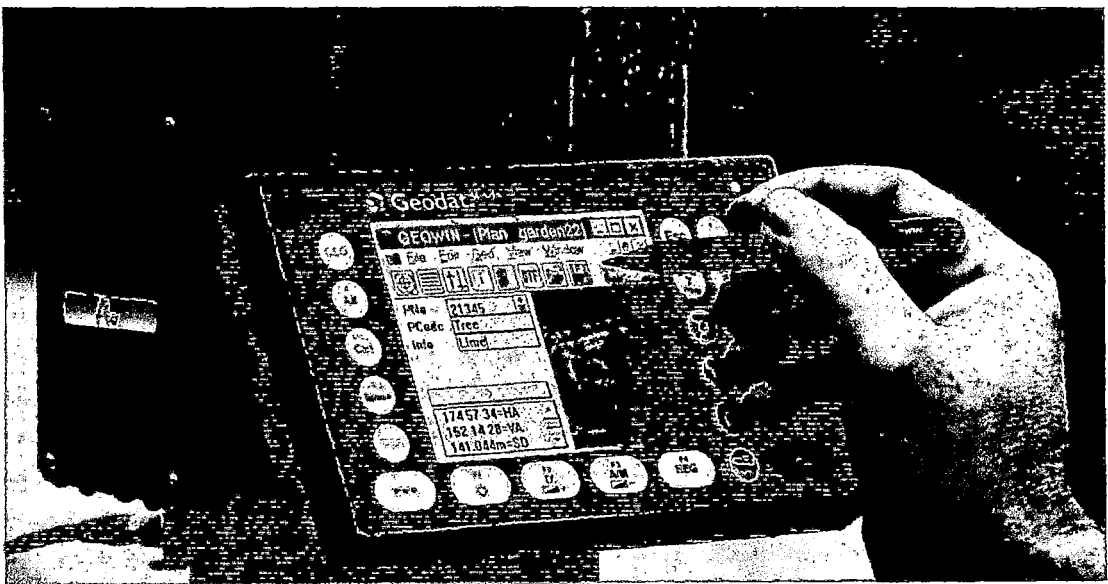
Estación total y la colectoras se malogre, con lo que se complicaría considerablemente el trabajo de toma de datos de campo.

A continuación se muestra una colectoras SOKIA a la que se le han incluido programas de caminos, nivelaciones, funciones especiales además su software permite una alta velocidad de transferencia de datos de la colectoras a la PC. Como se observa esta colectoras tiene un diseño ergonómico siendo mas angosta en la parte inferior para que el usuario lo pueda sostener con una mano y mas ancha en la parte superior para tener mas visión de la pantalla.



## b.2.- Colectora interna

En este caso la colectora se encuentra en la Estación total junto con sus otros componentes. Si bien al principio la comunicación entre el usuario y la colectora se hacía solo a través del teclado de la Estación total, la tendencia es a usar entornos gráficos interactivos como muestra el gráfico para la estación total Geodimeter trabajando con una colectora en entorno compatible con el Windows.



Existen de 2 tipos:

- Las que no se pueden retirar del equipo
- Las que se pueden retirar del equipo

A continuación se explicará la diferencia, ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de colectoras interna:

**-Las que no se pueden retirar del equipo**

Son las colectoras más comunes, el fabricante ha incluido una colectoras a la Estación total la cual no es posible retirarla del equipo. Todas las Estaciones totales económicas actualmente disponen de este tipo de colectoras, entre sus ventajas y desventajas tenemos:

**Ventajas**

- Son colectoras económicas, vienen incluidas en el precio cuando se compra una Estación total.
- Su manejo es conocido, ya que cuando se aprende a usar la Estación total, obligatoriamente se aprende a usar dicha colectoras, ya que se encuentra en el equipo.

**Desventajas**

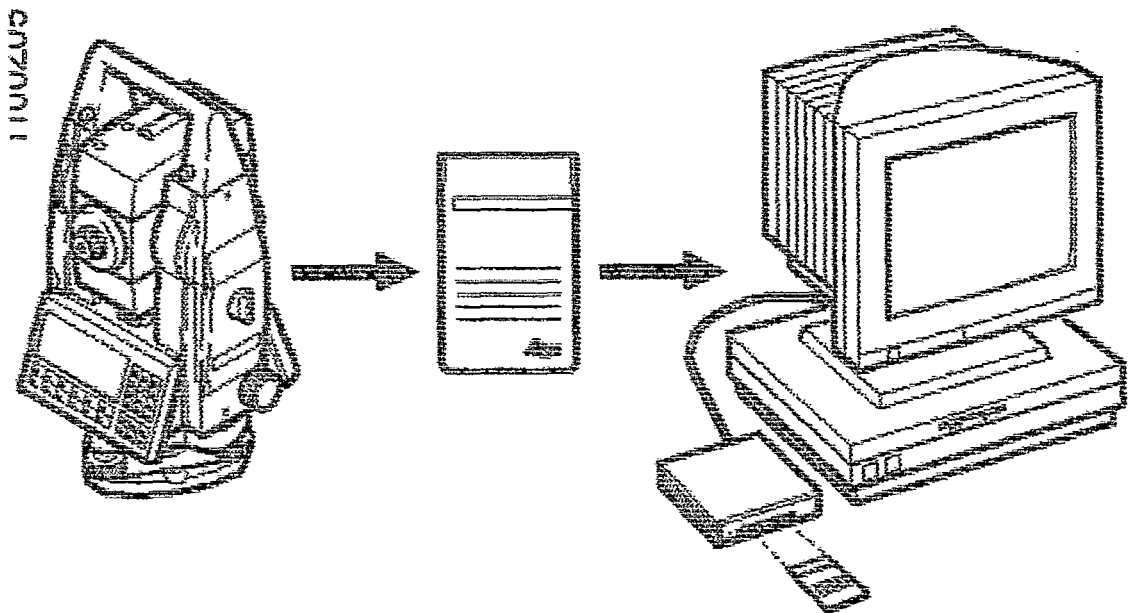
- Para realizar la transferencia de datos a la PC, es necesario llevar al Estación total. Esto puede resultar un problema cuando ambos equipos se encuentran distantes.
- Generalmente vienen con una capacidad de memoria fija, es decir no se permite ampliar la memoria para poder almacenar mas puntos.

**- Las que se pueden retirar del equipo**

Si bien durante el trabajo de campo, la colectoras se encuentra en la Estación total, es posible desmontar el módulo de memoria de la colectoras, de modo que la comunicación de datos entre la colectoras y la computadora no requiera de la presencia de la Estación

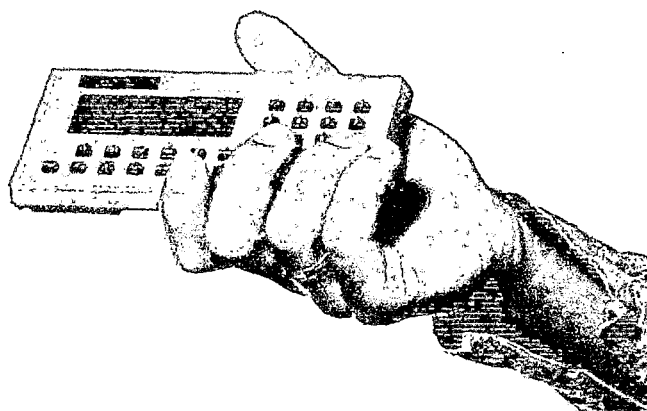
total. En nuestro medio existen 2 sistemas: el sistema PCMCIA y el de conexión por cable.

En el caso del PCMCIA, los datos son almacenados por archivos en una tarjeta de memoria de dicho sistema. Tanto en la Estación total como en la computadora, se permite leer, guardar, editar y borrar datos en dicha tarjeta. Así por ejemplo, si se toman datos con la Estación total que internamente tiene una tarjeta PCMCIA, esta puede ser retirada e introducida a la lectora de tarjetas PCMCIA de la computadora. En el gráfico se observa dicha secuencia.



En el otro caso, los módulos de memoria desmontables de la Estación total, pueden conectarse mediante cable con la computadora para la comunicación de datos entre ambos equipos. Un ejemplo típico de este sistema es la colectoras de Geodimeter, que tiene un teclado desmontable el cual es la colectoras del equipo, en los últimos modelos dicha colectoras que trabaja con el software GeoWin que además permite usarse como colectoras del GPS.

En el gráfico se muestra el la geodimeter y se observa como se ha desmontado su teclado.



## 4.6 Programas

### -Consideraciones generales

Toda Estación total requiere de programas que permitan el funcionamiento propio del equipo y trabajar con las mediciones hechas. En esta sección se tratará sólo de los programas que trabajan con las mediciones hechas, ya que el otro grupo de programas corresponde a la electrónica del equipo y escapa a los objetivos de éste trabajo.

Dichos programas se pueden agrupar en:

- a- Programas de configuración
- b- Programas de mediciones
- c- Programas de manejo de base de datos
- d- Programas de transferencia de datos
- e- Programas de levantamiento y replanteo
- f- Funciones especiales

A continuación se explica en que consiste cada tipo de programas:

#### 4.6.a.-Programas de configuración

Estos programas permiten configurar el sistema de acuerdo a los requerimientos del usuario. Así deberemos indicar en que unidades vamos a trabajar (si en metros o pies, ángulos sexagesimales o centesimales, etc.). Que tipo de medición, precisión y parámetros de corrección considerar para la medición las distancias (temperatura, presión, reducción al horizonte, etc.). Si los ángulos son en sentido horario o antihorario y si su posición del cero vertical. Que correcciones se deben hacer a las mediciones angulares (colimación e índice) antes de que estas sean mostradas en la pantalla. Que tipo de señal utilizar por defecto (láser o infrarrojo). Tiempo que ha de permanecer encendido el equipo luego de su última utilización, parámetros de transferencia de datos con accesorios externos, etc.

Es conveniente indicar que el acceso a estos programas depende del equipo utilizado. Así en unas estaciones, su acceso es sencillo ya que es una opción mas del menú



principal. Mientras en otras el acceso es restringido y requiere de una clave (previamente indicada por el usuario) o de una combinación de teclas, esta seguridad es con la finalidad de evitar que topógrafos poco experimentados cambien la configuración del equipo.

#### **4.6.b Programas de mediciones**

Estos programas se encargan de ordenar a la Estación que se realicen las mediciones de distancias con el teodolito y distanciómetro respectivamente, de acuerdo al tipo de medición escogido en configuración. Luego estos programas realizan las correcciones necesarias a los datos medidos de acuerdo a lo solicitado en configuración para finalmente guardarlos en la memoria temporal de la estación y mostrarlos en la pantalla.

#### **4.6.c Programas de manejo de base de datos**

Son programa que permiten manejar la base de datos de la colectora.

Permiten el ingreso de datos a la base desde el teclado, computadora o de la memoria temporal de la Estación total donde se encuentran las últimas mediciones realizadas. También permiten que estos datos almacenados en la base de datos puedan ser transferidos a un dispositivo externo.

Hay equipos que permiten almacenar los datos por archivos, de modo que los datos almacenados en un archivo son totalmente independientes de datos de otros archivos, de esta forma se permite almacenar diferentes trabajos de manera fácil y segura.

Es posible borrar los datos almacenados, pero generalmente no es posible modificarlos, ordenarlos o copiarlos a otros archivos. Por ejemplo, si queremos modificar los datos de una medición, es mejor borrarla de la base de datos y volver a almacenar los nuevos valores.

#### 4.6.d Programas de transferencia de datos

Toda Estación total que se adquiere, necesariamente viene con un software a instalar en la computadora con la finalidad de realizar la comunicación entre la Estación y el computadora.

Dicha comunicación permite:

- 1.-La transferencia de datos almacenados en la base de datos de la colectora a la computadora y viceversa.
- 2.- Transferencia de programas a la Estación total.

##### d.1.- Transferencia de datos

Los datos almacenados en la Estación total se encuentran almacenados en formatos especiales cuya finalidad es economizar memoria. Así, durante la transferencia de datos, posiblemente vamos a encontrar que los datos transferidos a la computadora, se encuentran en este tipo de formato especial. Como se muestra en el ejemplo siguiente:

*Por ejemplo un extracto de un archivo de mediciones transferido de la Colectora de la Estación total TOPCON, muestra lo siguiente:*

```
'TANQUE_(PTO_)1.590
+RESIDENCIA_?+00234812m3523815+1405734d+00232877t60+50+02102_*E_,1.500
+190_?+00004721m3592139+3373414d+00004721t60+50+02107_*TANQUE_,1.500
+191_?+00009931m3594110+0421026d+00009931t60+50+02096_*TANQUE_,1.500
+192_?+00008299m3593826+0935716d+00008299t60+50+02103_*TANQUE_,1.500
```

*Donde cada punto tomado se encuentra por fila y sus datos se encuentran en un formato que economiza memoria. Así en la fila 2, el punto medido se llama RESIDENCIA, el valor mostrado 00234812m es 234.812 mts. el valor 3523815 es el ángulo 352° 28'15". etc.*

De igual modo para transferir datos de la computadora a la Colectora de la Estación total, será necesario que los datos se encuentren en un formato especial, el cual pueda ser leído desde la Estación. *Así por ejemplo, el formato de transferencia de datos en la Estación Leica, es el GSI. De modo que si tenemos un archivo ASCII de coordenadas*

*filas y columnas, será necesario convertirlo a formato GSI para entonces recién poder transferir los datos.*

Existen programas de transferencia que además de transferir datos de acuerdo a su formato especial, permite transferir datos en otros formatos como: Archivo ASCII de filas y columnas, DXF como puntos de AutoCad, tanto de la Estación total a la computadora como visceversa.

Respecto a la transferencia propiamente dicha, unos programas de transferencia solicitan preparar la Colectora de la Estación total y la computadora; en otros solo solicitan preparar la computadora.

*Por ejemplo si deseamos transferir datos de una Estación total Leica con colectora interna que no se puede retirar del equipo (por ejemplo la de la serie TPS-300) mediante el programa Leica Survey Office, entonces bastará con preparar solo la computadora. Es decir, basta con que la Estación total esté conectada a la computadora y no se necesita prenderla ni presionar ninguna tecla ya que todo el proceso la realiza desde la computadora con el Leica Survey Office. Luego para la transferencia de archivos entre los 2 equipos, se usa las herramientas OLE (copiar y pegar) del Windows.*

#### d.2.- Transferencia de programas

Estos programas permiten transferir el firmware, programas de aplicación o un idioma del sistema, desde la computadora a la Estación total.

Mediante transferir el firmware, podemos actualizar con nuevas versiones los programas que dispone la Estación total. Así por ejemplo, podemos actualizar los programas de levantamiento con nuevas opciones que hagan mas versátil el trabajo.

Transferir programas de aplicación, nos servirá para ingresar, a la Estación total , nuevos programas aplicativos que ésta no disponía. Por ejemplo, si nuestra Estación total no disponía de un programa de replanteo de caminos, podemos crear o comprar el programa que nos permita realizar esto y transferirlo a la Estación total.

Transferir un idioma al sistema, nos servirá para tener la posibilidad de trabajar con el idioma que usa el operador del equipo, en caso este idioma no esté instalado previamente en dicho equipo.

El firmware actualizado, los programas de aplicación y el idioma del sistema, son archivos que se pueden obtener mediante la empresa que vende los equipos. Sin embargo también es posible bajarlos mediante Internet al disco duro de la computadora, para luego realizar la transferencia a la Estación total.

#### **4.6.e- Programas de levantamiento y replanteo**

Aquí se agrupan los programas que solicitan de manera secuencial , lo siguiente:

- Información sobre la estación donde se encuentra el equipo.
- Información sobre su orientación
- Mediciones de ángulos y distancias con la finalidad de almacenar las posiciones relativas de dichos puntos (levantamiento) o determinar posiciones de los puntos en el terreno (replanteo).

Estos programas trabajan almacenando o recuperando datos desde la base de datos de la colectora.

Se clasifican en:

- e.1) Levantamiento con ángulos y distancias
- e.2) Levantamiento con coordenadas
- e.3) Replanteo de puntos

A continuación se detalla cada uno:

### e.1) Levantamiento con ángulos y distancias

En este caso, los datos almacenados en la base de datos son mediciones de ángulos y distancias, tal como se realizan los trabajos de topografía clásica.

Durante el trabajo de campo solicitará la siguiente información:

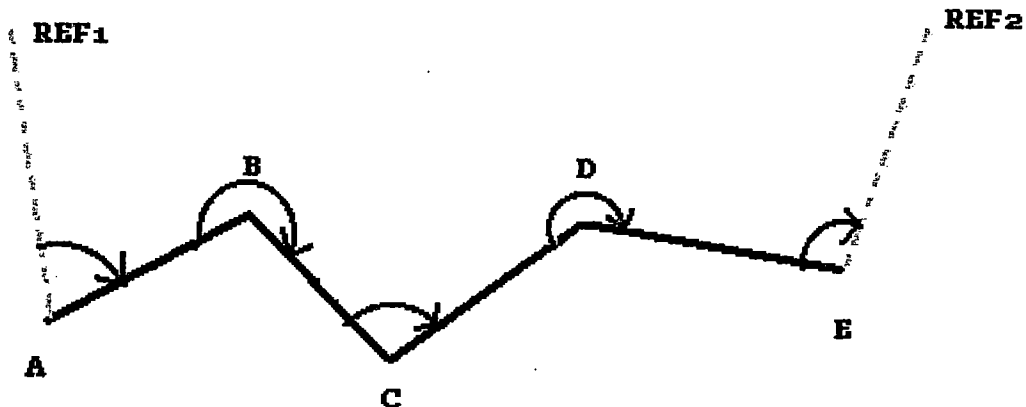
- En información de la estación, solicita el nombre del punto, su descripción y altura del instrumento.

- En información sobre su orientación, solicita visar con el anteojo a dicha dirección y pide el nombre del punto, su descripción y la medición del ángulo horizontal (opcional su distancia). No es necesario colocar el cero horizontal en una dirección dada, ya que basta con medir cualquier ángulo, entonces todos los ángulos que se midan en otras direcciones estarán referenciadas respecto al ángulo de la orientación.

-En mediciones, mide los ángulos y distancias hacia otros puntos de donde es necesario tener: el nombre del punto, una descripción y altura del prisma.

Este tipo de levantamiento es más sencillo de realizar que el levantamiento por coordenadas, ya que no se necesita saber - durante el trabajo de campo – ni las coordenadas de los puntos de estación, ni los azimutes de las orientaciones, ya que esta información recién es usada durante el trabajo de gabinete para los cálculos respectivos.

*Usemos como ejemplo la Estación total TOPCON para el levantamiento con ángulos y distancias y el programa TOPOGRAPH para los cálculos. A continuación se muestra el croquis en planta de la siguiente poligonal:*



La estación de partida es el punto A y estación de llegada es el punto E., de la poligonal A-B-C-D-E, se han almacenado los siguiente ángulos y distancias:

#### DATOS MEDIDOS

Ángulos horizontales en las direcciones	Distancias
A - REF1	
A - B	A-B
B - A	B-A
B - C	B-C
C - B	C-B
C - D	C-D
D - E	D-E
E - D	E-D
E - REF2	

Las distancias medidas 2 veces servirán para promediarlas y los ángulos leídos en cada dirección servirán para calcular los ángulos a la derecha, desde el Topograph.

Para que le TOPOGRAPH inicie los cálculos de la poligonal,, será necesario indicarle

- *Coordenadas del punto de partida ( Punto A)*
- *Azimut de su referencia (azimut de A- REF1) o las coordenadas de dicha referencia (coordenadas de REF1).*

*Además si:*

- *Se conoce el azimut de la referencia de llegada (azimut de E-REF2) o las coordenadas de dicha referencia (coordenadas de REF2), el programa calculará el error de cierre angular y lo compensará si cumple con las especificaciones requeridas. En caso no se tenga este dato, entonces el programa no podrá calcular el error de cierre angular.*
- *Se conoce las coordenadas del punto de llegada (coordenadas del punto E), el programa calculará el error de cierre lineal y lo compensará si cumple con lo requerido. De igual manera, si no se conoce este dato, el programa no podrá determinar el error lineal.*

*Realizando o no las compensaciones respectivas de acuerdo a lo especificado, el programa calculará las coordenadas de la poligonal.*

*Así digamos, si se conoce las coordenadas del punto de partida y las coordenadas del punto de llegada, además se conoce un azimut del punto de partida mas no así un azimut de punto de llegada. Entonces el programa calculará los azimutes de todos los lados sin haber compensado los ángulos. Luego con los azimutes y las distancias medidas calculará las proyecciones en X ( Este) e Y ( Norte) de los lados, para luego calcular el error de cierre lineal. Comparará este error con lo máximo especificado por el usuario, si cumple entonces compensará los valores de las proyecciones y finalmente calculará las coordenadas de la poligonal. Una vez conocidas estas coordenadas, el programa podrá calcular las coordenadas de los puntos de relleno.*

## e.2) Levantamiento con coordenadas

En este caso, los datos almacenados en la base de datos son las coordenadas rectangulares de los puntos, los cuales son calculados si durante el trabajo de campo se tiene la siguiente información:

-En información de la estación, además de solicitar el nombre del punto, su descripción y altura del instrumento, también es necesario que se tenga las coordenadas de dicho punto. Generalmente las coordenadas de la estación ya se encuentran almacenadas en la colectora, de modo que cuando el usuario indica que se encuentra estacionado en un punto dado, la estación busca las coordenadas de dicho punto en su base de datos.

- En información sobre su orientación, solicita visar con el anteojo a dicha dirección y se requiere tener o las coordenadas de un punto en la dirección de orientación o en caso contrario el azimut de dicha dirección.

-En mediciones hacia los puntos, esta se realiza igual que en el levantamiento de ángulos y distancias, solo que en este caso la Estación total calcula automáticamente las coordenadas de los puntos medidos (Norte, Este, Cota).

## e.3).- Replanteo de puntos

Esta opción permite replantear puntos, con una precisión previamente definida por el usuario. A continuación se va a explicar el procedimiento de replanteo de puntos cuyas coordenadas son conocidas.:



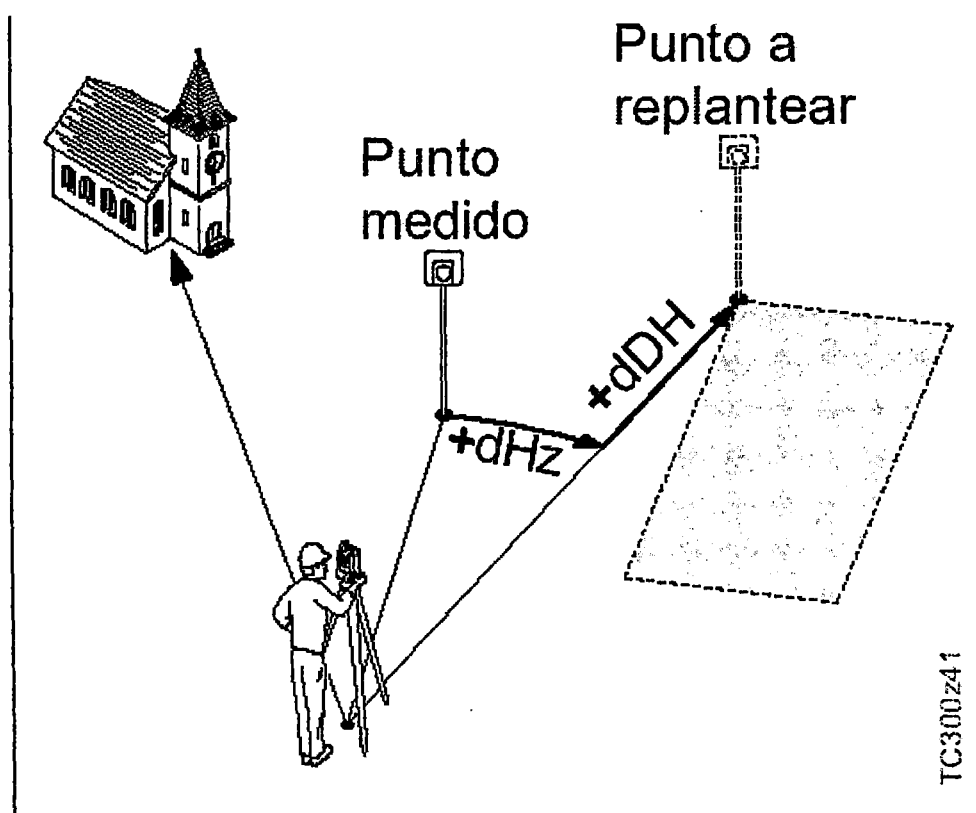
## Datos previos al replanteo

- Las coordenadas de los puntos donde ha de colocarse la Estación total, las coordenadas de los puntos a replantear y en caso sea necesario también se deberá conocer las coordenadas de los puntos que nos servirán de orientación.

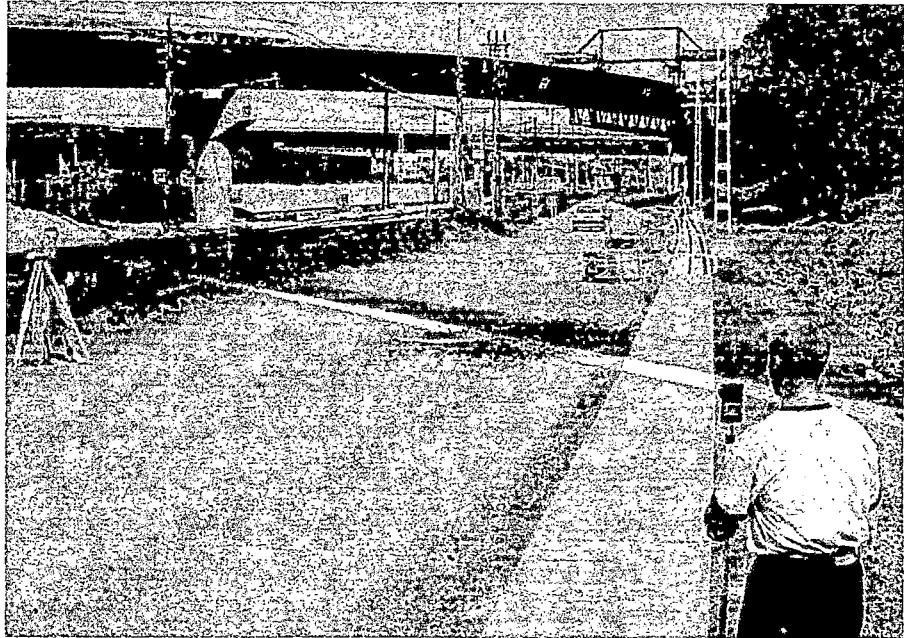
## Trabajo de campo

- Estacionar el equipo sobre un punto de coordenadas conocidas e indicar su altura del instrumento.
- Orientarse respecto a una dirección cuyo azimut es conocido (el valor de dicho azimut puede ser ingresado o calculado por el equipo si es que se tienen las coordenadas de un punto en la dirección en la cual se está orientando).
- Indicar a la estación el punto a replantear y su altura del prisma.
- Entonces la estación total indicará que ángulo girar para encontrar la dirección donde se encuentra el punto a replantear y también mostrará la distancia que se encuentra dicho punto desde la Estación total. Luego, si colocamos el prisma en un punto que no es el correcto - como se muestra en el gráfico- la estación indicará que ángulo girar (dHz) hasta estar en la dirección de punto a replantear , una vez girado el anteojo a dicha dirección y colocado el prisma en un punto de la dirección dada, se realiza la medición , entonces la estación indicará que distancia (dDH) deberá recorrerse (desde donde se encuentra el prisma) hacia el punto a replantear. Habrá que mover el prisma hasta conseguir que estos valores dHz dDH sean ceros. Si el replanteo es de un punto en 3D, indicará cuanto subir el prisma o cuanto bajar hasta llegar al punto cuya cota es la requerida.

Nota: Es conveniente indicar que esta no es la única manera de replantear ya que también es posible replantear un punto con coordenadas cartesianas u otro sistema, sin embargo el método explicado anteriormente es el más común y es el que disponen todos los modelos de Estaciones totales.



Existen equipos que tienen envían luces señaladoras de 2 colores con la finalidad que cuando el prisma se coloque en medio de ambas luces entonces quiere decir que está en la dirección del eje óptico del anteojo de la Estación total, con lo que disminuye considerablemente el tiempo que se demora en replantar puntos.



Esta función replanteo tiene múltiples variantes, por ejemplo replanteo de ejes en edificaciones en la que a la estación los datos que se ingresan son las distancias entre los ejes de modo que ya no es necesario calcular las coordenadas de las intersecciones de los ejes que deseamos replantear. Otra variante es el replanteo de caminos, así por ejemplo se puede replantear puntos en curvas, con solo indicar las propiedades geométricas de la curva, colocando la Estación total sobre un punto notable de dicha curva y definiendo una orientación. Existen muchas otras variantes mas dependiendo del equipo utilizado, sin embargo replantear puntos cuyas coordenadas son conocidas es, a mi entender, la forma mas versátil de replanteo ya que se ajusta a todo tipo de trabajos y además cuando se realiza un proyecto en una herramienta CAD, es común que éste se encuentre en coordenadas cartesianas.

#### **4.6.f.- Funciones especiales**

Se llaman funciones especiales a aquellos programas que permiten solucionar in situ, problemas específicos presentados durante el trabajo de campo.

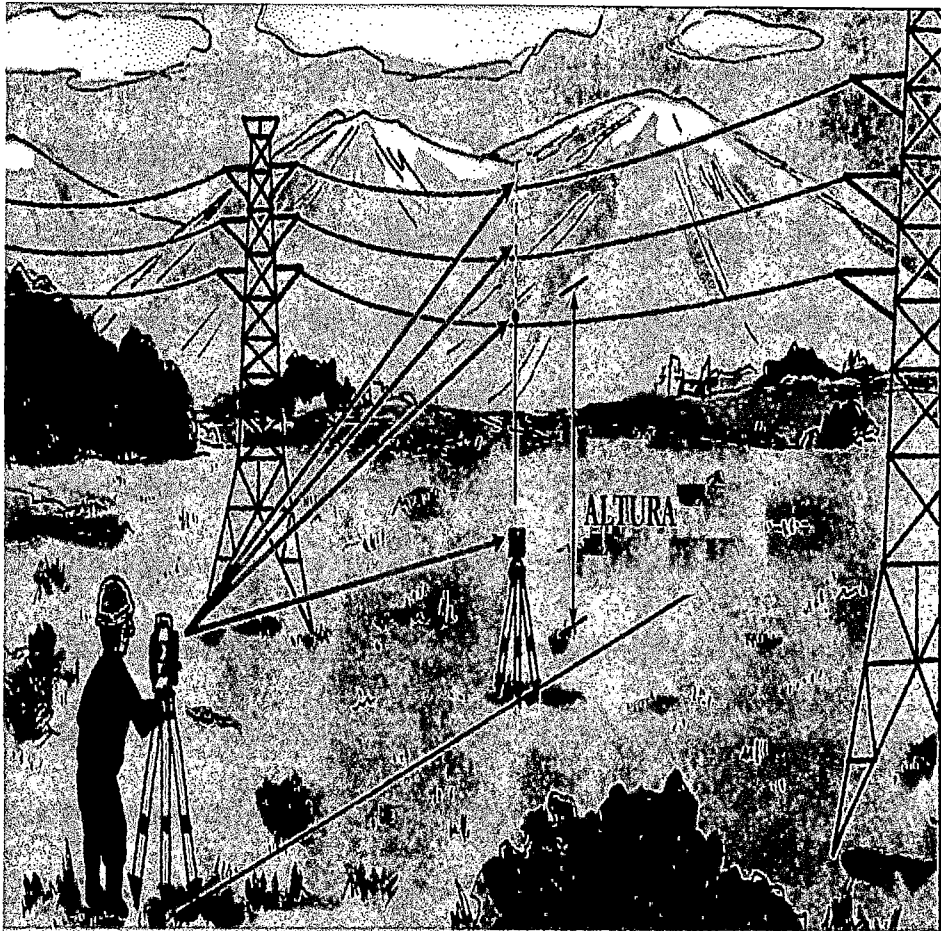
A continuación se detallan las funciones especiales básicas. En conveniente indicar que en todos los casos descritos, para efectos de explicación se está asumiendo: que cuando se realicen mediciones de distancias esta se va a realizar con prisma; sin embargo , como se sabe, si las distancias son cortas y la medición es con láser, entonces no requiere prisma.

##### **f.1) Altura remota**

Es posible conocer la altura de un punto sin necesidad de colocar el prisma sobre dicho punto, para esto las Estaciones totales tienen la función de altura remota. A los puntos en donde no se colocará el prisma se les llama puntos remotos. Esta función consiste en:

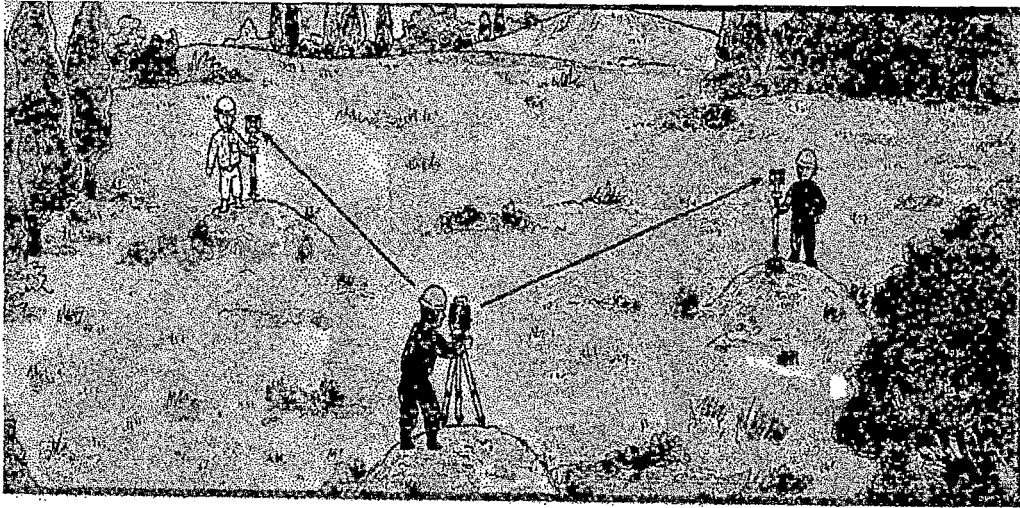
- Colocar el prisma en la vertical del (o los) punto(s) cuya altura se desea determinar, con la Estación total.
- Con la Estación total medir hacia el prisma.
- Luego cuando movamos el antejo verticalmente hacia los puntos remotos, la Estación total indicará la altura de dichos puntos. En el gráfico se muestra la utilización de altura remota para determinar la altura de los cables de alta tensión. La altura obtenida puede ser desde el piso o desde el prisma, dependiendo si se ingresó o no al altura del prisma.

Existen Estaciones totales que permiten almacenar las mediciones hechas al punto remoto, o sea estamos en el caso de medición excéntrica. Para lo cual, además de lo indicado anteriormente, es necesario tener datos de la estación y de su orientación.



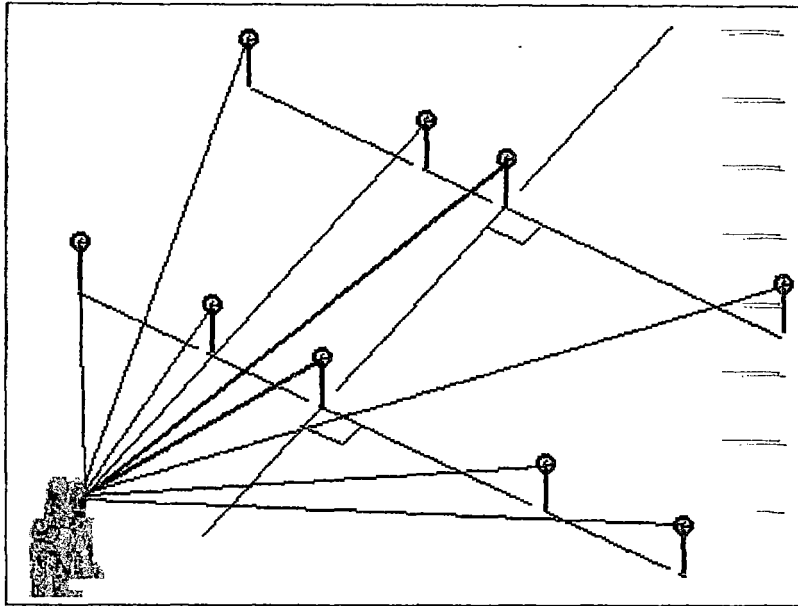
## f.2) Medición entre puntos

Existe una función que permite medir la distancia entre 2 puntos, sin necesidad de colocar la Estación total en uno de los puntos. Para esto, basta con colocar la Estación total fuera de los 2 puntos a medir, colocar el prisma en uno de los puntos y medirlo desde la estación, luego colocar dicho prisma en el otro punto y medirlo. El equipo mostrará en la pantalla la distancia horizontal y vertical entre ambos puntos .



Si se desea medir varias distancias, esta función dispone de 2 opciones: Radial y Contínua. **Radial** consiste en que las distancias a todos los puntos medidos, estarán referenciadas al primer punto que se midió. Mientras que Contínua muestra las distancias del último punto medido respecto al anterior.

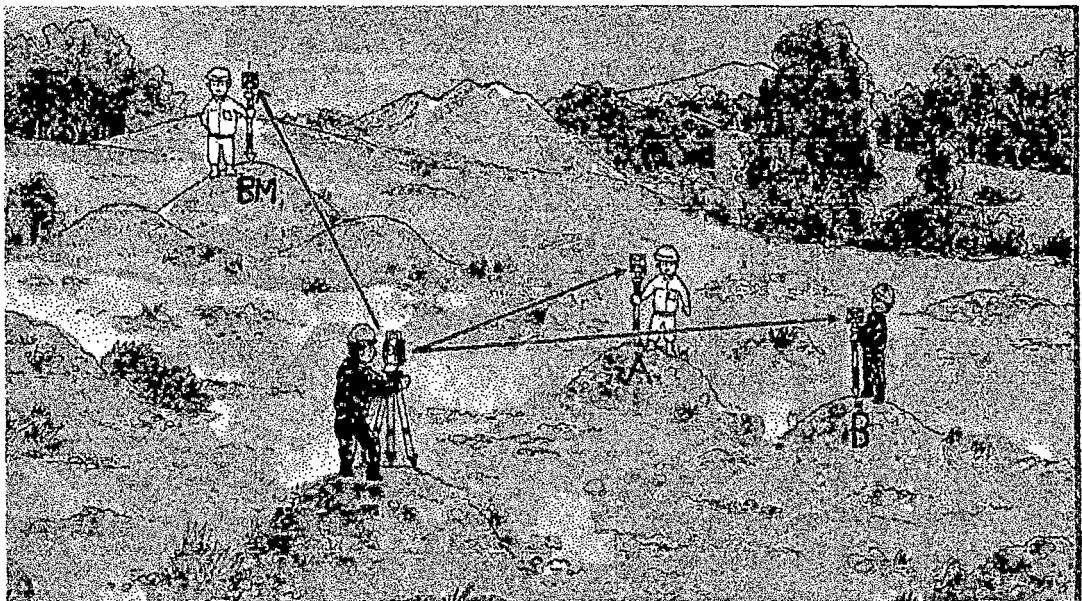
Un ejemplo de este tipo de trabajos es el levantamiento de secciones transversales a lo largo de un eje, algo que anteriormente se realizaba con eclímetro, ahora resulta mas exacto y sencillo realizarlo con Estación Total. Para esto bastará con escoger la opción Radial, y como primer punto a aquel que se encuentre en el eje y cuando se midan los siguientes puntos a lo largo de la perpendicular al eje, el equipo mostrará las distancias horizontal y vertical respecto al primer punto. Así repitiendo esta función las veces que sean necesarias, podemos realizara el levantamiento de varias secciones, sin necesidad de cambiar de estación. *Así por ejemplo en la figura mostrada a continuación, se observa que colocada la Estación total sobre un punto cualquiera, se puede realizar el levantamiento a 1, 2 o más secciones transversales. Para una mejor visualización, la línea más gruesa indica la primera medición de cada procedimiento, de modo que todas las distancias medidas en cada sección tranversal, serán indicadas respecto a esta primera medición.*



### f.3) Nivelación

Teniendo la cota conocida de un punto, es posible determinar las cotas de los otros puntos, siempre que la altura del prisma sea la misma.

Por ejemplo con el gráfico se va a explicar el procedimiento en el campo:



- Se estaciona la Estación total en un sitio donde sean visibles: el punto de cota conocida (BM) y los puntos a nivelar (A y B).
- Se indica a la estación la cota del punto BM, y se mide hacia el prisma que se encuentra sobre dicho punto.
- Se mide hacia el prisma que se encuentra sobre el punto cuya cota se desea determinar (punto A ).
- La Estación total indicará la cota del punto que se está midiendo.
- Se coloca el prisma sobre otro punto cuya cota se desea determinar (punto B) y se procede como lo indicado anteriormente. Así se repite este procedimiento para todos los puntos cuyas cotas se desean saber.

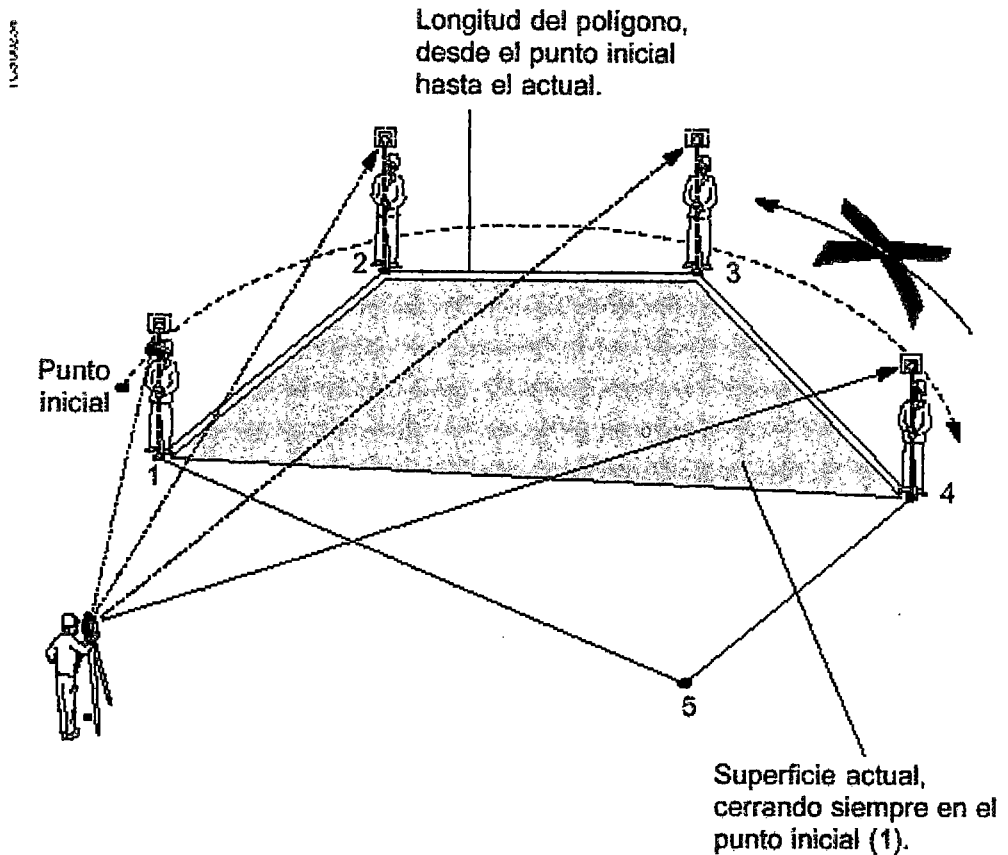
La precisión obtenida con esta nivelación depende obviamente del grado de pulcritud con que se realice el trabajo y de la distancia hacia los prismas. Así por ejemplo, se conseguirá mejor precisión con prismas que se encuentren sobre trípodes que sobre bastones. En todo caso la máxima precisión a obtener en nivelación con Estación total está alrededor de  $0.02(K)^{1/2}$  {donde K es distancia nivelada en kms. y el resultado está en mts.}, que es la que corresponde a una nivelación geométrica ordinaria. Osea una nivelación precisa o de alta precisión, como las que se requiere en canales o para ubicar puntos B.M. es preferible no usar la Estación total

#### f.4) Cálculo de área

Mediante este programa se puede determinar el área de un polígono, para esto es necesario realizar mediciones con la Estación total a cada uno de los vértices del polígono, la secuencia de toma de dichos vértices debe ser en un solo sentido y en forma correlativa, no es necesario volver a tomar el punto inicial para cerrar el polígono ya que el programa asume que el último lado del polígono es aquel que tiene como vértices el primer y el último punto tomado.



En el ejemplo gráfico, se inicia las mediciones con el punto 1, luego en sentido horario se toman los demás puntos hasta el punto 4. El área calculada será la encerrada por los vértices 1-2-3-4. Si se hubiese tomado un punto mas como el punto5, el área calculada sería la encerrada por los vértices 1-2-3-4-5.



#### f.5.- Medición excéntrica

Esta función se usa cuando las mediciones a un punto dado no se realizan directamente sobre éste, sino que las mediciones a este punto se calculan conociendo las mediciones hacia otro(s) punto(s) llamado(s) punto(s) excéntrico(s) que de alguna manera tenga(n) relación con el punto en mención.

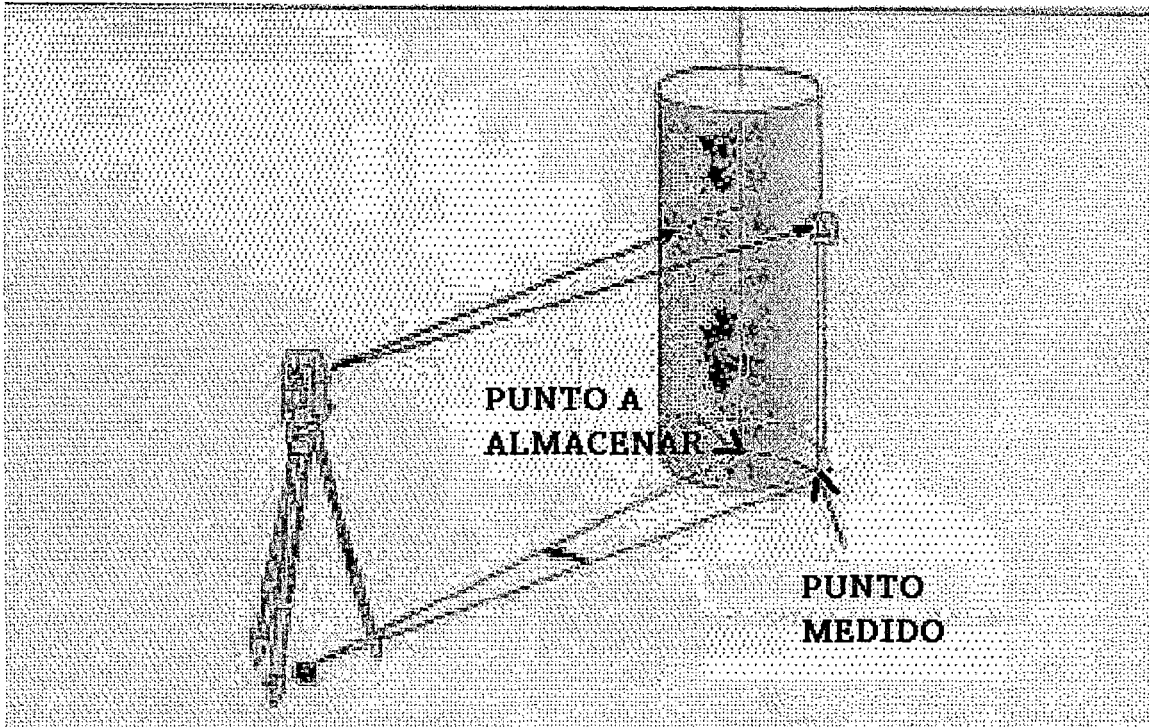
Existen 3 métodos para la medición excéntrica:

- Excéntrica de ángulo
- Excéntrica de distancia
- Excéntrica de plano

- Excéntrica de ángulo

Es el método más usado en los trabajos de campo, y es el que disponen todas las Estaciones totales modernas.

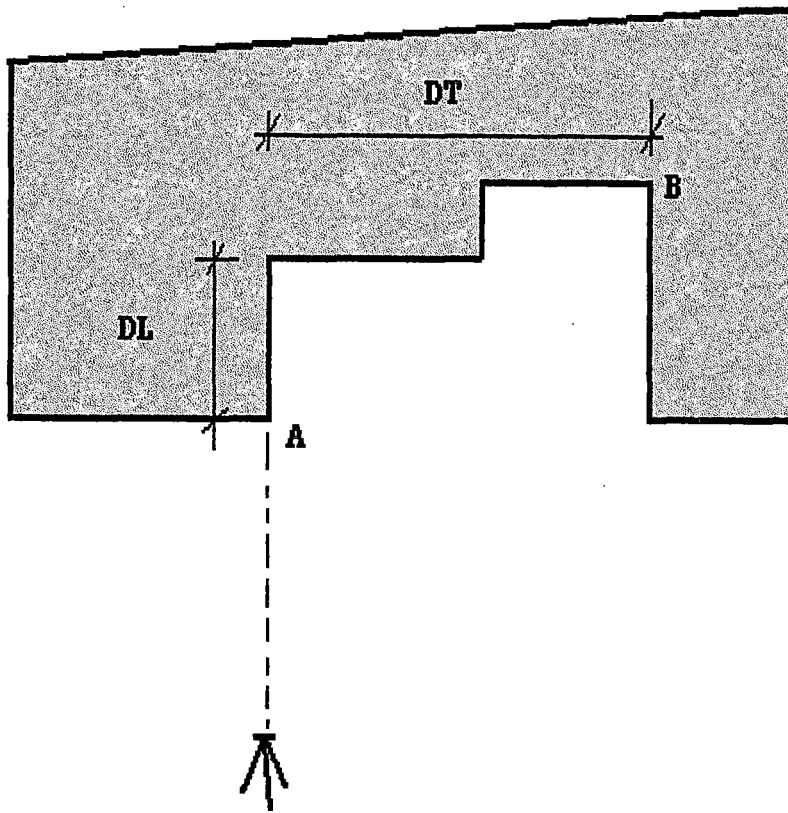
Mediante el ejemplo mostrado en el gráfico siguiente se va a explicar este método. Se desea realizar las mediciones el centro del poste, pero como se observa en el gráfico este punto es inaccesible ya que el mismo poste no permite ver su centro. Entonces se realiza una medición hacia otro punto (llamado punto excéntrico) el cual se encuentra a la misma distancia de la estación que el punto inaccesible, luego se gira horizontal el anteojo hasta colocarlo en la dirección del punto inaccesible. Al almacenar los datos de las mediciones, en ángulos se almacenará los ángulos mostrados en la dirección del punto inaccesible, mientras que la distancia guardada es la de hacia el punto excéntrico que es la misma distancia que si se hubiese medido directo al centro del poste. En caso se esté trabajando con coordenadas, se almacenarán las coordenadas del punto inaccesible.



#### -Excéntrica de distancia

Otro método de medición excéntrica es mediante distancias, en el que se debe conocer las distancias (longitudinal y transversal) del punto excéntrico al punto "P" cuya posición se desea calcular. Se ingresan dichas distancias a la Estación total, se mide hacia el punto excéntrico, y el programa calculará los datos de la posición del punto "P" (ángulos y distancias en el caso de coordenadas polares o Coordenadas Norte, Este, Cota en caso de coordenadas rectangulares).

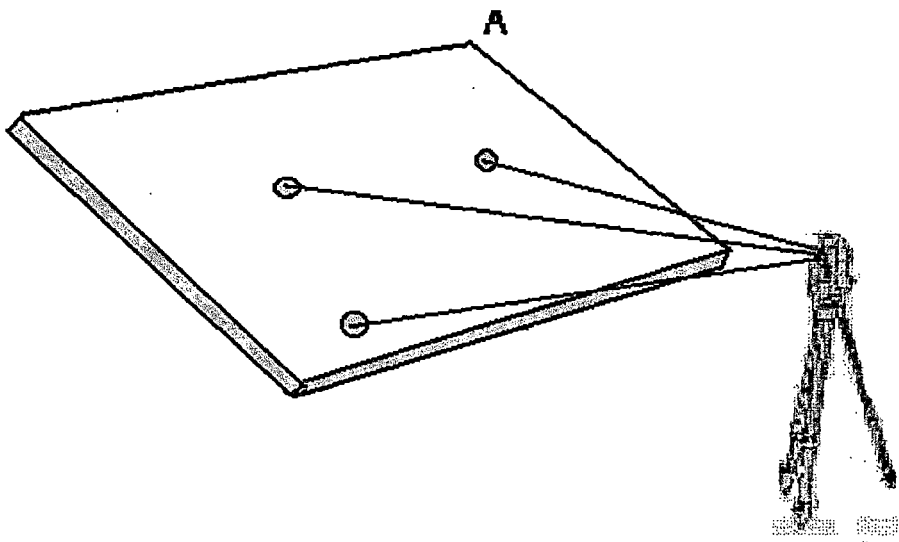
*Por ejemplo en el croquis en planta mostrado a continuación, la Estación total mide hacia el prisma que se encuentra en el punto A, pero almacena los datos como si hubiese sido medido el punto B, ya que en medición excéntrica de distancia previamente se ingresó los valores DL y DT.*



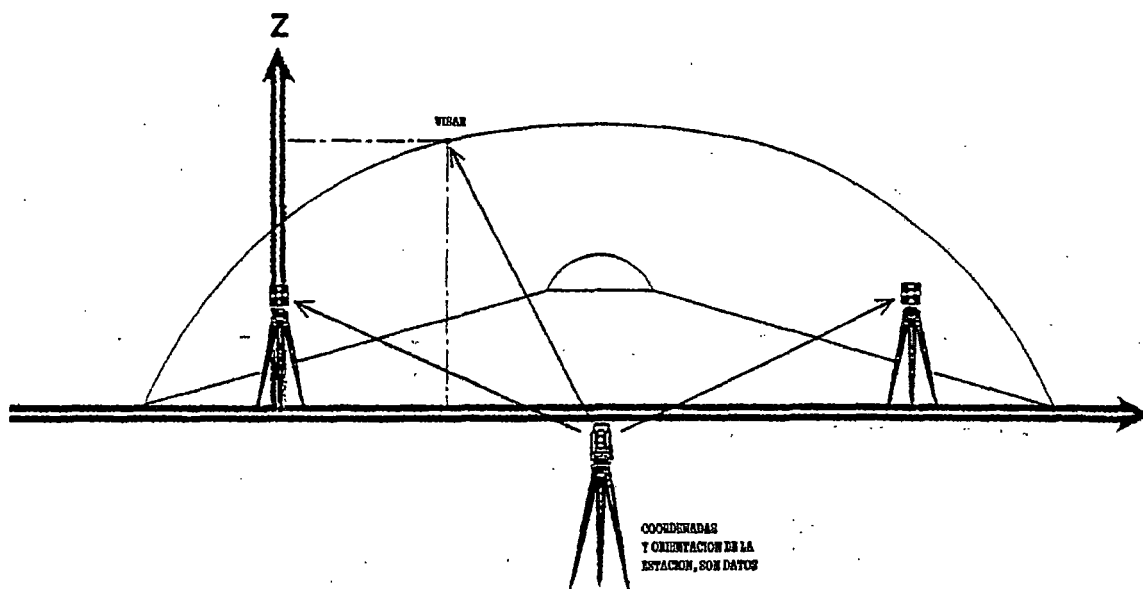
**- Excéntrica de plano**

En este caso se realizan mediciones a 3 puntos no colineales que se encuentran sobre un plano, entonces luego cuando vise en otra dirección la Estación total calculará la posición del punto que resulta de la intersección de la dirección visada y el plano formado por los 3 puntos medidos anteriormente.

*Así en el gráfico mostrado, la Estación total midió a 3 puntos sobre un plano inclinado, luego cuando vise hacia el punto A, el equipo indicara su posición en ángulo y distancia o en coordenadas, de acuerdo a como se esté realizando las mediciones.*



Existen múltiples variantes a las mediciones excéntricas, dependiendo del equipo que se está utilizando.. Así por ejemplo una variante de la medición excéntrica de plano es la que la GEODIMETER la llama “Medición de secciones transversales en 3D”, en la que no se solicita 3 puntos del plano, sino sólo 2 puntos ya que el plano que se define es siempre vertical, el programa calculará las coordenadas de cualquier punto visado sobre dicho plano, como se observa en la figura



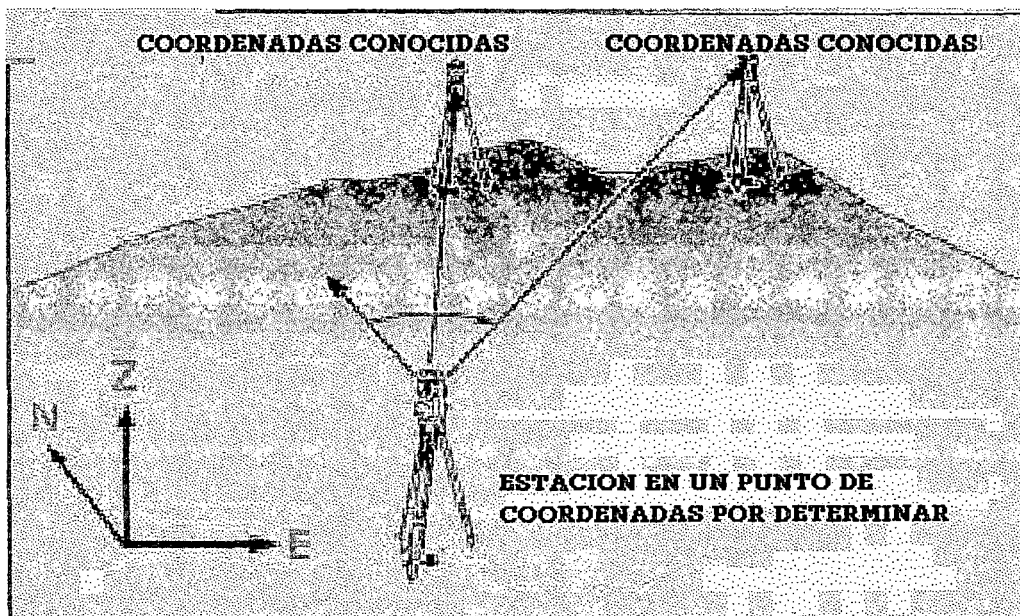
## f.6.- Resección

Esta función consiste en estacionarse en un punto de coordenadas desconocidas con la finalidad que el programa calcule dichos valores basándose en mediciones hechas a puntos cuyas coordenadas son conocidas.

Dependiendo del método utilizado, los puntos datos de coordenadas conocidas pueden ser:

- 2 puntos
- 3 puntos
- "n" puntos

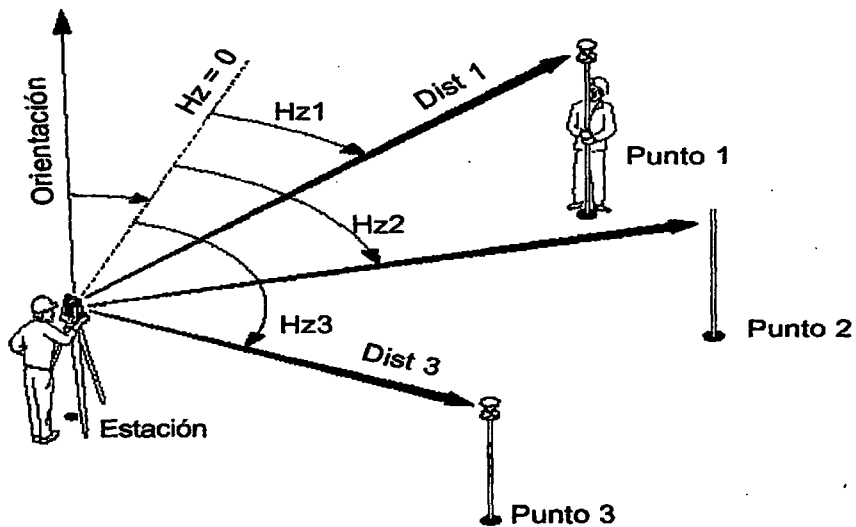
Si tenemos 2 puntos de coordenadas conocidas habrá que hacer las mediciones de ángulos y distancias desde la estación hacia dichos puntos. El programa calcula las coordenadas de la estación.



Si son 3 los puntos de coordenadas conocidas, bastará con que desde la Estación total se midan los ángulos en las direcciones de los 3 puntos. El programa calculará las coordenadas del punto en estación.

Si son mas de 3 los puntos de coordenadas conocidas, entonces existen datos redundante. Para resolver este problema, se usan 2 técnicas: Por promedios y el de mínimos cuadrados. Por promedios, calcula las coordenadas del punto de estación tomando grupos de puntos en los cuales no se tengan datos redundantes (por ejemplo de 2 en 2 puntos sí para dichos puntos se tienen medidos ángulos y distancias), luego promedia las coordenadas calculada en cada caso. Por mínimos cuadrados se trata de conseguir que se tengan las menores correcciones posibles para todos los casos. De ámbos métodos el mas riguroso es el de mínimos cuadrados. El número máximo de puntos a medir depende del equipo utilizado, pero generalmente está alrededor de 9 puntos como máximo.

*En el ejemplo gráfico, se tiene 3 puntos de coordenadas conocidas (Punto 1, 2 y 3), para determinar las coordenadas de la estación, hubiera sido suficiente con medir los ángulos a los 3 puntos, sin embargo en los puntos 1 y 3 además de ángulos se midieron distancias, por lo tanto hay datos redundantes. El programa calculará las coordenadas de la estación, según lo explicado para estos casos.*



#### **.- Ángulo horizontal por repetición**

Con esta función se puede realizar mediciones de ángulos horizontales por repetición, y el programa calcula el promedio y la desviación típica.

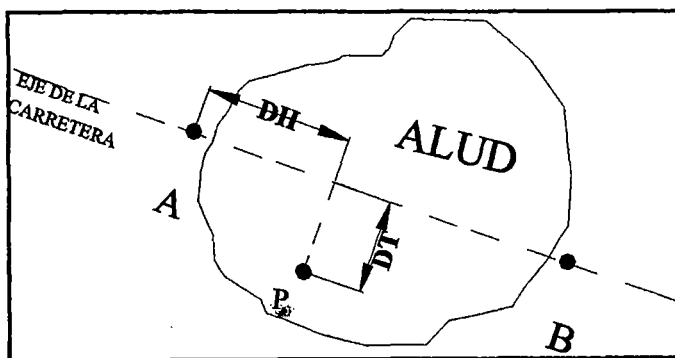
### f8.- Ubicación de puntos a lo largo de un alineamiento

Como se sabe, un alineamiento es definido mediante 2 puntos y su pendiente mediante la dirección de dicho alineamiento. Así, esta función permite ubicar otros puntos a lo largo de dicho alineamiento tanto en posición horizontal como en vertical (la misma pendiente).

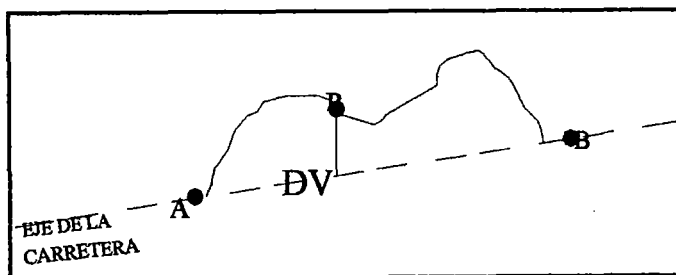
*Por ejemplo se tiene una carretera, sobre la cual ha caído un alud y se desea conocer el espesor de este alud cada 10 mts. a lo largo del eje de la carretera:*

- Usando esta función, primero definimos 2 puntos a lo largo del eje de dicha carretera, digamos puntos A y B. Y realizamos mediciones a los prismas que se encuentran sobre dichos puntos. Con esto el equipo ya tiene definido el alineamiento y su pendiente.
- Colocamos el prisma sobre un punto del alud (digamos el punto P), y medimos. El equipo nos indicará a que distancia horizontal a lo largo del eje nos encontramos de uno de los puntos que definen el alineamiento (DH), así como cuanto delante o detrás estamos de dicho alineamiento (DT), y también a que altura relativa nos encontramos (DV). Así si se desea saber el espesor del alud a 10 mts. del punto A, habrá que mover el prisma hasta que DH sea 10 mts., DT sea 0 mts. y cuando tengamos esto, el valor indicado en DV será el espesor del alud.

PLANTA



ELEVACION

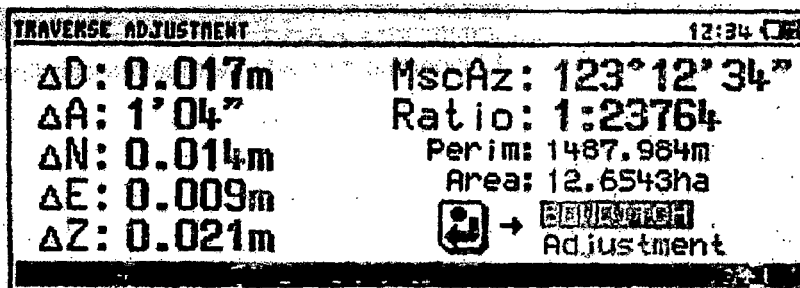
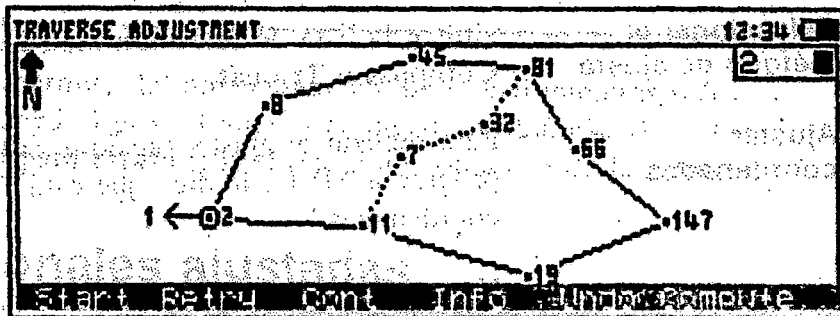




#### 4.6.g.- Programas de cálculo

Las estaciones totales tienen programas que permiten utilizar los datos de los puntos que se encuentran almacenados en la Estación total, para realizar cálculos como: Distancia entre 2 puntos, azimut de una línea que une dos puntos, calcular el área comprendida dentro de unos puntos escogidos, dibujar la poligonal, compensar poligonales, etc.

Por ejemplo, a partir de la serie 700 de la NIKON, sus Estaciones totales compensan poligonales, para lo cual en la pantalla de la colectorora muestra el croquis de la poligonal (gráfico superior), en otra pantalla muestra los errores obtenidos para dicha poligonal, si el usuario considera que están dentro de lo permisible procederá a la compensación.



Por ejemplo, en la pantalla se observa que el error de cierre angular resultó ser 1'40" y el error lineal es de 1:23764

# **CAPÍTULO 5**

## **AUTOMATIZACIÓN EN EL DIBUJO DE PLANOS**

## 5.1- EL PROGRAMA APLICATIVO

Se está llamando Programa aplicativo al programa orientado específicamente para automatizar los trabajos de geomática y vialidad.

Los programas aplicativos se pueden clasificar en 2 grupos:

- a) **Con entorno gráfico propio:** En estos casos el programa aplicativo tiene su propio entorno gráfico de trabajo. Por ejemplo el SURFER, TOPOGRAPH, CARTOMAP, K&BVIAS, etc. La ventaja es que no es necesario comprar otro programa (aparte del Sistema Operativo) para ejecutarlo. La desventaja es que, al no tener todos las computadoras dicho programa aplicativo, a veces resulta difícil transportar archivos gráficos de una computadora a otra, ya que es necesario usar rutinas de exportación con la finalidad de convertir un archivo gráfico del programa aplicativo a un archivo del programa que tenga la otra computadora, pudiendo en algunos casos ser versiones no compatibles o perderse alguna de sus propiedades, así por ejemplo un archivo gráfico en 3D al exportarlo a otro programa se convertirá en un archivo en 2D o simplemente no conseguir dicha exportación.
  
- b) **Con entorno gráfico ajeno:** Las instrucciones del programa aplicativo han sido creadas para usarse en otro programa que posee un entorno gráfico. Generalmente este programa ajeno es el **AutoCad** de Autodesk o el **MicroStation**, que son programas de propósito general para el diseño asistido por computadora. Por ejemplo el **CIVIL/SURVEY, AIDC, TCP-MDT, CivilCAD** trabajan en AutoCad. El **GEOPACK** trabaja en MicroStation. La ventaja de trabajar sobre un entorno gráfico ajeno, es que estos entornos son generalmente muy conocidos y usados por muchas computadoras, por ende existe suficiente apoyo técnico en caso de dudas, además de su

extensa bibliografía. La desventaja es que es necesario adquirir los 2 programas: el de entorno gráfico y el programa aplicativo. En nuestro medio existen mas programas aplicativos para AutoCad que para MicroStation, por lo tanto es conveniente indicar que para dibujos en Cad en MicroStation se pueden conseguir los mismos resultados que los obtenidos en AutoCad, es más, la programación en MicroStation es la más versátil ya que trabaja con Macros, además, al haber sido creadas, muchas de su rutinas del MicroStation, en Java, permite trabajar eficientemente con Internet.

No es intención del presente trabajo, detallar todos los programas aplicativos ya que para eso existen los manuales, sino presentar las características de dichos programas, sus aplicaciones en la vialidad, así como sus limitaciones.

## 5.2 EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO

### *a.-GENERALIDADES*

Un modelo es "una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades"

El modelo reproduce solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que queda representado por otro objeto o sistema de menor complejidad.

Los modelos se construyen para conocer o predecir propiedades del objeto real.

Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica.

La utilidad de los modelos para conocer o predecir está condicionada principalmente por:

- una buena selección de los factores relevantes para el problema
- una adecuada descripción de sus relaciones funcionales

La calidad de un modelo puede valorarse sometiendo una parte de los resultados a una verificación experimental.

El contraste experimental sirve:

- para el control de calidad del modelo y sus resultados
- como mecanismo de realimentación para realizar ajustes

Dado que el modelo representa la realidad con una cantidad menor de información, existe un error inherente al proceso de modelización que puede ser reducido pero no eliminado.

La reducción del error puede hacerse por dos caminos complementarios:

- Mayor precisión en la medida y mejor selección de los componentes: no implica mayor complejidad del modelo.
- Mayor cantidad de componentes - partes e interrelaciones funcionales -: implica una mayor complejidad del modelo.

La eliminación del error implicaría la identificación del modelo con el objeto real; en este sentido, debe buscarse un compromiso entre la complejidad del modelo y el error aceptable en los resultados.

En base a lo indicado, el modelo digital de terreno no es el terreno en sí, sino una representación de éste con las características mas importantes de acuerdo al trabajo requerido.

## b.- CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS

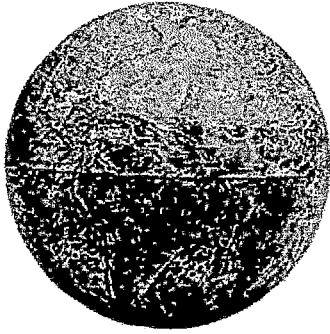
Existen numerosas clasificaciones de los modelos, y se pueden resumir en:

- Modelos icónicos, análogos y simbólicos
- Modelos analógicos vs modelos digitales

## c.- MODELOS ICÓNICOS, ANALÓGICOS Y SIMBÓLICOS

En los **modelos icónicos**, la relación de correspondencia se establece a través de las propiedades morfológicas, habitualmente un cambio de escala con conservación del resto de las propiedades topológicas

Ejemplo: una maqueta, donde se ha establecido una reducción de tamaño conservando las relaciones dimensionales básicas



*En un modelo icónico se conservan las proporciones del objeto real mediante una reducción de escala y una selección de las propiedades representadas*

Los **modelos análogos** se construyen mediante un conjunto de convenciones que sintetizan y codifican propiedades del objeto real para facilitar la "lectura" o interpretación de las mismas.

Ejemplo: la guía de calles de lima, construido mediante un conjunto de convenciones que hacen legibles propiedades tales como las calles principales, distancias, localización física de objetos geográficos, etc

Los **modelos simbólicos** se construyen representando el objeto real mediante una codificación matemática (geométrica, estadística, etc.)

Ejemplo: la representación de un edificio mediante la identificación y codificación en una estructura geométrica de sus elementos básicos

#### d.- MODELOS ANALÓGICOS VS. MODELOS DIGITALES

Los modelos digitales están codificados en cifras; son, por tanto, **modelos simbólicos**.

Los modelos analógicos son modelos físicos, como los ya mencionados de una maqueta como modelo icónico, o un mapa convencional como modelo análogo.

Los modelos digitales presentan algunas propiedades de interés:

- No-ambigüedad: cada elemento del modelo tiene unas propiedades y valores específicos y explícitos
- Verificabilidad: los resultados se construyen mediante pasos explícitos y concretos que pueden ser analizados uno a uno y comprobados en todas las fases del proceso
- Repetibilidad: los resultados no están sometidos, a menos que de diseño expresamente, a factores aleatorios o incontrolados y pueden ser comprobados y replicados las veces que se desee.

#### e.-EL MODELAMIENTO DIGITAL DEL TERRENO

Un MDT, o **modelo digital del terreno** es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Por tanto,

- los MDT son modelos simbólicos
- las relaciones de correspondencia con la realidad se establecen mediante algoritmos
- los MDT son conjuntos de datos con una estructura interna
- esta estructura se refleja en la forma lógica -en el sentido informático- de almacenar y vincular las unidades de información datos entre sí, que debe representar de alguna forma las relaciones espaciales entre los datos
- los MDT representan la distribución espacial de una variable cuantitativa y de distribución continua.

Por tanto, los mapas temáticos no son MDT ni éstos están formados tampoco por entidades lineales o puntuales.

Los mapas son la versión analógica de los MDT y pueden ser denominados, por tanto, modelos analógicos del terreno, MAT. Ambos tipos de modelos se complementan y no es previsible la total sustitución de unos por los otros.



Algunas ventajas importantes de los MDT sobre los MAT son

- la posibilidad de tratamiento numérico de los datos
- la posibilidad de realizar simulación de procesos, emulando el funcionamiento de un sistema dinámico real

Su mayor problema es que el manejo de los MDT es complejo:

- necesita equipos informáticos que obligan a un entrenamiento especializado
- la interpretación de la información es indirecta
- la elaboración de modelos derivados requiere el dominio de lenguajes de programación o la intervención de especialistas.

El término *digital terrain model* se originó en el Laboratorio de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachussetts en la década de los años 50.

En el trabajo pionero de Miller y Laflamme (1958) se establecen ya los primeros principios del uso de los modelos digitales para el tratamiento de problemas tecnológicos, científicos y militares.

El objeto de su trabajo fue acelerar el diseño de carreteras mediante el tratamiento digital de datos del terreno adquiridos por fotogrametría, planteando una serie de algoritmos para la obtención de pendientes, áreas, etc. El problema del número de datos fue crítico, dada la escasa capacidad de almacenamiento de los ordenadores en aquella época, y una buena parte del esfuerzo del proyecto se dedicó a desarrollar métodos de representar los perfiles topográficos de la forma más sintética posible.

El *Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis* marcó un hito cuando presentó SYMAP en 1967. SYMAP era una aplicación formada por un conjunto de programas de manejo de cartografía digital que incluía algoritmos de interpolación para generar mapas a partir de puntos acotados distribuidos irregularmente.

En los últimos años han surgido ya multitud de aplicaciones informáticas capaces de manejar eficazmente los MDT. A pesar de ello, aún queda pendiente, lo mismo que en los SIG en general, la resolución de problemas básicos como, por ejemplo, conseguir una estructura de datos idónea, conseguir algoritmos eficientes, o facilitar el uso de los sistemas por parte de los usuarios.

Un **modelo digital del terreno** es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.

Un terreno real puede describirse de forma genérica como una función bivariable continua:

$$z = \zeta(x, y)$$



donde  $z$  representa la altitud del terreno en el punto de coordenadas  $(x, y)$  y  $\zeta$  es una función que relaciona la variable con su localización geográfica.

En la práctica, la función no es continua sino que se resuelve a intervalos discretos, por lo que el MDT está compuesto por un conjunto finito y explícito de elementos. Esta generalización implica una pérdida de información que incrementa el error del MDT y, en consecuencia, se propaga a los modelos derivados.

#### f.- ESTRUCTURA DE DATOS DEL M.D.T.

De forma general, la unidad básica de información en un MDT es un punto acotado, definido como una terna compuesta por un valor de altitud,  $z$ , al que acompañan los valores correspondientes de  $x$  e  $y$ .

La estructuración de los datos elementales se ha realizado según dos modelos:

- el modelo de datos vectorial está basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices

- el modelo de datos matricial está basado en localizaciones espaciales, a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable para la unidad elemental de superficie.

A continuación se detallan estas estructuras:

- **estructuras vectoriales**

**contornos:** polilíneas de altitud constante más puntos acotados

Un modelo de contornos está formado por polilíneas. Un vector  $n$  pares de coordenadas  $(x, y)$  describe la trayectoria de las curvas de nivel. Es decir el M.D.T. está representado mediante sus curvas de nivel.

El uso directo del modelo de contornos es poco útil, por eso casi todos los programas aplicativos tienen herramientas para incorporarlos y transformarlos a otras estructuras (TIN o matrices).

**TIN:** Un TIN (*triangulated irregular network*, Peucker 1978) está formado por triángulos irregulares:

- se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales.
  - se adosan sobre el terreno formando un mosaico
- se adaptan a la superficie con diferente grado de detalle, en función de la complejidad del relieve.

Es la estructura mas usada por los programas aplicativos especialmente cuando los datos han sido tomados directamente sobre el terreno, y por eso será la única analizada a profundidad en el presente trabajo. En muchos programas aplicados a la vialidad, cuando mencionan el término MDT , se están refiriendo implícitamente a la estructura TIN. En el presente trabajo se usará adrede esta confusión de términos con la finalidad de tener expresiones comunes con dichos programas aplicativos.

- **estructuras matriciales**

Los datos están almacenados como matrices. La estructura matricial mas usada en geomática es la matriz regular de cotas distribuidas sobre una malla cuadrada, la cual si bien no resulta muy adecuada para representar adecuadamente el terreno con la estructura TIN, sin embargo esta estructura matricial resulta ser muy buena para la visualización tridimensional del terreno.

### 5.3 LA BASE DE DATOS

En el presente capítulo se trata el tema de la transformación de la realidad geográfica a la estructura digital de datos, la cual se le va a llamar Base de datos y que contendrá la información necesaria para la elaboración del modelo digital del terreno mediante algún método de interpolación. Primero se tratará sobre la captura de datos y luego sobre la estructura de la base de datos.

#### a.- CAPTURA DE DATOS

Los métodos básicos para la conseguir los datos son:

- **métodos directos:** medida directa de los datos sobre el terreno (fuentes primarias)
  - **altimetría:** altímetros transportados por plataformas aéreas
  - **GPS, *global positioning system*,** localización mediante triangulación vía satélite
  - **topografía:** estaciones topográficas con grabación de datos
  
- **métodos indirectos:** medida a partir de documentos previamente elaborados (fuentes secundarias)
  - **restitución**
    - fuente digital (SPOT)
    - fuente analógica (cámaras métricas)
  - **digitalización**
    - automática (escáner)
    - manual (tablero digitalizador)

## a.1 métodos directos

### **altímetros, GPS y estaciones topográficas**

Los **altímetros** transportados por satélites permiten el registro directo de los datos de altitud en formato digital:

- son extremadamente precisos: el error nominal puede ser de unos centímetros (Bruzzi y Wooding, 1990).
- esta precisión es relativa, es decir, el altímetro evalúa de forma muy precisa diferencias entre medidas sucesivas

Otros problemas relacionados con la fuerte dispersión de la señal en zonas rugosas y con una resolución espacial reducida han limitado prácticamente su uso hasta el presente al análisis de la topografía de la superficie marina y seguimiento de los hielos polares .

Los sistemas de localización geográfica conocidos como **GPS - *global positioning system***- utilizan un conjunto de satélites de referencia, como se explica en otro capítulo del presente trabajo y permiten obtener valores de las tres coordenadas espaciales para un lugar concreto de la superficie terrestre:

- es un método muy preciso en ciertas condiciones (GPS diferencial, con una segunda estación de apoyo)
- entre sus limitaciones:
  - es necesario acceder físicamente al lugar de medida
  - es necesario el acceso directo y simultáneo a un mínimo de cuatro satélites
  - la cubierta vegetal sobre la antena receptora dificulta la medida

Estos problemas han convertido al método GPS en un recurso de apoyo, pero no en un sistema básico de captura de datos para construir el MDE.

Finalmente, las **estaciones topográficas** más avanzadas pueden generar y almacenar los resultados de sus medidas en formato

digital. Algunos sistemas de información geográfica incorporan utilidades que permiten el tratamiento e incorporación de estos datos.

La manera de cómo determinar que puntos capturar en el campo, dependerá del trabajo que se esté realizando y en especial del método de interpolación a utilizar por el programa aplicativo, como se verá en la siguiente sección.

## **a.2 métodos indirectos**

### **restitución fotogramétrica, radargrametría**

La restitución fotogramétrica utiliza pares de imágenes de la zona a estudiar, parcialmente solapados y tomados desde puntos de vista diferentes, que forman los denominados pares estereoscópicos:

- Del examen de puntos homólogos y de su paralaje se deducen las cotas de referencia necesarias para reconstruir la topografía
- Los **restituidores fotogramétricos** actuales realizan esta labor grabando los resultados en un formato digital compatible con sistemas de información geográfica.
- Es necesario el acceso al terreno para establecer un conjunto de *puntos de control* que permitan fijar valores de altitud en una escala absoluta

Los pares estereoscópicos han sido hasta hace pocos años exclusivamente fotogramas aéreos. Actualmente, a estas fotografías se han sumado las imágenes digitales tomadas por sensores pancromáticos transportados por satélites e inclusive mediante fotografías tomadas desde estaciones terrestres.

Los radares de apertura sintética mediante técnicas definidas como radargrametría permiten generar MDE de buena precisión.

Aunque probablemente es la técnica del futuro, las dificultades operacionales son aún significativas. Sin embargo, la magnitud del error del MDE resultante permite establecer ya una competencia real con los métodos más convencionales.

### **La digitalización automática**

La digitalización de mapas topográficos preexistentes es la técnica más habitual en la actualidad y puede realizarse de forma automática mediante un escáner o de forma manual, mediante un tablero digitalizador

La digitalización automática genera una imagen de valores. El tamaño de la celda o pixel debe establecerse asegurando que sea capaz de recoger todas las estructuras presentes en el mapa que la dimensión de los ficheros permitan el tratamiento con los medios informáticos disponibles.

Las fases del proceso son:

- \* toma de la imagen mediante el escáner; la imagen puede ser binaria (blanco y negro) pero también es posible usar el color para separar elementos.

filtrado de la misma para separar las estructuras de interés y descartar el resto.

- \* vectorización de la imagen contrastada, de forma que los pixeles adyacentes se estructuren en líneas, generándose una estructura vectorial.

- \*reconocimiento de los valores de elevación escritos en el mapa.

Es recomendable el uso de escáneres de gran formato cuyo costo es cada vez mas accesible a los usuarios finales.



*Un ejemplo sencillo de este tipo de trabajos, lo podemos realizar en AutoCad (aunque no de manera totalmente automática) donde el proceso sería el siguiente:*

- *Una vez escaneado el plano y guardado en un archivo. Cargar dicho archivo de dibujo al AutoCad.*
- *Ajustar las unidades del dibujo a las unidades del AutoCad. Para esto se definen 2 puntos sobre el plano cuya distancia horizontal es conocida en dicho plano. Por ejemplo si dicha distancia es 1202 mts. el procedimiento sería:*

*Command: SCALE*

*Select objects: (se selecciona todo el plano)*

*Specify base point: (picar sobre un punto del plano)*

*Specify scale factor or [Reference]: R*

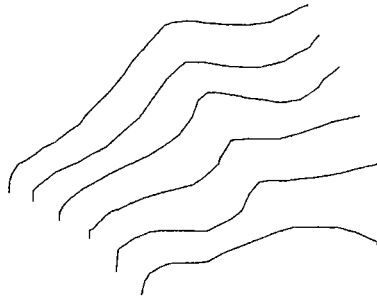
*Specify reference length <1>: (picar sobre uno de los puntos cuya distancia horizontal es conocida)*

*Specify second point: (picar sobre el otro punto de distancia horizontal es conocida)*

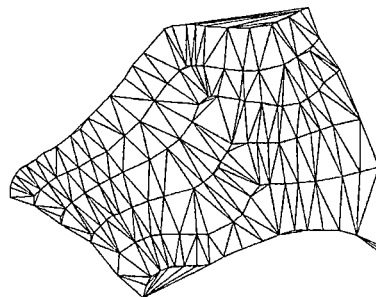
*Specify new length: 1202 (indicar la longitud que indica el plano)*

- *Mover y rotar el plano (con Move y Rotate) para hacer coincidir las coordenadas del plano con las del dibujo y rotar (si fuese necesario) para coincidir el norte con el eje Y del AutoCad.*
- *Convertir las curvas de nivel escaneadas a elementos de dibujo de AutoCad. El elemento de dibujo mas usado en AutoCad para dibujar curvas de nivel es la Polilínea, por lo tanto es común sobrepasar polilíneas sobre las curvas de nivel escaneadas.*
- *Asignar cotas a dichas polilíneas. Esto se puede realizar mediante el AutoCad antes (mediante el comando ELEV) o después de dibujar las polilíneas (mediante algunos comandos de modificación*

como MOVE o DDMODIFY). En la figura se muestran curvas de nivel creadas mediante este procedimiento.



- Mediante algún programa aplicativo en entorno Autocad o mediante una rutina creada para este propósito, crear el modelo digital del terreno. Por ejemplo, el modelo triangular, que como se observa en el gráfico, las "curvas de nivel" se comportan como líneas de cambio de pendiente obligatoria.



### **la digitalización manual**

La digitalización manual se realiza con un **tablero digitalizador** sobre el que se coloca el mapa:

- las curvas de nivel se siguen manualmente con un cursor
- El computador recibe a ciertos intervalos las coordenadas que definen la trayectoria de la línea
- Los intervalos pueden ser fijos o variables.

Los trabajos de digitalización son, en la práctica, de calidad muy irregular. Existen algunas normas que ayudan a conseguir un trabajo de mayor calidad:

- Deben usarse mapas en buen estado, evitando los mapas doblados, deformados o mal conservados.
- La referencia espacial debe registrarse con precisión mediante puntos de control.
- Debe valorarse el método de digitalización a utilizar, incremental o punto a punto.
- No es deseable introducir un número excesivamente elevado de puntos en las curvas de nivel.

Respecto a que elementos digitalizar, lo más evidente es transferir todas las curvas de nivel del mapa topográfico. Pero hay más cuestiones a tener en cuenta.

La calidad de un MDE puede mejorarse significativamente complementando las curvas de nivel con datos auxiliares de diversos tipos. En general, el listado de elementos que pueden aportar información para construir un MDE es:

- puntos acotados singulares o *vips* -de *very important points*-: cumbres de picos, fondos de depresiones, etc.
- líneas estructurales, que definen elementos lineales con valores de altitud asociados a cada vértice. Por ejemplo los vértices de una rampa.
- líneas de inflexión o rotura -*breaklines*- que definen la posición de elementos lineales que rompen la continuidad en pendiente. Así por ejemplo, el pie de los cerros de la UNI corresponden a líneas de inflexión ya que separa las fuertes pendiente de los cerros, de las pendientes suaves en las zonas planas donde se encuentran las edificaciones.
- zonas de altitud constante: polígonos que encierran una superficie de altitud única (por ej. lagos)

- zonas de recorte, polígono que define los límites externos del MDE (su frontera).
- zonas vacías, donde no es deseable asignar altitudes (p. ej. zonas inundadas o cubiertas de nieve)

## b.- ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS

### **El formato ASCII de filas y columnas:**

Es la estructura de datos mas usado por la mayoría de programas aplicativos. Consiste en un archivo ASCII donde en cada fila se encuentran los datos de un punto (Número de punto, coordenadas, descripción, etc.). Dichos datos del punto se encuentran ordenados por columnas que se encuentran separados generalmente por un espacio, por una coma, por tabulación; o por cualquier otro separador que soporte el programa aplicativo (sin embargo los separadores mas comunes son los que se indicaron primero). Se pueden obviar muchos datos de los puntos, menos aquellos relacionados a sus coordenadas.

*Un ejemplo del listado de un archivo ASCII en mención sería el siguiente:*

```
1 8342123.343 277332.852 943.432 CERRO
2 8323233.432 276454.345 1234.322 RIO
```

*En este ejemplo, en la primera columna está la descripción, en las siguientes 3 se encuentran las coordenadas Norte, Este y Cota, en la quinta coordenada se encuentra la descripción del punto, cada dato se encuentra separado por un espacio.*

El orden de las columnas puede ser cualquiera, siempre y cuando el programa aplicativo que va a importar dicho archivo soporte dicho orden. Por ejemplo si el archivo ASCII tiene el orden de

columnas: Este, Norte, Cota, Punto; en el programa aplicativo se deberá indicar que dicho es el orden de las columnas del archivo a importar ya que cualquier error a este nivel es fatal.

Si con la Estación Total se ha realizado levantamiento mediante coordenadas, su programa de transferencia de datos a la computadora permiten crear archivos ASCII de filas y columnas con la finalidad que estos puedan ser usados por los programas aplicativos.

Si la toma de datos ha sido realizada con un sistema que toma coordenadas polares en el campo (por ejemplo con teodolito) y el programa aplicativo no dispone de esta manera de ingreso de datos, entonces habrá que transformar dichas coordenadas a rectangulares . Esto último es mejor realizarlo con una hoja de cálculo donde los datos se ingresan en coordenadas polares y mediante las fórmulas ingresadas en dicha hoja, se puede obtener las coordenadas rectangulares.

*Para entender mejor esto último, se procederá mediante un ejemplo desarrollado en EXCEL:*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	PUNTO	D		AZIMUT D-E	351	2	35		
3	DIRECCION	E							
4									
5	COORDENADAS DE D:								
6		NORTE	679.17						
7		ESTE	421.39						
8		COTA	100.256						
9									
10	ESTACION	DIRECCION	ANGULO HORIZONTAL		ANGULO VERTICAL		LEC. MIRA /		
11	D	E	0	0	0				
12		1	108	13	40	89	55	40	22.5
13		2	97	7	0	89	52	0	32
14		3	3	47	20	89	41	20	35
15		4	353	47	20	89	44	20	30
16		5	343	17	0	90	2	20	28
17		6	316	34	20	89	6	40	35
18		7	284	43	0	89	55	20	44
19		8	260	25	0	88	40	41	41
20		9	242	43	0	89	32	0	26
21		10	229	49	30	88	2	0	43.5

#### Datos:

- *Coordenadas de la estación donde se colocó el teodolito: Se ingresan en las celdas C6 al C8. En nuestro ejemplo al estación es el punto D .*
- *Azimut de la dirección con la cual nos estamos orientando: Se ingresa en las celdas E2 a G2. En nuestro ejemplo es la dirección D-E de azimut 351° 02' 35" .*
- *Datos de los puntos de radiación: Ángulo horizontal, ángulo vertical y generatriz (diferencia de hilos por 100). Por ejemplo para el punto 1 los datos se ingresaron así: Celda C12 el número del punto, celdas D12 a E12 el ángulo horizontal, celdas F12 a H12 el ángulo vertical zenital, celda I12 la generatriz. De forma similar se procede a ingresar todos los puntos de relleno tomados a partir de dicha estación.*

#### Cálculos:

- *El azimut de la dirección Estación-punto de radiación ( celdas J ): Es la suma del azimut de la dirección con la cual nos estamos orientando mas el ángulo horizontal de la dirección. (El valor mostrado se encuentra en radianes).*
- *El ángulo vertical reducido al horizonte (celdas K): En grados sexagesimales es: 90 - ángulo vertical leído. El valor puede ser positivo o negativo, si resulta negativo significa que el punto de radicación se encuentra mas bajo que el de la estación. (El valor mostrado se encuentra en radianes).*
- *Distancias taquimétricas:*
  - Distancia horizontal (celda L) = Generatriz(celda I) x (coseno (celda K))<sup>2</sup>*
  - Distancia vertical (celda M) =(Generatriz(celda I) x (seno (2x celda K)))/ 2*
- *Coordenadas parciales:*
  - $\Delta X$  (celdas N) = Distancia horizontal(celda L) x Seno (celda J)<sub>202</sub>*

$$\Delta Y (\text{celdas O}) = \text{Distancia horizontal(celda L)} \times \text{Coseno (celda J)}$$

J	K	L	M	N	O
TAQUIMETRIA			COORD PARCIALES		
AZIMUT	ANG REDU	DIST. HOR	DIF.COTA	ESTE	NORTE
8.01580694	-0.001260519	22.49996425	-0.02836164	22.2059985	-3.62519281
7.82188102	-0.002327111	31.99982671	-0.07446729	31.983341	1.02703773
6.1930002	-0.005429926	34.99896807	-0.19004367	-3.15210863	34.856735
12.3016669	-0.004557259	29.99937695	-0.13671588	-7.84853726	28.9545002
12.1183099	0.000678741	27.9999871	0.01900473	-12.130112	25.2360785
11.652112	-0.015514074	34.99157665	-0.54290547	-27.7171879	21.3580881
11.0961264	-0.001357481	43.99991892	-0.05972911	-43.7776709	4.416831
10.6720104	-0.023072337	40.97817823	-0.94563014	-38.8517508	-13.0289122
10.3630864	-0.008144889	25.99827522	-0.211175775	-20.9691495	-15.368965
10.1380838	-0.034324889	43.44876851	-1.49196014	-28.4301466	-32.8560839

**Resultados:**

■ *Coordenadas de los puntos de radiación*

*Norte (Celdas Q) = Coordenada Norte de la estación(celda C6) + CeldaO*

*Este (Celdas R) = Coordenada Este de la estación (celda C7) + Celda N*

*Cota (Celdas S) = Cota de la estación (celda C8) + Celda M*

8	COORD. TOTALES				
10	PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCR.
11					
12	1	675.545	443.596	100.228	PISO
13	2	680.197	453.373	100.182	CERRO
14	3	714.027	418.238	100.066	CERRO
15	4	708.125	413.541	100.119	CERRO
16	5	704.406	409.260	100.275	PISTA
17	6	700.528	393.673	99.713	PISTA
18	7	683.567	377.612	100.196	PISTA
19	8	666.141	382.538	99.310	PISO
20	9	663.801	400.421	100.044	CERRO
21	10	646.314	392.960	98.764	CERRO

*Como se explicó en los párrafos anteriores, además de las coordenadas podemos querer ingresar el número del punto, su descripción, etc. Con lo que finalmente tenemos las 5 últimas columnas mostradas en la hoja de cálculo.*

*Ahora se deberá guardar dichos datos en ASCII, para lo cual la manera mas sencilla es abrir un editor de ASCII, y mediante las herramientas OLE del windows (copiar - pegar) , seleccionar los datos de las 5 últimas columnas y pegarlas en el editor en mención. Luego desde el editor guardarlo como un archivo ASCII, con lo cual habremos creado el archivo de filas y columnas deseado. También es posible crear un archivo ASCII desde el propio EXCEL, guardando los datos como texto (TXT o CSV).*

### **Direcciones y distancias**

La base de datos en un archivo ASCII de filas y columnas es el usado mayormente por los programas aplicativos, sin embargo también es cierto que en gran parte de los trabajos topográficos de ingeniería, continúan realizándose mediciones mediante direcciones y distancias, por lo que algunos programas aplicativos tienen esta posibilidad de manejar estructuras de datos de esta manera.

En estos casos si bien la estructura de la base de datos es mediante direcciones y distancias, el programa aplicativo debe tener la posibilidad de calcular las coordenadas de los puntos ingresados.

Este tipo de estructuras se presenta generalmente de 2 maneras: mediante **Ángulos y distancias**, como por ejemplo un levantamiento de una poligonal y sus radiaciones; o mediante **Secciones transversales** que es el caso del método directo de trazos de las carreteras.



### **Otras estructuras**

Existen además otras estructuras de datos por ejemplo el RINEX del GPS, los formatos propios de cada Estación total, formatos de gráficos (como el DXF, GIF, etc). Un programa aplicativo será mas versátil respecto al manejo de estructuras de bases de datos, cuanto mas diferentes estructuras soporte o permita crear.

## 5.4 LA INTERPOLACIÓN

Crear la estructura de datos del modelo digital del terreno partiendo de los puntos de la base de datos requiere de rutinas de interpolación, las mas usadas son las indicadas a continuación.

### a.- PONDERACIÓN POR INVERSA DE DISTANCIA (IDW).

La interpolación del punto problema se realiza asignando pesos a los datos del entorno en función inversa de la distancia que los separa -*inverse distance weighting, IDW*-.  
La fórmula general es:

$$Z_j = \frac{\sum_i^n \frac{Z_i}{d_{ij}^\beta}}{\sum_i^n \frac{1}{d_{ij}^\beta}}$$

donde  $Z_j$  es el valor de la cota calculada para el punto  $j$ ;  $n$  es el número de puntos usados en la interpolación;  $Z_i$  es el valor en el punto  $i$ -ésimo y  $d_{ij}$  es la distancia horizontal del nodo  $i$  al nodo  $j$ .  $\beta$  es el exponente de ponderación que controla la forma en la que el peso disminuye con la distancia.

Esta familia de métodos permite la generación del modelo digital del terreno de una forma rápida y simple. Sin embargo, se trata esencialmente de una media ponderada y, por tanto, el resultado se encuentra siempre incluido dentro del rango de variación de los datos.<sup>206</sup>

El modelo digital del terreno será más cercano a la realidad en las zonas vecinas a los puntos datos además este tipo de interpolación tiende a formar curvas de nivel "tiro al blanco". Por este motivo, el correcto tratamiento de las formas cóncavas y convexas depende estrechamente de la distribución de los puntos originales y la presencia de datos auxiliares se hace muy conveniente. Cada caso que se presente para la creación del modelo digital del terreno mediante este método, se deberá analizar independientemente, teniendo en cuenta las características del terreno, el valor  $\beta$  a considerar, el número mínimo y máximo de puntos a considerar para la interpolación. Con la finalidad que el modelo digital del terreno obtenido se aproxime a la realidad, ya que si no se toman estas consideraciones el modelo digital del terreno va a salir muy diferente respecto al terreno real. Debido a estas razones solo recomiendo usar este método si es que el programa aplicativo no dispone de otros métodos de interpolación como el Kriging o Triangulación.

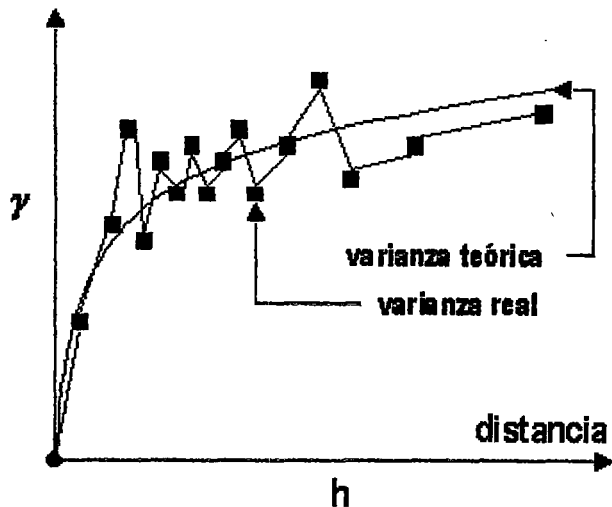
#### b.- LA INTERPOLACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO KRIGING

El *kriging* es un método de interpolación con una expresión general similar a la anterior.

La diferencia básica es que asume que la cota puede definirse como una *variable regionalizada*.

Esta hipótesis supone que la variación espacial de la variable a representar puede ser explicada al menos parcialmente mediante funciones de correlación espacial: *la variación espacial de los valores de z puede deducirse de los valores circundantes de acuerdo con unas funciones homogéneas en toda el área*.

Las funciones pueden deducirse analizando la correlación espacial entre los datos en función de la distancia entre ellos midiendo la *semivarianza* entre datos separados por distancias diferentes (Oliver 307 Webster).



Ejemplo de semivariograma donde la varianza real se ajusta a una distribución teórica; ésta es la que se aplica para la estimación de los pesos en la interpolación.

Aunque el kriging es un método de estimación óptimo desde el punto de vista estadístico, presenta algunas dificultades a la hora de ser utilizado como método de construcción de los MDE:

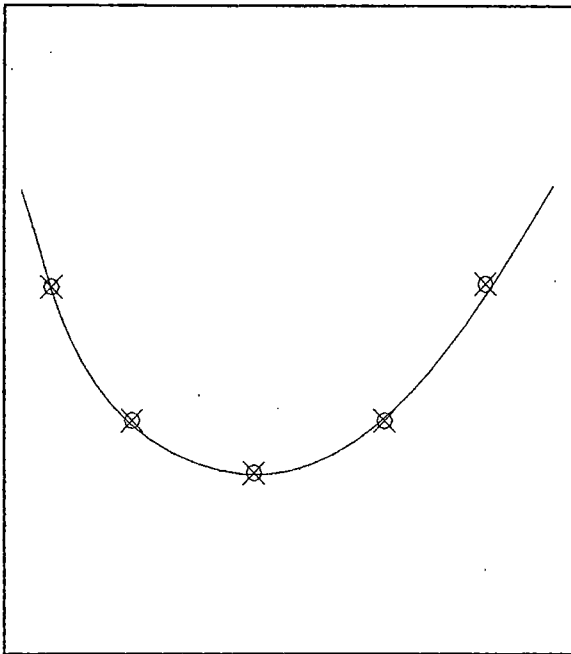
- el semivariograma debe ser de validez general para todo el modelo digital del terreno: la interdependencia entre los datos debe ser función exclusivamente de la distancia entre ellos -de su posición relativa- y no de su localización espacial absoluta.
- no permite el tratamiento de discontinuidades topográficas que supongan cambios bruscos, como rupturas de pendiente.

Si la toma e datos ha sido realizada mediante métodos directos, las dificultades indicadas arriba, pueden solucionarse parcialmente si se toman los siguientes criterios:

- Tomar puntos indicando la tendencia del terreno. Así si el terreno es cóncavo, tomar puntos a lo largo de dicha concavidad pensando que por dichos puntos va a pasar una línea curva cóncava que va a representar el terreno.
- En las discontinuidades topográficas de cambios bruscos, tomar puntos no solo en dichos cambios bruscos, sino además puntos

cercanos al cambio con la finalidad de dar al método mas puntos para determinar las funciones homogéneas en dichas zonas.

Lo indicado anteriormente se va a explicar mediante un ejemplo:

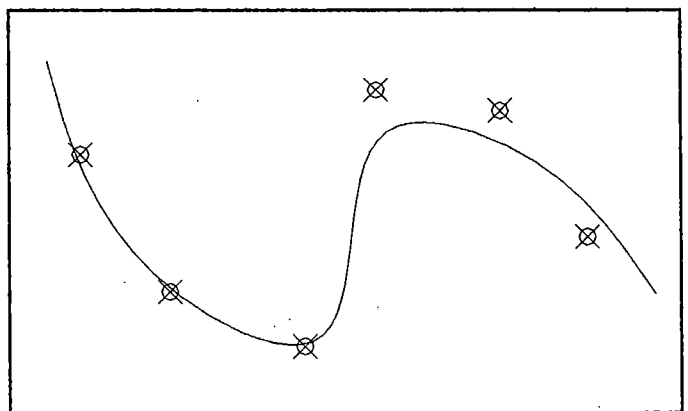


Por ejemplo en el presente perfil, los puntos han sido tomados a lo largo de una superficie cóncava. Tomando los puntos de manera que se indique la concavidad, el programa kriging ajustará una curva que dibuje dicha concavidad, la cual vendrá a ser la representación en perfil del modelo digital del

terreno.

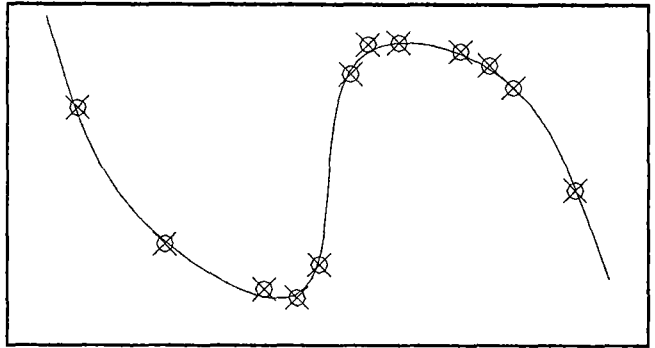
Es conveniente indicar que como este método realiza el modelo digital del terreno tomando el cuenta la tendencia del terreno, puede crear zonas del modelo fuera de nuestros puntos tomados, como se observa en el gráfico.

Sin embargo, si tenemos un terreno que tiene discontinuidades de cambios bruscos, como lo que se muestra en el perfil; entonces el programa al buscar



una curva que ajuste dichos puntos, no necesariamente pasará por todos los puntos ya que lo que busca este método no es una curva que pase por todos los puntos, sino la tendencia del terreno.

Este problema se puede reducir si es que tomamos puntos no solo en los cambios de pendiente, sino también en las zonas cercanas a los cambios de pendiente



importante. Como se observa en el gráfico, tomando mas puntos cercanos a los cambios de pendiente, la curva ajusta mejor al terreno.

Por los motivos anteriores el *kriging* no suele dar buen resultado en la construcción de modelo digital del terreno, si el terreno es muy accidentado. Además que se requeriría tomar muchos puntos.

### c.- LA TRIANGULACION TIN

#### **TIN, la red de triángulos irregulares**

El modelo TIN tiene varias cualidades de interés:

- no presupone ni exige la continuidad estadística de la superficie a representar.
- puede generarse incorporando una amplia variedad de estructuras auxiliares
- se adapta a la complejidad del terreno, variando la densidad local de la red.
- respeta los valores de los datos que son usados como vértices.

La creación de un TIN se compone de dos partes diferentes:

- la triangulación propiamente dicha
- la selección de los puntos a usar

La **triangulación** es un tópico bien conocido utilizado en numerosas aplicaciones como robótica, análisis de elementos finitos, visión artificial y síntesis de imágenes (Cignoni 1994).

En el caso de los SIG el método más habitual es el conocido como triangulación de Delaunay, TD:

- dados 2 puntos  $P_i$  y  $P_j$ , en un plano  $T$ , la perpendicular al segmento  $P_i P_j$  en su punto medio divide el plano en dos regiones  $V_i$  y  $V_j$ , la región  $V_i$  contiene todos y sólo los puntos cuya distancia a  $P_i$  es menor que a  $P_j$  y viceversa
- el concepto se extiende a múltiples puntos  $P_n$  de forma que cada uno de ellos se asocia a una región  $V_n$
- si el concepto se aplica a un dominio cerrado se genera un conjunto de polígonos convexos que teselan denominados regiones de Voronoi.
- si se conectan entre sí los puntos que comparten un borde de una región se obtiene una triangulación de Delaunay.

La forma más trivial de construir un TIN es usar todos los vértices y nodos de las curvas de nivel, así como los puntos singulares como vértices de triángulos. Este modelo masivo no es deseable:

- por la enorme cantidad de elementos que sería necesario construir y manejar para una zona de cierta extensión.
- por la redundancia debida a que muchos puntos procedentes de una digitalización rutinaria no aportan una información significativa.

Formalmente, el problema puede plantearse como sigue:

- dado un conjunto  $\mathbf{H}$  de  $n$  puntos acotados, elegir un subconjunto mínimo  $\mathbf{S}$  de  $\mathbf{H}$  constituido por  $m$  puntos, a partir del cual pueda reconstruirse  $\mathbf{H}$  con el menor error posible.

Los dos enfoques básicos son:

1. Hacer la selección antes de la triangulación y realizar posteriormente un modelo masivo. La estrategia es suministrar al algoritmo de TD los puntos básicos ya elegidos mediante la adecuada generalización cartográfica de las curvas de nivel y una selección de puntos críticos.
2. Utilizar un algoritmo de TD que realice la selección según realiza la construcción de la red.

Los métodos de construcción de TIN más utilizados pueden agruparse en las siguientes clases:

- **inserción incremental**, que comienza con una triangulación mínima y a la que se añaden progresiva y selectivamente nuevos puntos como vértices de la red.
- **reducción selectiva**, por eliminación de puntos a partir de un modelo masivo mediante criterios de incremento mínimo del error.

Los listados de los programas que permiten la interpolación TIN por este método, son mostrados en el capítulo específico.

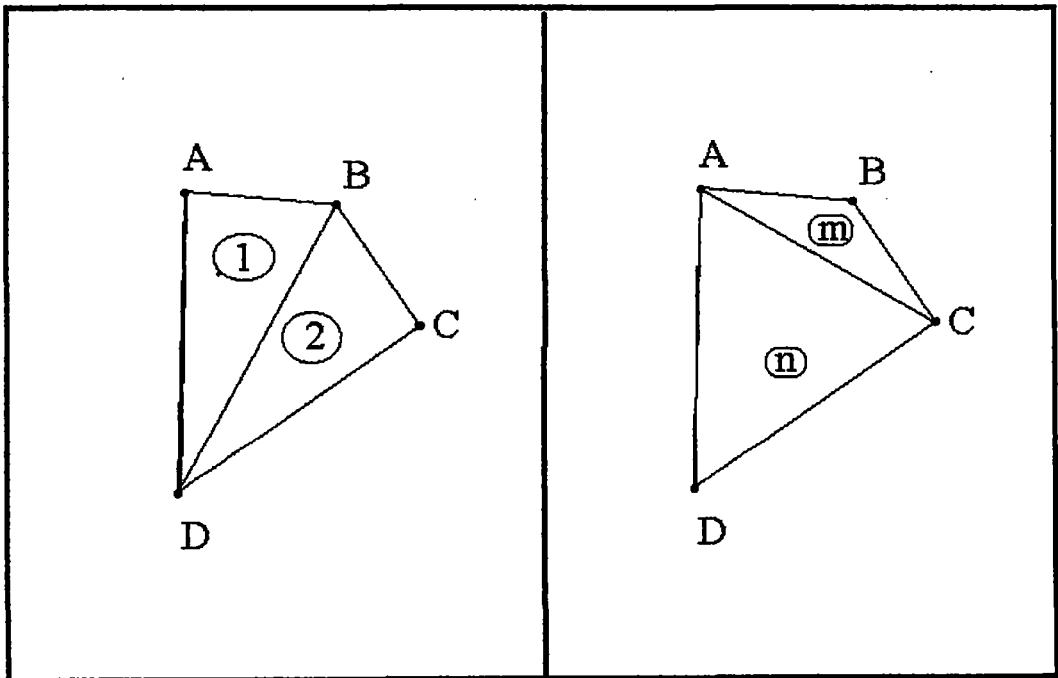
Los triángulos así obtenidos, tienen sus lados cuyas longitudes de sus lados son las menores posibles, por lo tanto si la toma de datos es mediante algún método directo, se deberá tomar puntos de modo que:

- dentro del triángulo formado por dichos puntos, se tenga un terreno plano.



- al momento de formar los triángulos en el campo, evitar que la longitud de uno de los lados de dicho triángulo sea muy largo respecto a los otros 2.

*Por ejemplo si tenemos que interpolar 4 puntos: A , B , C y D, donde en el campo tenemos que las superficies comprendidas entre los triángulos ABD y BCD, son planos y la recta BD es la línea de intersección entre dichos planos (gráfico de la izquierda). Sin embargo el programa obtiene el gráfico de la derecha, creando otras superficies muy diferentes a lo que se deseaba. Esto debido a que el programa siempre busca formar lados entre las distancias mas cortas y se nota que la distancia AC es mas corta que la distancia BD. Esto ocurrió por no seguir la recomendación indicada anteriormente y se pensó que se podía formar los triángulos ABD Y BDC teniendo el lado BD muy largo respecto a los otros.*



#### d.- LA TRANSFORMACIÓN VECTOR-RASTER

Los modelos basados en triángulos generan una estructura más difícil de manejar que la matriz regular, como para el caso de determinar volúmenes, representación tridimensional, etc. Es conveniente recordar que antiguamente la única forma de conseguir representaciones tridimensionales era mediante maquetería, sin embargo ahora muchos de los programas aplicativos permiten representaciones en 3D, en inclusive recorridos virtuales a lo largo de un camino proyectado, y muchas veces usan el modelo de la Transformación VECTOR-RASTER.

Por este motivo, es también usual crear un modelo digital del terreno según el modelo TIN y posteriormente, generar un modelo matricial convencional.

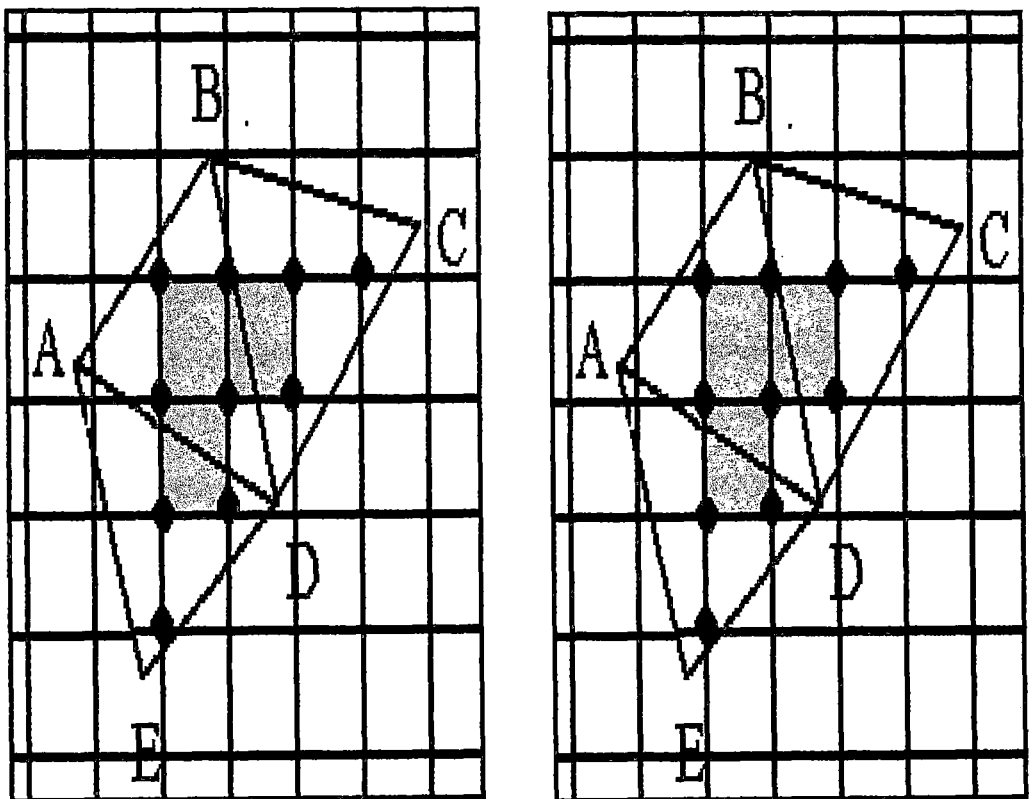
Aunque la estructura matricial no puede representar puntos singulares ni estructuras lineales como el TIN, el proceso aprovecha parcialmente la capacidad del TIN para integrar discontinuidades en la generación del modelo digital del terreno, por lo que es preferible a la generación directa de la matriz regular a partir de los datos de entrada.

La interpolación puede realizarse por dos métodos básicos:

- $Z = aX + bY + c$ , donde la altitud del punto problema se estima directamente a partir la ecuación del plano definido por los tres vértices del triángulo que lo contiene
- $Z = aX^2 + bY^2 + cX + dY + e$ , que considera la superficie definida por el TIN como un continuo y, por tanto, suaviza las zonas de los vértices y lados; para esta interpolación se utiliza una ecuación polinómica bivariable de quinto grado.

Por ejemplo, se tiene 4 puntos: A, B, C y D. Con los cuales se ha creado un modelo TIN. A partir de éste modelo se va a crear un modelo matricial, para visualizar este nuevo modelo, se ha trazado una malla rectangular, donde las intersecciones de la malla son sus puntos cuyas cotas fueron determinadas mediante alguno de los 2 métodos básicos explicados. Como se observa el nuevo modelo (gráfico de la izquierda) resulta tener un área (representado por la zona sobreada) mucho menor que la del modelo TIN. Además se pierde precisión en la representación de terreno ya que no se muestran las discontinuidades en AD y BD.

Ahora si densificamos la malla al doble, como se observa en el gráfico de la derecha, el área de nuevo modelo, resulta ser mas cercana al modelo TIN, que la anterior. Además al tener mas puntos, se tiene una mejor precisión en la representación del terreno.



## . 5.5 EDICIONES AL T.I.N.

La Interpolación T.I.N. es la estructura mas usada para la creación inicial del modelo digital del terreno. Por ende, se incidirá sobre este tipo de estructura en las siguientes secciones.

Un programa aplicativo, no solo debe tener la posibilidad de crear el T.I.N. sino además se deberá poder hacer modificaciones a dicho T.I.N. en caso sea necesario.

Se analizará lo siguiente:

- **Agregando puntos**
- **Borrando puntos**
- **Modificando puntos**
- **Manejando los lados del T.I.N.**
- **Crear discontinuidades**

### a.- AGREGANDO PUNTOS

Una vez creado el T.I.N., a veces es necesario ingresar mas puntos debido a que: o bien se han tomado mas puntos en el campo y se desea agregarlos a la estructura, o debido a que deseamos mejorar la representación del terreno adicionando puntos en aquellas partes que observamos que no están bien representadas. Por lo tanto es conveniente que un programa aplicativo tenga entre sus procedimientos, la de poder agregar puntos. Se está agrupando en 3 los métodos para agregar puntos:

- Método básico
- Método ingresar-borrar
- Método ingresar-regenerar

**a.1.- El método básico:** le estoy llamando con este nombre al proceso de adicionar los nuevos puntos a la base de datos original, para luego volver a crear el T.I.N. La desventaja de este método es que consume mucho tiempo y en caso hayamos hecho algunas modificaciones o arreglos en el T.I.N. anterior, estas se perderán ya que estamos volviendo a hacer todo de nuevo. Como no se requiere ningún procedimiento especial para agregar puntos, este método básico es aplicable a cualquier programa aplicativo. *Los programas mas baratos, solo disponen de este método para adicionar puntos.*

**a.2 El método ingresar- borrar:** llamo así al método que disponen la mayoría de programas aplicativos y que consiste en ingresar puntos nuevos al T.I.N. mostrado en la pantalla, para luego borrar dicho T.I.N. y volver a crearlo con los nuevos puntos incluidos.

Para el ingreso de dichos puntos existen 2 maneras:

- *Ingreso gráfico:* En este caso, el programa dispone de la siguiente rutina: luego de activar el comando de inserción de puntos, se picará sobre la pantalla en la posición horizontal donde se desea ingresar el punto, inmediatamente el programa solicitará su cota.
- *Cargando un archivo:* En este caso la rutina permite que teniendo los puntos almacenados en un archivo de coordenadas, puede cargarse directamente a la pantalla donde se encuentra el T.I.N. creado con anterioridad.

En ambos casos se visualizarán en la pantalla, los nuevos puntos ingresado y el T.I.N. creado anteriormente en base solo a los antiguos puntos. Entonces será necesario crear un nuevo

T.I.N. con todos los puntos, para lo cual habrá que borrar el T.I.N. mostrado en la pantalla. Además muchos programas aplicativos permiten guardar todos los puntos (los antiguos y los ingresados) en una nueva base de datos con la finalidad de poder usarlo posteriormente en otras aplicaciones. La ventaja de este método respecto al básico, es que ya no es necesario volver a realizar todo el procedimiento, sin embargo se perderán todas las modificaciones que se hicieron en el antiguo T.I.N. al borrarlo para crear uno nuevo.

**a.3 El método Ingresar - Regenerar:** Luego del *ingreso gráfico* de un punto, el programa regenera automáticamente el T.I.N. en la zona contigua al punto ingresado. La ventaja de este método es que al no ser necesario borrar el T.I.N. existente, no se pierde ninguna modificación hecha anteriormente al T.I.N. La desventaja es que por cada punto nuevo que se ingresa, regenera automáticamente, por lo tanto habrá tantas regeneraciones como puntos a ingresar, con la consiguiente pérdida de tiempo.

## b.- BORRANDO PUNTOS

A veces deseamos borrar puntos ya que sus datos no están correctos o por otras razones. De acuerdo al programa aplicativo usado tenemos 3 métodos:

**b.1 Método básico:** Consiste simplemente en borrar puntos de la base de datos y volver a crear el T.I.N. con los puntos restantes.

**b.2 Método eliminar - borrar:** Permite eliminar puntos desde la pantalla donde está mostrado el T.I.N. Luego si deseamos crear un nuevo T.I.N. habrá que borrar el existente.

**b.3 Método eliminar – regenerar:** Al eliminar puntos desde la pantalla, el T.I.N. se regenera automáticamente.

#### c.- MODIFICANDO PUNTOS

A veces es necesario modificar las propiedades de los puntos (número del punto, coordenadas y códigos). Para lo cual el usuario deberá tener la posibilidad que su programa aplicativo, disponga de rutinas de modificación de puntos.

Cuando modifiquemos las coordenadas de un punto, el T.I.N. creado anteriormente, deberá ser modificado. Existen programas que la regeneración del T.I.N. es automática, en cambio en otros volver a crear el T.I.N. con los comandos existentes.

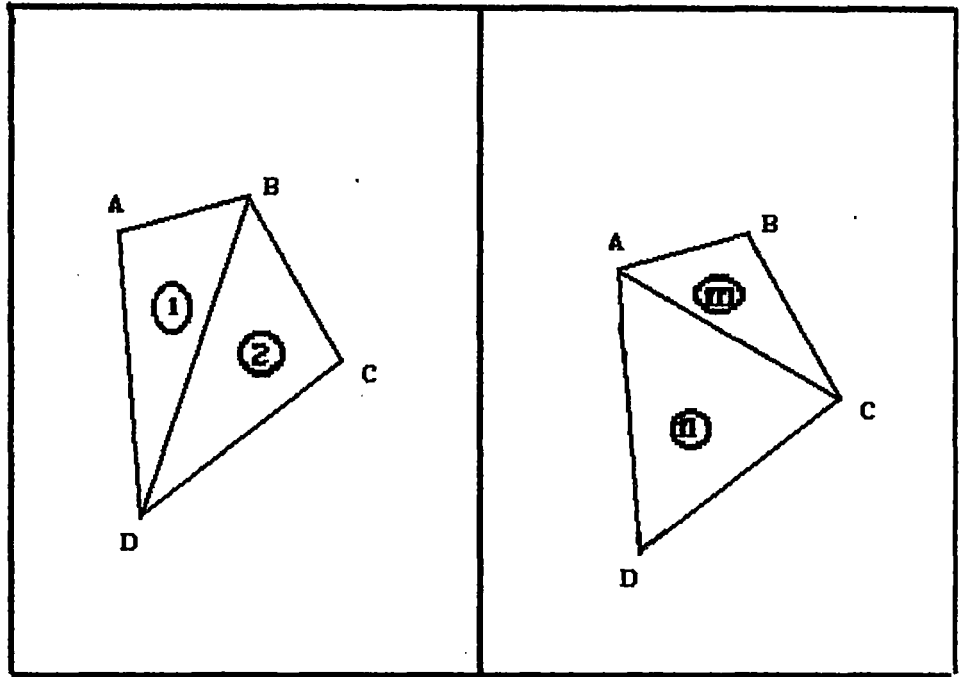
También es necesario volver a crear el T.I.N. cuando al cambiar los códigos de puntos dados, estos códigos se encuentran amarrados al T.I.N. Así por ejemplo si se creó el T.I.N. con solo los puntos de un código determinado, tal que si se cambian los códigos de ciertos puntos entonces el T.I.N. también variará (ver 5.6).

#### d- MANEJANDO LOS LADOS DEL T.I.N.

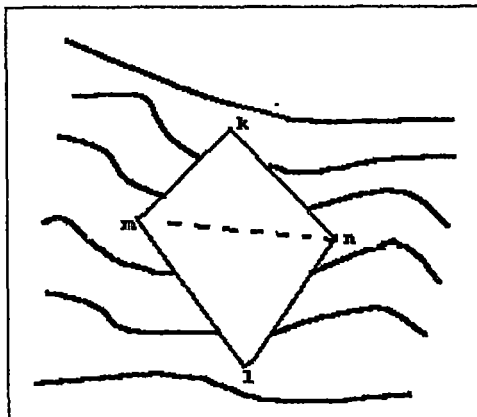
La mayoría de los programas aplicativos muestran los lados de los triángulos del T.I.N., además es conveniente que estos lados puedan ser manejados con la finalidad de mejorar el modelo digital del terreno. Así debemos esperar que los programas permitan:

**d.1 Cambiar de dirección a los lados :** Una vez creado el modelo digital del terreno, debe ser posible cambiar de dirección

a algunos de los lados del T.I.N. , con la finalidad de ajustarlo mejor al terreno. Así por ejemplo, podemos cambiar el lado DB por el AC de modo que los triángulos planos sean "m" y "n" en vez de "1" y "2".



**d.2 Borrar y agregar lados:** A veces es necesario borrar algunos lados ya que no se desea que se interpolen 2 puntos dados, sea porque entre dichos puntos no existe pendiente constante o porque dicho lado esta fuera de nuestros bordes (ver 5.6). En estos casos los programas deben tener la posibilidad de borrar los lados que no deseamos interpolar, teniendo mucho cuidado



ya que al borrar un lado estamos borrando uno o dos triángulos planos y el programa no dibujará curvas de nivel donde no encuentre dichos triángulos.

*Así por ejemplo en el gráfico, al borrar el lado "mn" (línea*



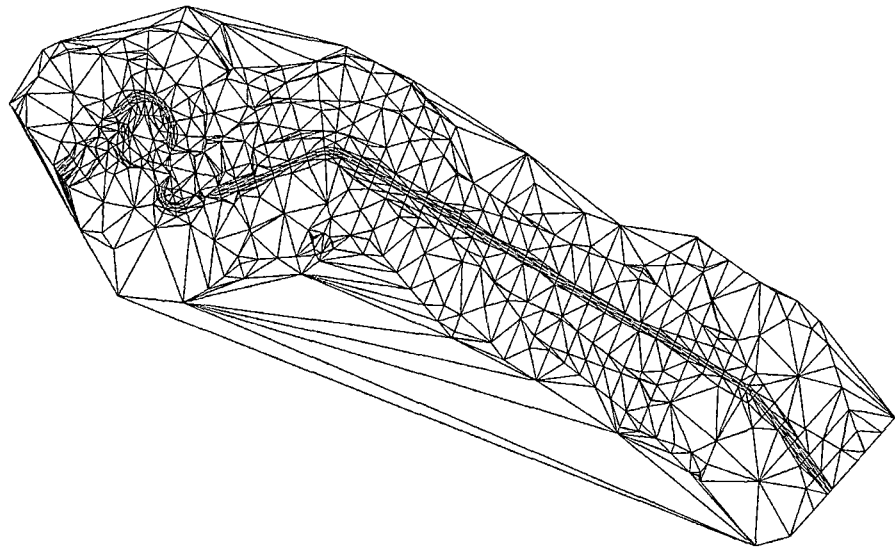
*punteada), se borrarán los triángulos "kmn" y "lmn" por lo tanto no pasaran curvas de nivel por esta zona, como se muestra en la figura.*

De igual modo, existen programas que permiten al usuario crear manualmente nuevos lados del T.I.N. Así por ejemplo, si se tienen 2 puntos del terreno entre los cuales no existe un lado del T.I.N., este lado será posible crearlo, uniendo simplemente, ambos puntos. Esta opción se usa, especialmente, cuando previamente han sido borrados lados del T.I.N., y se desea formar otros triángulos.

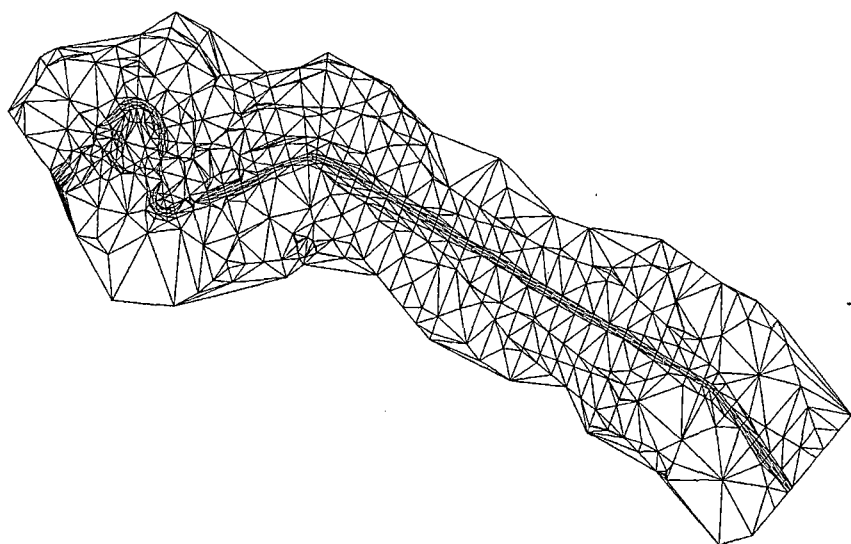
**d.3: Determinando una distancia máxima:** En la mayoría de programas aplicativos, permiten crear el T.I.N. solicitando la distancia máxima de los lados a interpolar. Esto mejora el modelo ya que se disminuye la posibilidad que se interpolen puntos que no tengan relación entre sí.

*Así en el ejemplo, se muestra el modelo digital del terreno creado en base a puntos tomados en secciones transversales a lo largo del eje de una carretera (la carretera está representada por aquella faja de triángulos más pequeños, aproximadamente en el medio del modelo). Si estamos tomando puntos en secciones cada 20 mts. es de suponer que las longitudes de los lados de los triángulos estarán alrededor de este valor, por lo tanto sería absurdo longitudes de por ejemplo 100 mts o más. Si el modelo muestra lados de los triángulos con longitudes muy largas respecto a lo esperamos obtener, entonces deberemos crear el modelo limitando la longitud máxima de los lados.*

*En el gráfico siguiente se muestra el modelo digital del terreno sin haber delimitado la longitud máxima. Como se observa existen lados muy largos respecto a otros.*



*El gráfico mostrado a continuación el T.I.N. ha sido creado determinado una longitud máxima para los lados. Como se observa los lados muy largos ya no aparecen, mejorando la representación del terreno.*



#### e.- CREANDO DISCONTINUIDADES

Uno de los problemas más importantes en la creación del T.I.N., es el manejo de discontinuidades. Es decir la representación adecuada del terreno en las zonas de cambios bruscos de pendiente. Para esto, existen programas que tienen la posibilidad de definir cuales son dichas discontinuidades de modo que puntos que se encuentran a ambos lados de ésta, no se interpolarán. Programas que no disponen de ésta opción, pueden presentar serios problemas al momento de tratar de representar adecuadamente el terreno en las zonas de discontinuidades. Ejemplos al respecto y sus aplicaciones se verán en la sección 5.6 .

## 5.6 – Problemas típicos en el modelo digital

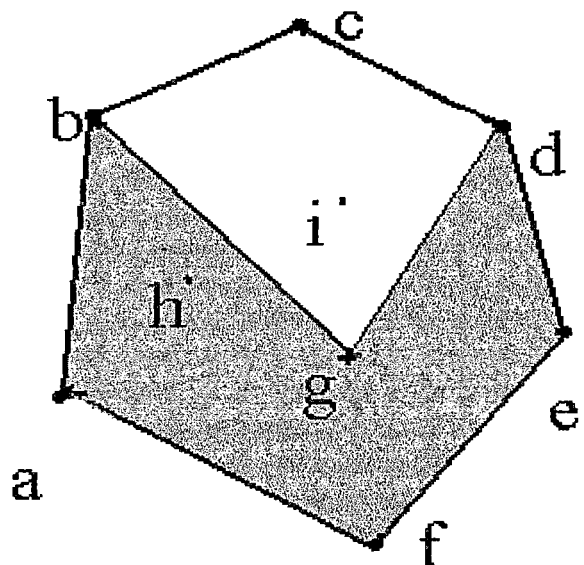
Si el modelo digital del terreno no representa adecuadamente es porque tenemos problemas que debemos evitarlos o resolverlos. He agrupado en 3 los típicos problemas que se presentan:

- a) **Problemas en los cambios de pendiente o discontinuidad**
- b) **El problema de frontera**
- c) **El problema de las curvas “tiro al blanco”**

### a) Problemas en los cambios de pendiente o discontinuidad

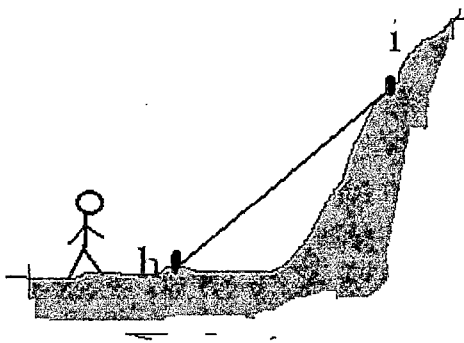
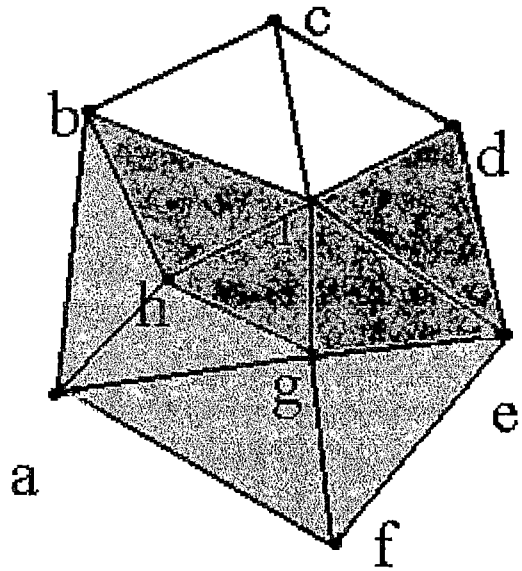
Los cambios de pendiente en los que debemos prestar especial atención son aquellos que al momento de realizar el modelo digital del terreno, deben ser correctamente visualizados ya sea mediante sus curvas de nivel o su modelo en 3D. Por ejemplo, el cambio de pendiente entre una zona llana a un cerro, o el de un talud y una plataforma. Si el modelo digital del terreno no representa adecuadamente las zonas de cambio de pendiente que es prioritario que sean mostradas, entonces vamos a estar en problemas.

*Por ejemplo : deseamos realizar un plano a curvas de nivel y se han tomado como datos de campo los puntos a, b, c, d, e, f, g, h, i. y sabemos que existen 2 zonas claramente definidas. La zona sombreada que corresponde a la parte ligeramente plana, mientras que*



la zona clara es la parte del cerro con bruscos cambios de pendiente respecto a la zona sombreada.

Entonces al proceder a realizar las interpolaciones entre puntos, los triángulos que se formarán serán como los que se indican en la siguiente figura, definiéndose 3 zonas: La zona plana (sombreado claro), la zona intermedia (sombreado oscuro) y la zona del cerro (color blanco). Como se observa, el programa ha creado una zona que no existe en el terreno y que la estamos llamando: zona intermedia, donde tenemos puntos de la parte plana que interpolan con puntos del cerro obteniéndose un dibujo del terreno, por parte de la computadora, que no es la que corresponde a la verdadera forma del terreno.



Por ejemplo el punto “h” y el punto “i”, están formando un *lado a interpolar* de un falso plano inclinado, como se muestra en el perfil esquemático. En el gráfico se observa como se interpola “h” con “i” sin tomar en cuenta el cambio de pendiente.

Existen muchas soluciones para resolver este problema, la solución general es tener una distribución homogénea de puntos. Esto es hacer que, además de tomar todos los puntos de modo que formen superficies triangulares, también las longitudes horizontales de los puntos a interpolar no deben ser muy diferentes entre sí. En especial durante los cambios bruscos de pendiente. Un contra-ejemplo sería que si

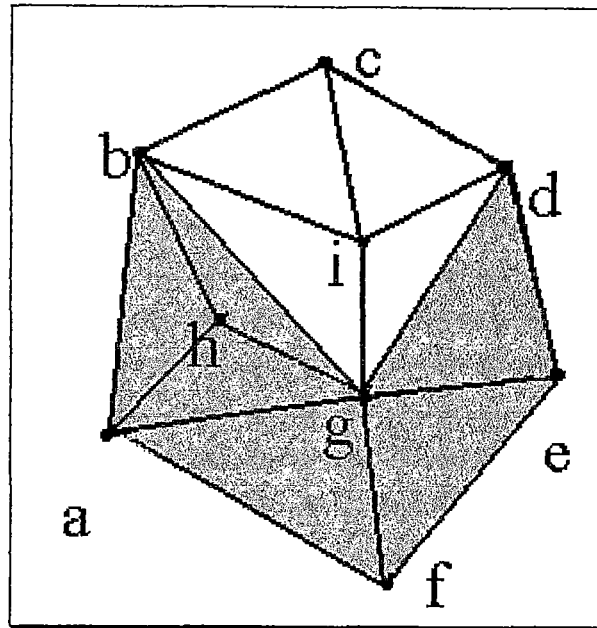
tomamos puntos cada 5 mts en la zona del cerro y cada 30 mts en la zona llana, esto haría que puntos de la zona llana que se encuentran cerca al cerro, “busquen” interpolarse con puntos del cerro, ya que estos están mas próximos que los propios puntos de la zona llana con los que debería interpolares. Sin embargo esta solución requiere un correcto planeamiento de la toma de datos en el campo, cosa que muchas veces no se hace.

Otra solución simple, es tomar mas puntos a menor espaciamiento a lo largo de las discontinuidades.

Además existen soluciones a considerar durante el trabajo de gabinete cuando ya el modelo digital de terreno está hecho. Estas soluciones dependen del software utilizado y son las siguientes.

Una solución, durante el trabajo de gabinete, es cambiar la dirección de los lados a interpolar (usando la opción indicada en 5.5), de modo que estos coincidan con la *línea de quiebre o discontinuidad* del terreno que se desea representar. Para nuestro ejemplo, cambiando el sentido de los lados “h-i” y “e-i”, al sentido “b-g” y “g-d” respectivamente, (como se muestra en el gráfico siguiente) se ha conseguido eliminar el problema de representar el cambio brusco de pendiente. Sin embargo esta solución no es definitiva ya que pueden existir partes en la línea de quiebre del terreno en la que no coincide ningún lado del T.I.N., por mas cambios de sentido que se hagan.

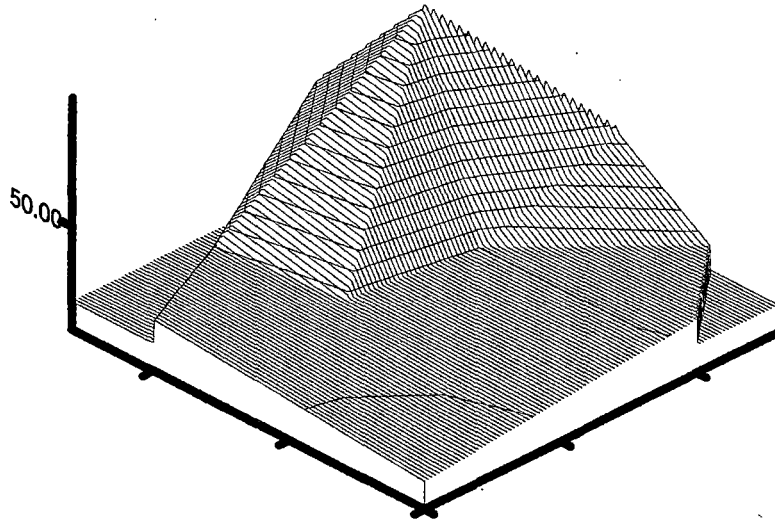
Otra solución, que además es la mejor, es definir las líneas de discontinuidad (llamadas también breaklines o líneas de quiebre), es decir aquellas por donde obligatoriamente deben pasar *los lados a interpolar*. En nuestro ejemplo, hubiese bastado con definir como líneas de quiebre a la secuencia “b-g-d”, entonces toda la zona llana se hubiese interpolado hasta dichas líneas y de forma similar hubiese ocurrido en la zona del cerro, como se indica en el gráfico siguiente.



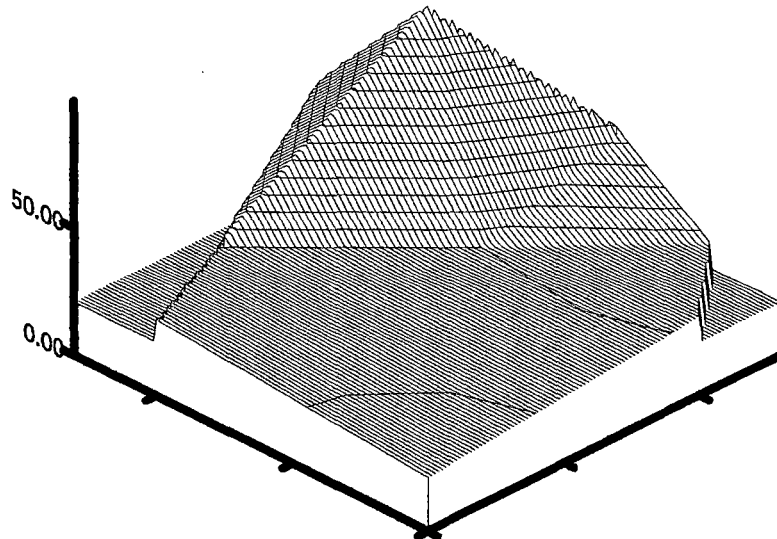
Finalmente existen programas en los cuales se puede definir la tendencia de los lados de los triángulos. Por ejemplo si la línea de quiebre tiene un azimut de  $45^\circ$ , se puede indicar que la tendencia de los triángulos es  $45^\circ$ , de modo que cuando se formen los triángulos de interpolación, lo hagan en lo posible formando el azimut de  $45^\circ$ . El problema de esta solución es que toda la línea de quiebre debe estar con el mismo azimut y además dicha tendencia no sólo se aplica a la línea de quiebre sino a todo el levantamiento, ósea debe planearse el levantamiento de modo que todos los puntos del levantamiento se interpolen en lo posible en la dirección de la línea de quiebre. Cosa a veces difícil de conseguir durante un trabajo de campo.

*Para el ejemplo se ha usado el programa SURFER, que a la "tendencia de interpolación" lo llama anisotropía. Así tenemos que las 2 proyecciones isométricas, mostradas a continuación, ha sido hechas en base al mismo archivo de datos de puntos, sin embargo la representación de la línea de quiebre entre el valle y el cerro son diferentes. De acuerdo a los datos de campo, la línea de quiebre debe ser una recta en toda su extensión, sin embargo en el primer gráfico se observan 3 rectas, esto debido a que existen puntos en el valle que hay interpolado con los del cerro creando una falsa representación del terreno. Así para reducir este problema, se recurrió a la anisotropía dando mayor peso en la dirección de la línea de quiebre, obteniendo el segundo gráfico.*

SUPERFICIE SIN ANISOTROPÍA



SUPERFICIE CON ANISOTROPIA

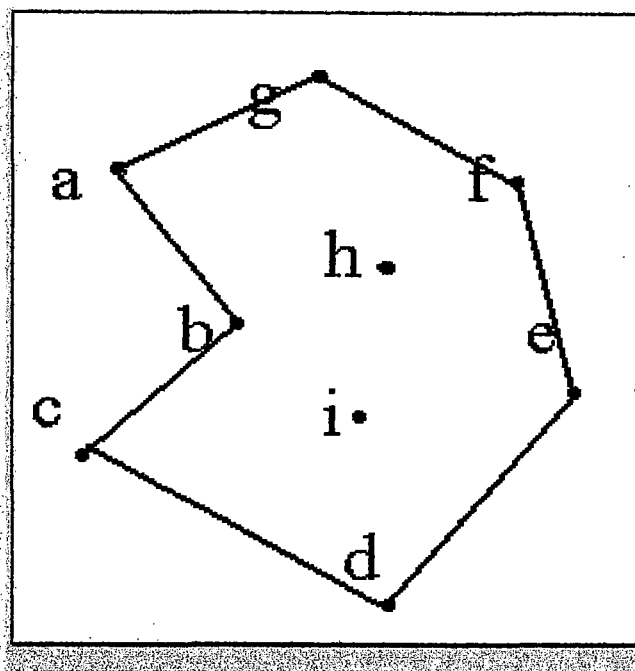




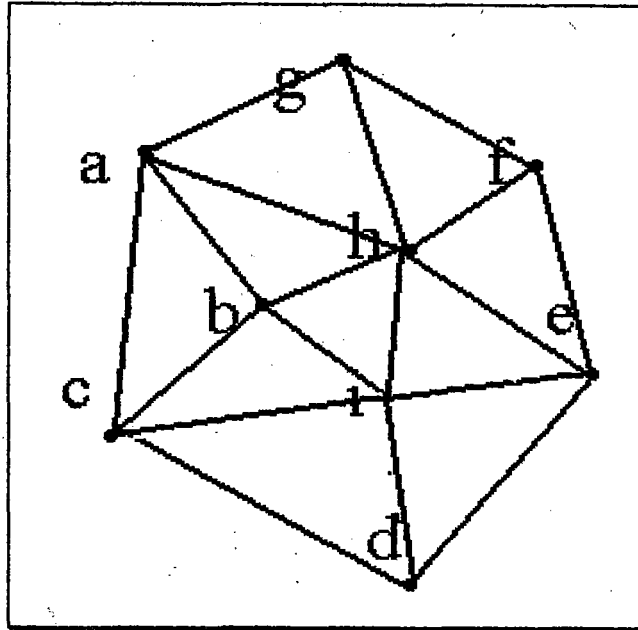
## b) El problema de frontera

En un trabajo topográfico el área del levantamiento tiene sus límites físicos los cuales están definidos por sus puntos extremos. En general hay que tener cuidado con dichos puntos ya que estos pueden ser el origen curvas de nivel inexistentes. A continuación se explicará la razón.

Por ejemplo que tenemos un levantamiento, cuyos puntos límites son: *a, b, c, d, e, f, g*. es decir dichos puntos definen los bordes del levantamiento, se ha trazado una línea continua uniendo dichos puntos con la finalidad de ver físicamente los límites del levantamiento, como se muestra a continuación:

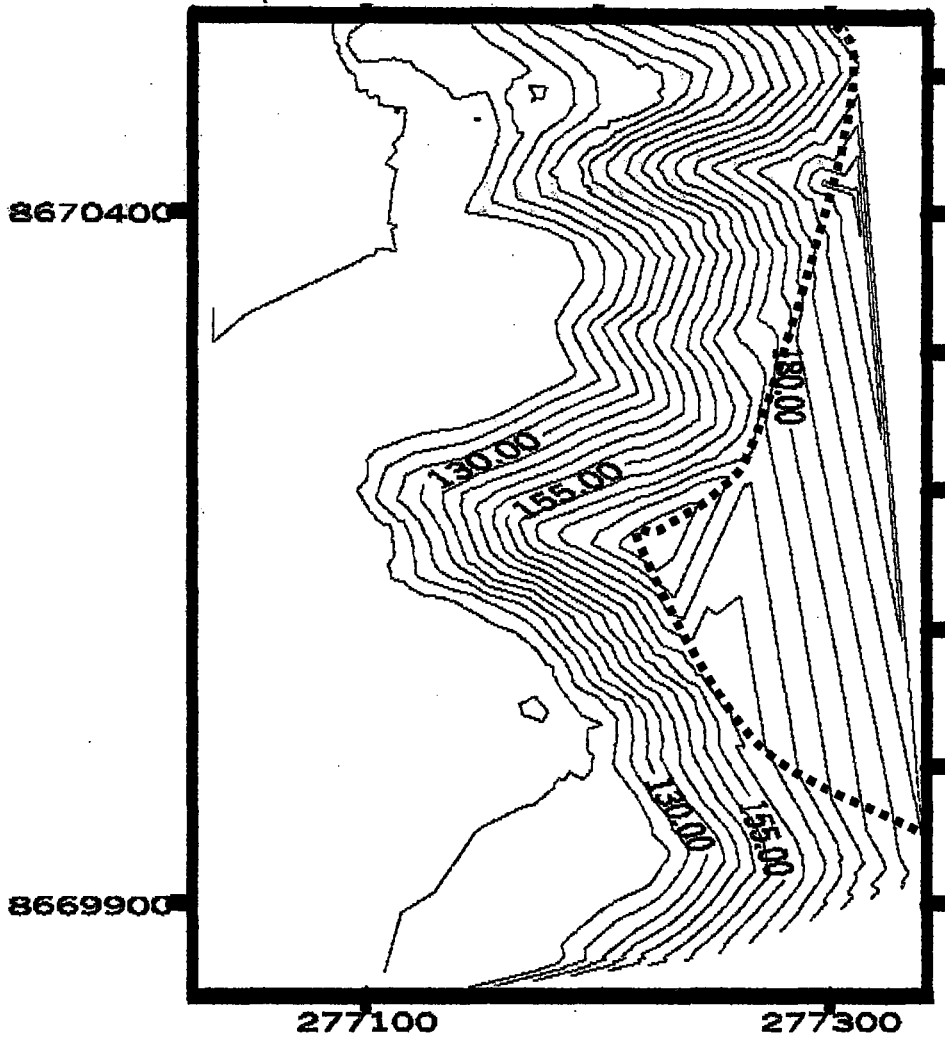


Ahora al realizar la interpolación desearíamos que las curvas de nivel se dibujen dentro de los límites definidos anteriormente. Sin embargo nos llevamos la sorpresa que las curvas de nivel han sido dibujadas dentro de otros límites, es decir dentro de los límites definidos por los puntos *a, c, d, e, f, g*. Esto debido a que al momento que el programa define los lados a interpolar, también interpola puntos en el lado a-c (como se observa en el gráfico siguiente), llegando a dibujar curvas de nivel dentro del triángulo formado por los puntos *a, b* y *c*.



Lo que conlleva a crear curvas de nivel inexistentes y que se encuentran fuera de la frontera de nuestro dibujo.

Un ejemplo aplicativo de este problema, se tuvo al momento de querer modelar los cerros de la UNI, ya que dichos cerros son propiedad de la UNI y del Ministerio de defensa, encontrándose delimitados en su mayor extensión por la línea divisoria de aguas de dichos cerros, y en menor parte por unos cercos colocados para dicho fin. Resultó que al momento de realizar el plano a curvas de nivel, se tenían curvas de nivel fuera de los límites de la UNI, en la parte que corresponde al Ministerio de defensa. Este problema se visualiza en el croquis siguiente, creado con un programa aplicativo, donde se está mostrando los cerros desde el pabellón A hasta el M. La línea punteada son los límites de la UNI determinado por la línea divisora de aguas y cercos. Se observa curvas fuera de dicha línea. El programa había unido puntos de igual cota, mediante curvas de nivel, aún cuando estos estaban fuera de los límites. Lo que llevaba a resultados absurdos.



Existen muchas soluciones para este tipo de problema. Una solución muy utilizada por los programas de topografía, es delimitar los bordes y borrar todo lo que se encuentra fuera de dichos límites. Otra solución es borrar los lados de los triángulos formados fuera de nuestros límites ya que al no haber triángulos, no se pueden dibujar las curvas de nivel.

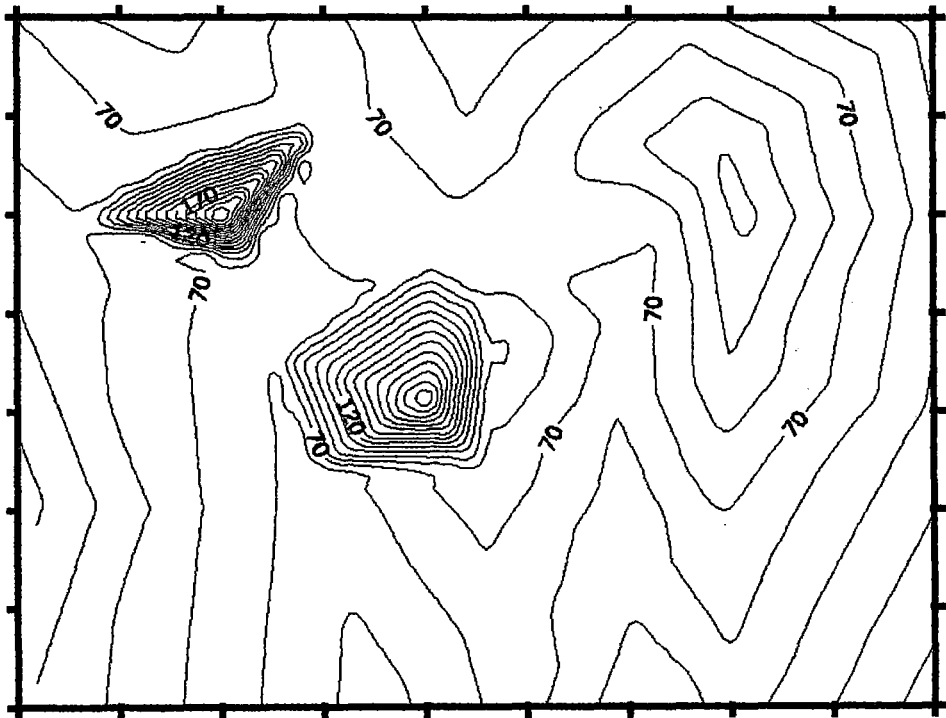
### c) Problema de las curvas “tiro al blanco”

Si en el plano a curvas de nivel se encuentran curvas muy juntas rodeando un área pequeña, como se muestra en el gráfico siguiente (se les llamará “*Curvas tiro al blanco*”), es conveniente revisar los datos en dichos sectores para ver si realmente se justifican esas curvas, ya que en algunos casos esas curvas han sido creadas debido a un mal criterio como:

- C.1) Tomar puntos que no se encuentran en el suelo
- C.2) Almacenar datos equivocados en la colectora de la Estación Total.

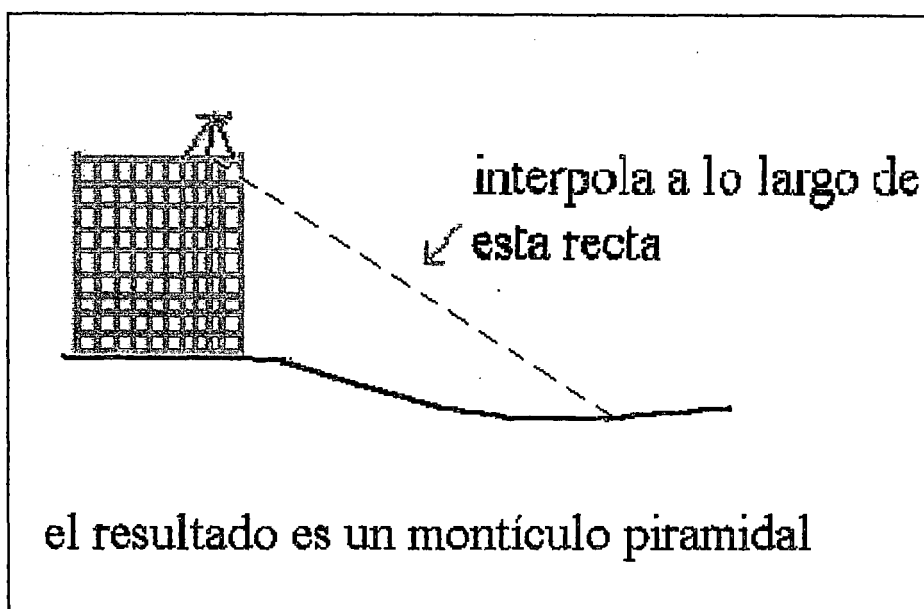
#### EJEMPLO DE CURVAS “TIRO AL BLANCO”

Se observan 2 casos de este tipo de curvas, en ambos casos habrá que revisar los datos para ver si estos casos son posibles o caso contrario tomar acciones con la finalidad de eliminarlos.



- C.1) Tomar puntos que no se encuentran el suelo

Es común tomar puntos encima del terreno, por ejemplo: sobre edificios, tanques, etc. Lo que está mal es considerar dichos puntos para la elaboración del modelo digital del terreno, ya que durante el proceso automatizado de interpolación son tomados estos puntos para dicho proceso, entonces el programa considerará, por ejemplo, al edificio como una loma, originándose curvas de nivel concéntricas alrededor del punto topográfico de la azotea.



El criterio básico para dar solución a este problema es, simplemente, no considerar dichos puntos en la interpolación para lo cual existen muchas soluciones:

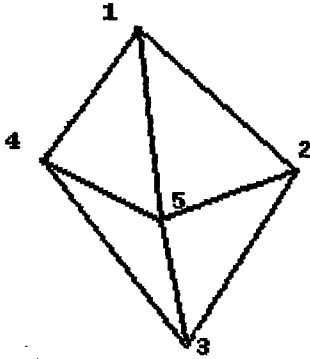
La solución general es: teniendo el archivo de datos de campo, separar aquellos que ha de servir para realizar el modelo digital del terreno en un archivo aparte, de modo que usar este último para la creación del modelo. *Así por ejemplo, partiendo del archivo de datos de campo, podemos crear un archivo con datos del punto del terreno (PT), otro con los datos de puntos de detalles (PD) y otro con los datos de la poligonal o red de apoyo (PP). Pudiendo estar los mismos datos de un punto en mas de un archivo, de acuerdo a sus características, así un punto de la poligonal, si se encuentra en el terreno, sus mismos datos estarían en los archivos PT y PP. De modo que con el archivo PP crearíamos el modelo digital del terreno, cargaríamos el archivo PD para dibujar los detalles y el archivo PP nos serviría solo para representar la poligonal y sus puntos.*

Así también podemos usar las características propias que tienen los programas aplicativos para solucionar este problema, como:

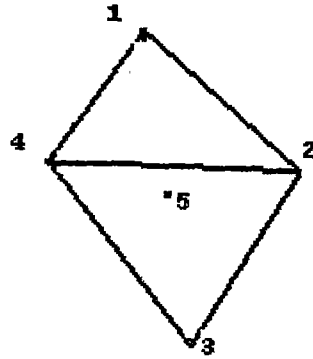
-Modificando puntos: Como se explicó en 5.3.2, podemos modificar las propiedades de un punto, si es que el programa dispone de esta opción. *Así por ejemplo: hemos cargado 5 puntos al modelo digital del terreno. Los puntos 1,2,3,4,5. Pero resulta que el punto 5 no está sobre el terreno, entonces cambiaremos de propiedades de dicho punto de modo que al volver a realizar el modelo no tomará en cuenta el o los puntos*

*cuyas propiedades han sido cambiadas.* Existen programas que al cambiar de propiedades a los puntos, entonces automáticamente regeneran el modelo digital del terreno, otros en cambio es necesario borrar el modelo digital creado y volver a crearlo .

**Los 5 puntos pertenecen al MDT pero el punto 5 origina curvas "tiro al blanco"**



**Las propiedades del punto 5 han sido cambiadas. Dicho punto se sigue viendo pero no interpola .**



-Borrando los lados a interpolar: También se puede usar esta opción para solucionar el problema en mención, borrando todos los lados que convergen al punto problema. Sólo que en este caso, al no existir lados a interpolar, obviamente no dibuja curvas de nivel en las zonas borradas. Así en el ejemplo anterior, si borramos los lados que convergen al punto 5, no se dibujarán curvas en el área encerrada por los puntos 1,2,3 y 4. Si el punto 5 está encima de un edificio y los puntos del 1 al 4 son sus esquinas, esta opción podría ser muy útil para eliminar el problema de las curvas "tiro al blanco" y de paso eliminar la posibilidad de tener curvas de nivel sobre el edificio.

## c.2) Almacenar datos equivocados en la colector de la Estación Total

Muchas veces el problema de las curvas "tiro al blanco" es porque cuando se trabaja con Estación total no se han colectado los datos en forma adecuada, como por ejemplo ingresar la altura equivocada al prisma. Pero el mayor problema ocurre con las estaciones totales que tiene tornillos de bloqueo y tangenciales. Estos equipos requieren que sus tornillos de bloqueo estén perfectamente ajustados cuando de va a medir un punto. Si ocurriese que el equipo esta suelto, entonces cuando se mida una distancia hacia un

prisma y se presione la tecla respectiva para almacenar las mediciones hechas, la estación se moverá ligeramente, variando el ángulo leído y por lo tanto almacenando un punto ficticio cuyos datos son la misma distancia al punto medido pero con diferente ángulo. Para evitar esto será necesario adiestrar adecuadamente al operador de la Estación total para este tipo de equipos.

## 5.7 - Cálculos en el Modelo digital del terreno

Una vez determinado el Modelo digital del terreno, los programas aplicativos disponen de rutinas que permiten hacer cálculos sobre éste Modelo.

El principal cálculo que se puede realizar es la elaboración de las curvas de nivel para lo cual principalmente se solicita el espaciamiento vertical entre curvas. Los problemas que presenta la elaboración de las curvas de nivel tienen relación con el modelo digital del terreno con el cual se está trabajando y fue explicado en la sección anterior.

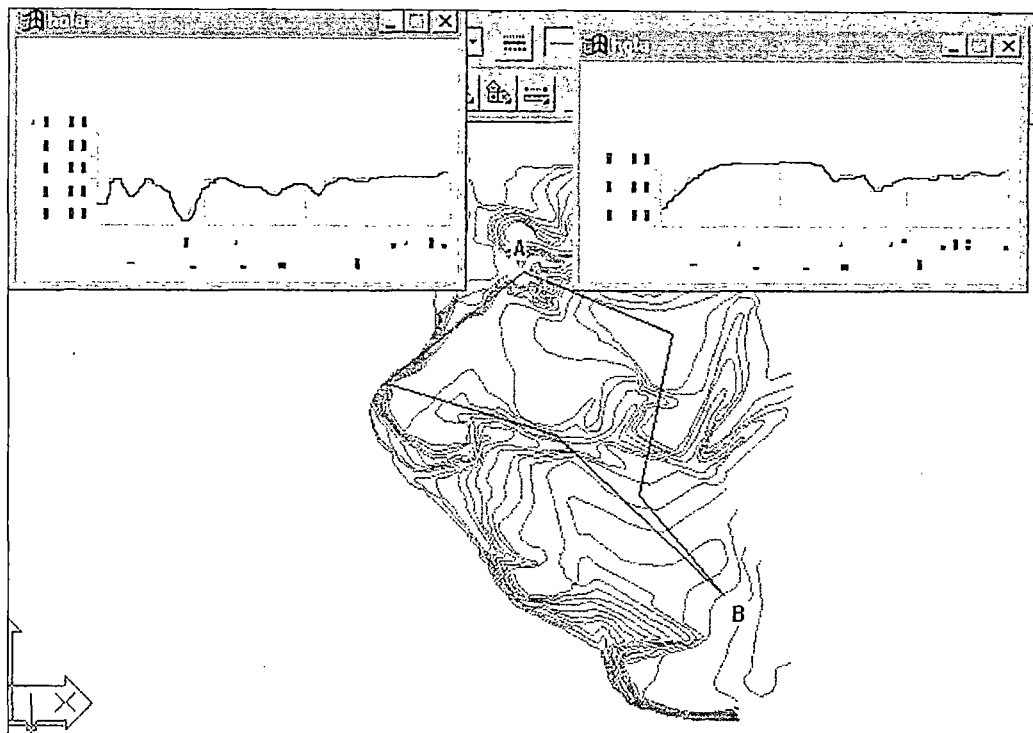
Otras rutinas importantes son aquellas que tiene que ver con el cálculo de volúmenes. Para lo cual muchas veces es necesario tener dos superficies ( dos Modelos digitales) que limitan el volumen a calcular. Es aquí donde el usuario puede escoger el método para calcular el volumen o la precisión requerida y realizar las rutinas de cálculo las veces que sean necesarias hasta obtener resultados de volúmenes satisfactorios.

Algunos programas disponen la posibilidad de realizar perfiles en tiempo real de un trazo horizontal dibujado sobre el Modelo digital. Esta aplicación es útil ya que, por ejemplo, reemplaza a la antigua técnica de la línea de gradiente usada para definir el trazo de un camino, ya que al tener el perfil en tiempo real, el usuario puede ver al instante la diferencia de elevación entre dos puntos así como su pendiente o los cambios de pendientes existentes. De modo que al modificar el trazo horizontal automáticamente el programa que dispone de esas rutinas, mostrará automáticamente el nuevo perfil.

*En el gráfico mostrado a continuación, se muestra una aplicación mediante el programa aplicativo Civil Survey. Desde el punto A que se encuentra al NorOeste del plano a curvas de nivel se ha llegado al punto B por 2 caminos diferentes. El programa muestra automáticamente los perfiles de ambos programas, de modo que el*



*usuario puede observar directamente cual de los caminos es menos accidentado, o cual es mas largo, o la pendiente por tramos entre otras cosas.*



También muchos programas aplicativos permiten realizar vistas isométricas o en perspectiva del modelo digital del terreno, llegando inclusive a conseguir presentaciones foto realistas.

Sobre el modelo digital del terreno se pueden realizar proyectos de carreteras, canales, saneamiento, hidráulica, edificaciones, etc. Para lo cual existen múltiples programas aplicativos según sea el caso. En el siguiente capítulo se analizará los 2 programas peruanos disponibles para la Vialidad.

## 5.7 PROGRAMAS APLICATIVOS A LA VIALIDAD

Existen múltiples programas aplicados a la vialidad, los cuales permiten al Ingeniero Vial optimizar los procedimientos de diseño, disminuir los tiempos de elaboración de los proyectos y por ende los costos, agilizar los trabajos de replanteo en el campo, así como realizar rápidamente modificaciones y cálculos al proyecto durante la ejecución del mismo.

El presente trabajo se enfoca en los dos programas aplicativos creados en el Perú, que a pesar de sus debilidades - las cuales serán explicadas al detalle en los párrafos siguientes – son estos programas un gran paso adelante en la automatización de los proyectos de vialidad peruanos ya que además de haber sido elaborados por peruanos, son lo que en la jerga informática se llama “amistosos”, sus comandos son en Español, están adecuados a las normas peruanas y además sus precios están muy por debajo del costo promedio de los programas extranjeros.

Los programas en mención son: AIDC y el K&BVIA.

El AIDC (Asistente Integral de diseño de Carreteras) originalmente creado en entorno del AutoCad R13, la última versión se encuentra en el entorno de AutoCad 2000. Para los usuarios del AutoCad, resulta un programa muy amistoso.

El K&BVIA, cuyo primer desarrollo data de 1972, en la actualidad se encuentra en su quinta edición. Tiene su propio entorno gráfico.

Es importante indicar que ambos sistemas disponen de una adecuada política de difusión en Universidades y Centros de educación Superior, ya que en estos casos se venden los productos a precios bastante rebajados e inclusive muchas veces se ofrecen de manera gratuita.

## 5.7 PROGRAMAS APLICATIVOS A LA VIALIDAD

Existen múltiples programas aplicados a la vialidad, los cuales permiten al Ingeniero Vial optimizar los procedimientos de diseño, disminuir los tiempos de elaboración de los proyectos y por ende los costos, agilizar los trabajos de replanteo en el campo, así como realizar rápidamente modificaciones y cálculos al proyecto durante la ejecución del mismo.

El presente trabajo se enfoca en los dos programas aplicativos creados en el Perú, que a pesar de sus debilidades - las cuales serán explicadas al detalle en los párrafos siguientes - son estos programas un gran paso adelante en la automatización de los proyectos de vialidad peruanos ya que además de haber sido elaborados por peruanos, son lo que en la jerga informática se llama "amistosos", sus comandos son en Español, están adecuados a las normas peruanas y además sus precios están muy por debajo del costo promedio de los programas extranjeros.

Los programas en mención son: AIDC y el K&BVIA, en sus versiones hasta Noviembre del 2002.

El AIDC (Asistente Integral de diseño de Carreteras) originalmente creado en entorno del AutoCad R13, la última versión se encuentra en el entorno de AutoCad 2000. Para los usuarios del AutoCad, resulta un programa muy amistoso.

El K&BVIA, cuyo primer desarrollo data de 1972, en la actualidad se encuentra en su quinta edición. Tiene su propio entorno gráfico.

Es importante indicar que ambos sistemas disponen de una adecuada política de difusión en Universidades y Centros de educación Superior, ya que en estos casos se venden los productos a precios bastante rebajados e inclusive muchas veces se ofrecen de manera gratuita.

Si bien ambos programas están básicamente relacionados al trazo geométrico de la carretera, el K&BVIA se enlaza con el K&BCOP permitiendo obtener el Costo de Construcción en línea de la Vía lo que permite hacer modificaciones al trazo de la vía actualizándose en línea hasta obtener el PRESUPUESTO de esta.

Los aspectos a analizar en estos programas aplicativos peruanos, van a ser los siguientes:

- a.- La base de datos
- b.- El modelo digital del terreno
- c.- Diseño horizontal
- d.- Diseño vertical
- e.- Secciones
- f.- Volúmenes
- g.- Replanteo
- h.- Presentación

A Continuación se analizan cada uno de los Items mencionados:

- a.- La base de datos

**El formato ASCII de filas y columnas:** Esta estructura es usada cuando se tienen datos tomados de la Estación total, restituidores fotogramétricos, GPS u otros equipos, que muestren los datos de campo en coordenadas, o cuando dichos datos son resultado de la digitalización de un plano sobre el cual se desea hacer el proyecto.

El AIDC presenta la posibilidad de importar dichos datos y visualizarlos como puntos en su entorno gráfico sin importar la extensión que tengan, además hay 8 opciones para escoger el orden como se encuentran los datos a importar como se observa en el gráfico. Los datos deben estar

separados por comas ya que otro tipo de separador puede crear problemas durante la importación. Restricción que debe ser superado en versiones posteriores de este programa.

El K&BVIA permite leer directamente un archivo de filas y columnas creados desde el EXCEL para mostrarlo como puntos en su entono gráfico. Sin embargo esta manera de trabajo aparentemente mas fácil, requiere que el usuario tenga instalado el Excel, además si los datos de la Estación total están en un archivo ASCII, deberá éste pasarse al Excel para crear un archivo XLS que pueda ser leído por el K6BVIA, con la consiguiente perdida e tiempo. Además se ha probado que existen versiones del Excel que no son compatibles con el sistema. Afortunadamente la última versión del K&BVIA también permite importar archivos ASCII de coordenadas en filas y columnas.

Los **datos taquimétricos**, ambos sistemas permiten trabajar con datos taquimétricos tomados desde una poligonal de apoyo. Respecto a la poligonal de apoyo, el sistema AIDC no permite calcular las poligonales, por lo que el usuario deberá ingresar al sistema las coordenadas ya calculadas con la finalidad que pueda procesar los datos taquimétricos. Sin embargo el K&BVIA permite calcular las coordenadas de una poligonal abierta sin control angular, teniendo como datos las coordenadas de inicio, azimut de partida, las distancias de los lados y los ángulos horizontales en cada vértice. Es importante observar que no permite calcular poligonales cerradas ni poligonales abiertas con control angular. *En el gráfico se observa que ingresando todos los datos del PI-1 (primera fila), y los ángulos horizontales y distancias de los otros PIs, el programa calculará los respectivos acimuts y coordenadas.*

The screenshot shows a software interface with a toolbar at the top and a data table below. The table has columns for PI, ANGULO HORIZONTAL, AZIMUT, Distancia, Coord.Norte, Coord.Este, and COTA. The data is as follows:

PI	ANGULO HORIZONTAL			AZIMUT			Distancia	Coord.Norte	Coord.Este	COTA
	Grados	Minutos	Segundc	Grados	Minutos	Segundc				
1	0	0	0	243	41	10.26	111.17	20000	30000	2871.14
2	155	12	56.27	243	41	10	57.29	19950.719618	29900.349546	2865.72
3	150	32	48.64	218	54	6.3	124.08	19698.352921	29858.09232	2862.51
4	204	47	29.95	189	26	54.9	50.83	19775.956276	29837.723036	2856.78
5	206	35	29.02	214	14	24.9	102.3	19733.935846	29809.12282	2854.23
6	225	46	44.96	240	49	53.9	47.19	19684.077113	29719.795351	2849.3
7	232	32	2.45	286	36	38.8	38.12	19697.567262	29674.574648	2847.14
8	0	0	0	339	8	41.3	0	19733.189759	29661.003646	2845.73

Buttons visible: INSERTAR, BÓRRAR, CÁLCULAR POLIGONAL, GRABA EN TAQUIMETRIA, OPTIONES, Grabar, Copiar Como, Borrar, Validación.

Ambos programas permiten calcular las coordenadas de los datos taquimétricos, mientras que el AIDC solicita el ingreso de la lectura en los hilos estadimétricos, el K&BVIA solicita el valor de la Generatriz (diferencia de hilos multiplicada por 100). Es conveniente observar que el ingreso de ángulos en el AIDC es mas sencillo que en el K&BVIA ya que para ingresar un valor de por ejemplo: 30°22'30", bastará con ingresar 30.2230. Mientras que en el K&BVIA los grados, minutos y segundos son ingresados por columnas.

**AIDC**

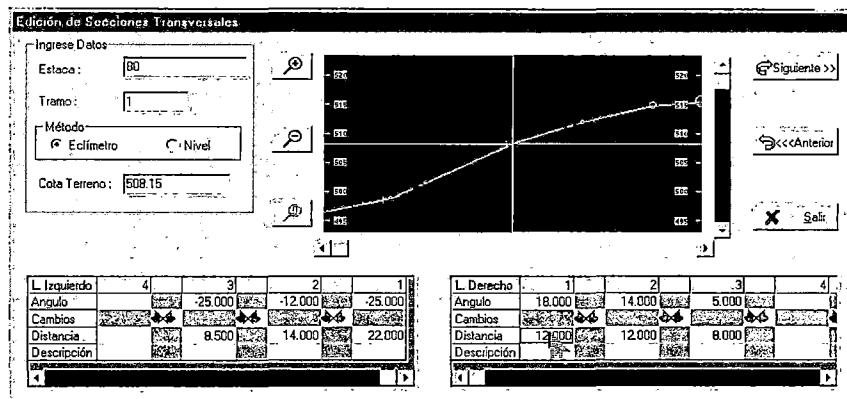
A. Horiz.
159°00'00"
123°00'00"
232°00'00"
12°00'00"

**K&BVIA**

Grados	Minutos	Segundc
338	34	000
346	30	000
353	42	000
010	38	000

Los **datos mediante secciones transversales**. Ambos programas permiten trabajar con datos si es que estos han sido tomados mediante secciones transversales. Estas secciones pueden ser tomadas con el eclímetro, nivel de ingeniero o mediante la Estación total con la función especial de "medición entre puntos". Todas las secciones deberán estar

levantadas a partir de un eje. En caso las secciones hayan sido realizadas con eclímetro, habrá que ingresar los ángulos y distancias horizontales de los puntos de las secciones. En caso sean las secciones realizadas con nivel o Estación total se tendrá que ingresar las distancias horizontales y verticales entre los puntos de la sección. En ambos casos también habrá que ingresar la cota del terreno en el eje. Las coordenadas de los ejes deben encontrarse calculadas y almacenadas de modo que podamos correlacionar las secciones transversales introducidas con el respectivo y poder crear un archivo de puntos de coordenadas. Ambos sistemas disponen de una ventana gráfica, donde se puede visualizar cada sección transversal. En el gráfico del ejemplo se observa en el entorno del AIDC, los datos que se requiere ingresar para realizar las secciones transversales con eclímetro. Un entorno similar dispone el K&BVIA.



#### b.- El modelo digital del terreno

Ambos sistemas permiten la creación del modelo digital del terreno partiendo de los datos de puntos. En el caso del AIDC, se puede trabajar hasta con 10000 puntos, en el K&BVIA no existe restricción en el número máximo de puntos a trabajar, sin embargo en todo caso no es conveniente sobrepasar los 5000 puntos para evitar cargar mucho la memoria y por ende bajar el rendimiento del sistema.

El modelo digital creado por ambos sistemas es el T.I.N. (Triangulated irregular network) aunque ambos sistemas usan diferentes algoritmos: el AIDC supuestamente usa la triangulación Delaunay, mientras el K&BVIA usa un modelo octal consistente en dividir el área en 8 partes alrededor de un punto dado para así crear un lado del T.I.N. En todo caso ambos algoritmos usados por los programas peruanos usan el método de **inserción incremental** para crear sus modelos.

Ambos sistemas permiten ediciones al T.I.N. he elaborado un cuadro paralelo sobre las ediciones que se pueden realizar al T.I.N. Es conveniente observar que ambos sistemas no permiten crear discontinuidades, por lo que el usuario deberá tomar sus precauciones en el campo y en el gabinete con la finalidad de minimizar este problema.

#### **CARACTERÍSTICAS DEL T.I.N.**

<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>AIDC</b>	<b>K&amp;BVIA</b>
Agregar puntos (regeneración automática)	No	No
Borrar puntos (regeneración automática)	<b>Si</b>	No
Modificar puntos	<b>Si</b>	Si
Cambiar lados del T.I.N.	<b>Si</b>	<b>Si</b>
Borrar lados del T.I.N	<b>Si</b>	<b>Si</b>
Crear discontinuidades	No	No



### c.- Diseño horizontal

Antes de la aparición de los programas aplicativos a la Vialidad, Cuando se desarrollaba proyectos mediante el trazo indirecto, era común realizar una línea de gradiente y luego teniendo en cuenta este trazo, realizar el trazo de la carretera. En la actualidad, la mayoría de programas aplicativos no incluyen en sus rutinas el trazo de líneas de gradiente; ya que ésta resulta obsoleta teniendo en cuenta que el usuario puede crear en tiempo real cualquier perfil del terreno con solo presionar sobre 2 puntos del T.I.N. o cambiar el trazo original de la carretera con sólo mover la posición horizontal del los Puntos de intersección de los alineamientos (Pis) y de manera automática todos los perfiles son re-dibujados o tener una visualización tridimensional del terreno lo cual nos ayuda para ajustar mejor nuestro trazo a las características del terreno o inclusive existen programas con el GeoPack que calcula automáticamente múltiples trazos con la condición que el usuario le indique las características técnicas del proyecto y sus puntos de inicio y fin.

Aún cuando la línea de gradiente resulte una rutina obsoleta en los programas aplicativos modernos, el AIDC todavía apuesta por la realización de trazos de caminos con este tipo de metodología, posiblemente porque no incluye otras técnicas mas modernas. En caso del K&BVIA ha eliminado esta opción ya que el usuario puede trabajar con mucha facilidad el Diseño Geométrico por Trazo Directo o

Indirecto, pudiendo en Trazo Indirecto colocar el eje de manera gráfica ajustándose a las características topográficas del terreno para lo cual el K&BVIA generara Automáticamente un nuevo Perfil del terreno y las Secciones Transversales para cada caso, permitiendo al usuario visualizar cual seria el Eje mas conveniente.

El dibujo de los alineamientos del camino puede ser realizado a partir de una poligonal calculada previamente para dichos alineamientos, la cual ya se encuentra guardada en un archivo y sólo es necesario cargarla. También se puede dibujar los alineamientos directamente sobre sus respectivos entornos gráficos. Teniendo los alineamientos podremos luego asignar las curvas horizontales.

Ambos programas permiten la edición de los alineamientos, mientras que el AIDC permite la edición analítica, el KBVIAS permite una edición gráfica. Veamos en que consiste:

*En el gráfico se muestra para el AIDC, el editor del eje. Como se observa muestra las coordenadas de todos los PIs. Además entre otras cosas, muestra la distancia total del eje, de modo que si ingresamos o modificamos el radio en alguno de los vértices, entonces automáticamente el programa calculará la nueva distancia total. Algo similar ocurriría si deseamos mover el eje, cambiando las coordenadas de alguno o algunos de los vértices Observamos que también es posible asignar espirales de transición con solo asignar su longitud.*

Edición del Eje

Eje0.1 eje inicial

Nº PI	Ang.Der/Azim	Prog/Dist	Radio	L.Espiral	Norte	Este
0		0.000			100200.000	50000.000
1	55°00'00"	342.450	120.000		100396.421	50280.519
	32°00'00"	295.400				
2	214°55'00"	637.256	250.000		100646.935	50437.057
	66°55'00"	417.641				
3		1050.000			100810.679	50821.260

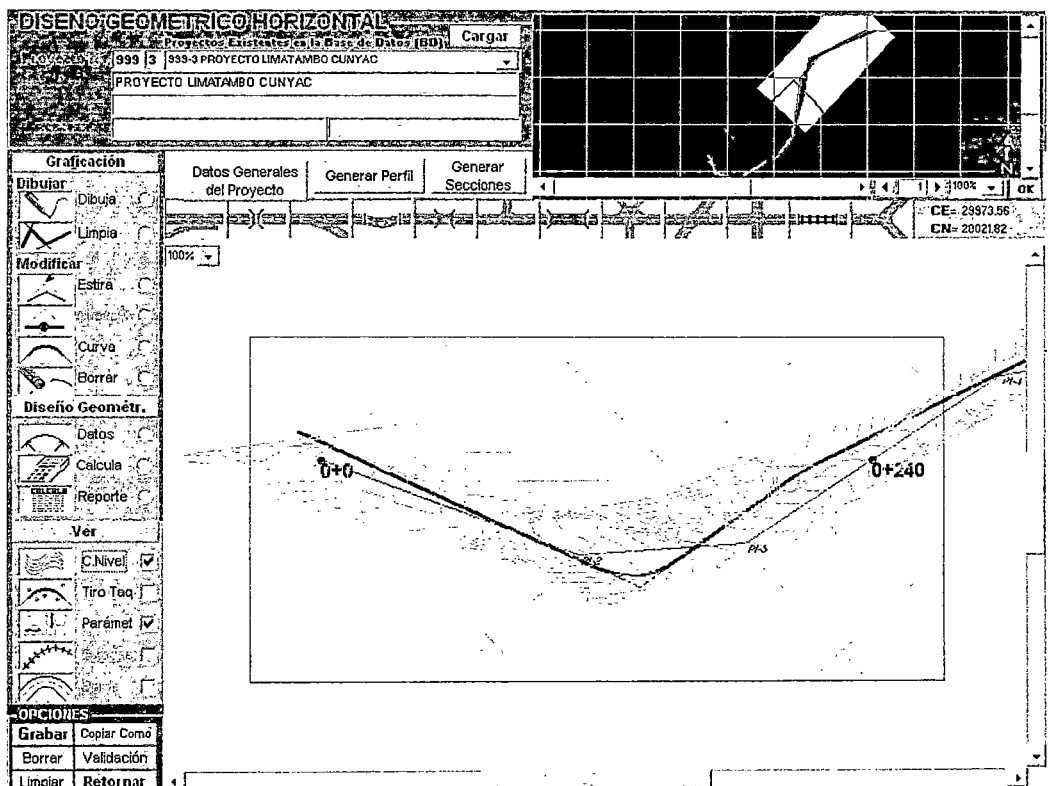
En el caso del KBVIAS la edición gráfica consiste en picar sobre el PI. Que deseamos modificar y arrastrarlo a la nueva posición horizontal, así de manera automática los alineamientos y la curva que estén relacionados con este PI, serán modificados para ajustarse a esta nueva posición.

Es muy importante observar que el AIDC permite el ingreso de espirales de transición más no así el K&BVIA. Esto obligará a los usuarios del K&BVIA a tomar radios de diseño mayores para evitar espirales de transición. Así por ejemplo si vamos a diseñar una carretera en área rural con peligro de hielo, si usamos el AIDC podremos diseñar con radios mínimos de 30 mts con espirales de transición, mientras que si lo diseñamos con el K&BVIA habrá que tomar radios mínimos de 80 mts.

Ninguno de los programas dispone de la posibilidad de reportar las coordenadas de la progresiva a un archivo ASCII, esto es muy importante si lo que se desea es replantear con Estación total o con GPS. Sería muy conveniente que las siguientes versiones incluyan esta opción.

El K&BVIA dispone la posibilidad de plotear el plano por partes de acuerdo a la escala escogida y al tamaño de papel escogido. En el AIDC, escoger la escala o el tamaño del papel son comandos del AutoCad.

*En la figura siguiente, se muestra el entorno gráfico del K&BVIA para realizar el trazo de la carretera. En la parte superior izquierda se carga y se indica el archivo del proyecto con el que se está trabajando, en la parte superior derecha mediante un cuadro pequeño permite escoger la porción del camino que saldrá ploteado. En los botones de la izquierda inferior están los comandos de dibujo y otros, a su derecha está el entorno gráfico sobre el cual se visualiza el trazo y las curvas de nivel*



A continuación se muestra un cuadro resumen de las principales características que disponen o que deberían disponer para el diseño horizontal.

### CARACTERÍSTICAS DEL TRAZO HORIZONTAL

ESPECIFICACIÓN	AIDC	K&BVIA
Dispone de ayudas para determinar el trazo (línea de gradiente o perfiles en tiempo real, etc)	Si	Si
Dibujo del trazado horizontal de manera interactiva sobre la pantalla.	Si	Si
Modificar el trazo en forma analítica	Si	No
Modificar el trazo en forma gráfica	No	Si
Espirales de transición	Si	No
Genera archivos ASCII de coordenadas para replanteo con equipos electrónicos.	No	No

#### d.- Diseño vertical

Con el modelamiento digital del terreno y con el trazo horizontal, ambos sistemas permiten realizar automáticamente el perfil longitudinal. Una vez visto dicho perfil en la pantalla el usuario podrá dibujar la rasante.

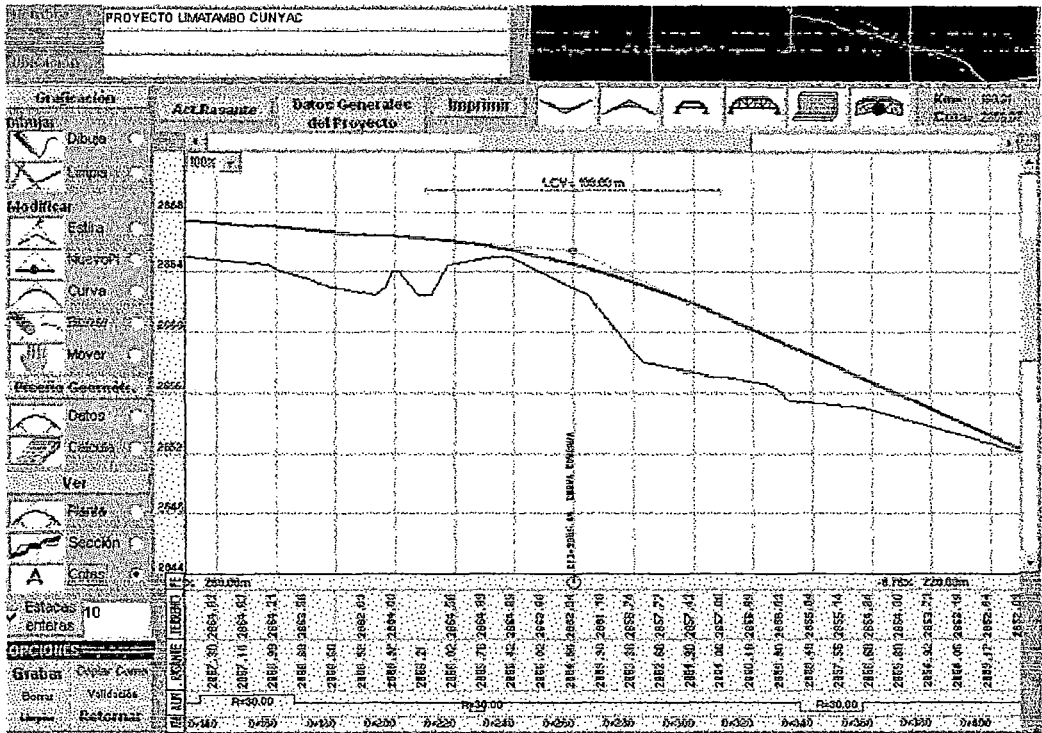
El método para dibujar la rasante que utilizan ambos programas es realizando trazos rectos a lo largo del perfil longitudinal. Dichos trazos vienen a ser la línea de rasante. Con lo que tendremos en la pantalla una serie de trazos verticales cuyas pendientes son calculadas automáticamente por los programas.

Para que el programa dibuje la curva vertical, bastará con que el usuario ingrese la longitud de cada una de las curvas. (Sin embargo es importante observar que ambos programas no permite crear curvas verticales compuestas, tampoco permite crear curva vertical que pase por un punto dado, ambos casos usados en condiciones especiales cuando se trata de acomodar mejor la rasante.)

Para editar la rasante, por ejemplo para cambiar la pendiente o la longitud de la curva, el AIDC muestra un cuadro diálogo para realizar dichas modificaciones de manera similar al mostrado para curvas horizontales, mientras que el K&BVIA la edición se realiza de manera gráfica sobre el mismo dibujo.

*Como ejemplo se muestra el entorno gráfico de K&BVIA, si se quisiera mover el punto de intersección de la curva vertical mostrada a otra posición, bastará con seleccionar la opción **Estira** y arrastrar el mouse desde dicho punto hacia la nueva posición; y en caso se desease*

mouse desde dicho punto hacia la nueva posición; y en caso se desee cambiar la longitud de la curva entonces habrá que seleccionar la opción **Curva** y arrastrar el ratón horizontalmente para indicar la nueva longitud de la curva. Para todo cambio realizado habrá que volver a calcular las cotas mediante la opción **Calcular**.



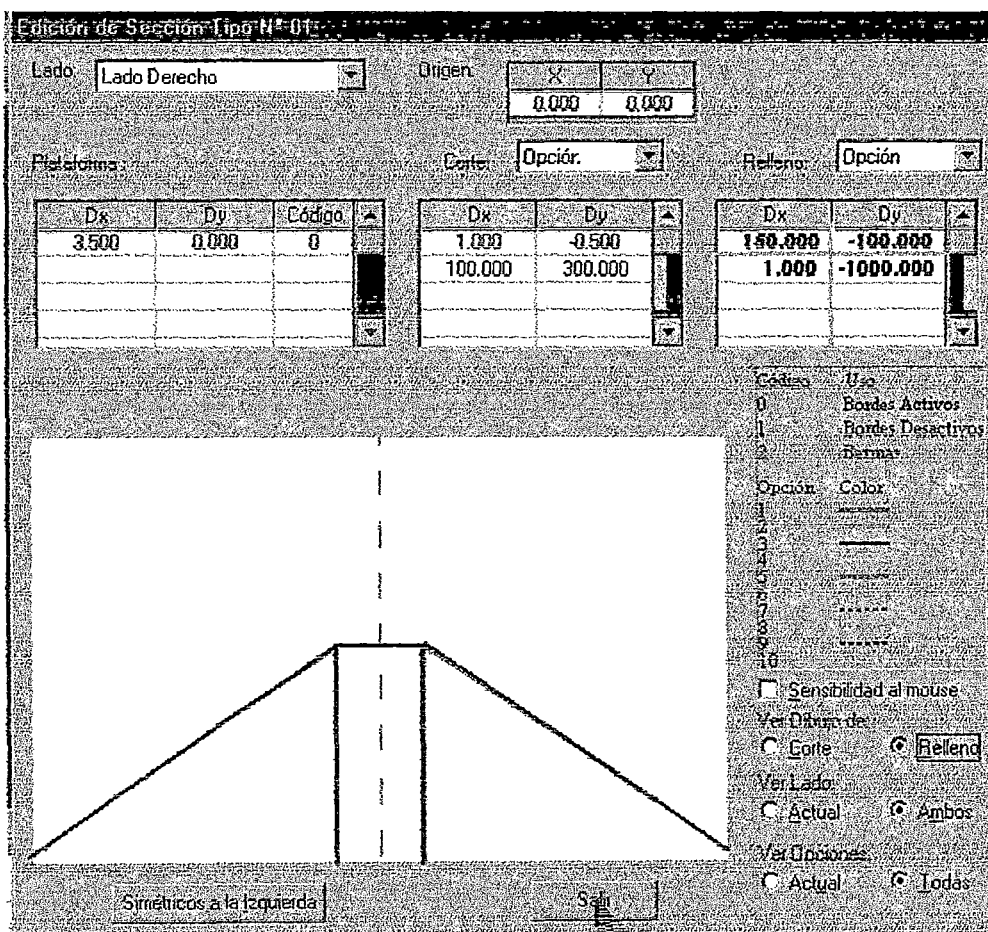
#### e.- Secciones transversales

Ambos programas permiten la realización de las secciones transversales del terreno y de la construcción por estaca para el eje determinado.

Las secciones transversales del terreno se realizan teniendo como referencia el modelo digital del terreno T.I.N. creado anteriormente y el estacado horizontal. El terreno es dibujado mediante trazos rectos por cada triángulo encontrado.

- El bombeo, peraltes y sobre-anchos deben ser conocidos si se desea ingresar estos valores a la sección mostrada en esta pantalla. Por lo que el K&BVIA dispone de una rutina que permite calcular los valores de peraltes y sobre-anchos.
- En caso se requiera muros de contención en el relleno, se tendrá que simular el terreno de modo que éste corte con el talud donde se desea colocar el muro de contención.

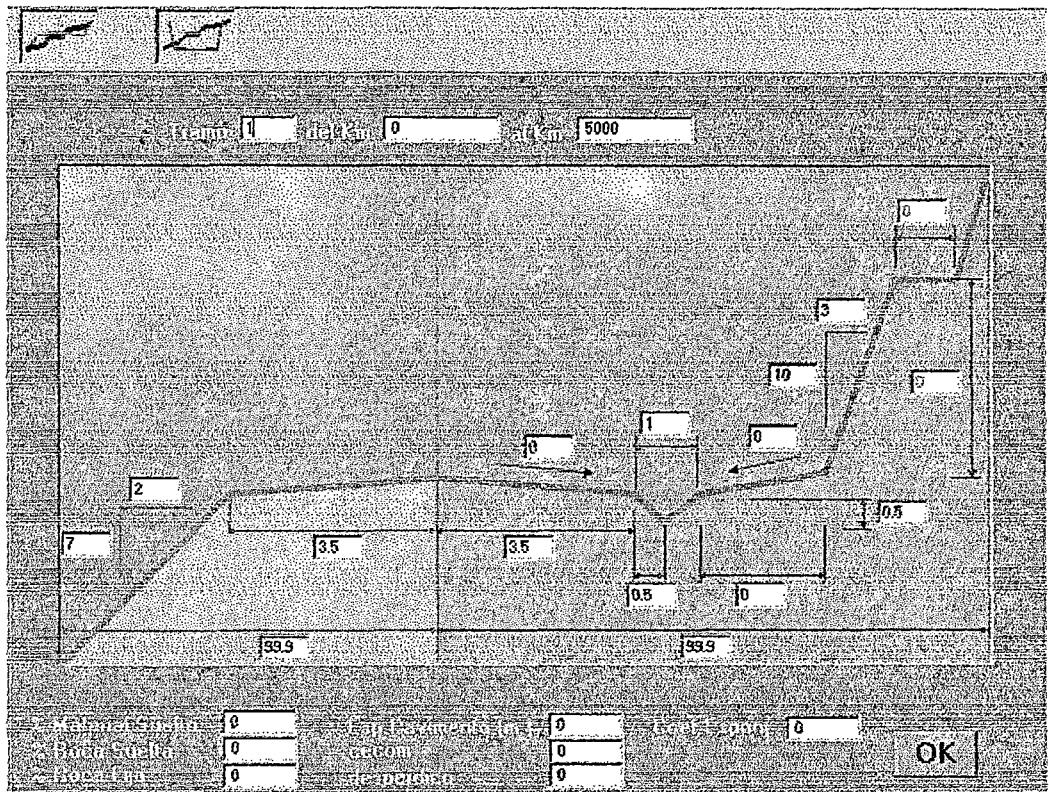
El AIDC mediante la opción **Salidas – SecFinal – Sectipo**, muestra el entorno sobre el cual se ingresan los valores de los parámetros de las secciones de la construcción (cajón). Además es posible crear varias secciones tipos, para luego asignarlas a diferentes tramos de la carretera.





En caso de secciones transversales de la construcción (llamado comúnmente **Cajón**), el usuario debe indicar las características de éstas por tramo de la carretera. Cada programa tiene diferente manera de indicarlas:

El K&BVIA mediante la opción **Secciones TÍPICAS**, muestra una pantalla donde se solicita los parámetros de las secciones del “cajón” por cada tramo. A la izquierda de la pantalla solicita los valores de los parámetros de relleno y a la derecha los de corte.



Las características más resaltantes de esta manera de ingreso son:

- De acuerdo a los valores ingresados en los parámetros es posible crear diferentes tipos de secciones como: secciones con cuneta y banqueteta de visibilidad, canales, etc.
- Permite el ingreso de banquetetas en caso de taludes altos en cortes.

Las características más resaltantes de esta manera de ingreso son:

- Existen 2 elementos claramente definidos: la plataforma y las opciones de corte y/o relleno.
- Los valores se ingresan mediante coordenadas rectangulares teniendo como cero la intersección de la rasante y el eje de la vía.
- De acuerdo a los valores ingresados en los parámetros es posible crear diferentes tipos de secciones como: secciones con cuneta y banquetta de visibilidad, canales, etc.
- Es posible ingresar múltiples opciones para corte y/o relleno, de modo que si no cumple con una opción, se escoge la otra y así sucesivamente. *Así por ejemplo en el gráfico anterior se muestran 2 opciones para relleno, la primera es con un talud de: Horizontal/Vertical = 150/(-100), si con este talud no se logra cortar el terreno, entonces se escogerá la segunda opción Horizontal/Vertical = 1/(-1000), en la que se requerirá muros de contención.*
- La plataforma se ingresa sin valores de bombeo ya que estos son ingresados en otra rutina.
- No es necesario ingresar los peraltes ni sobre-anchos ya que el programa permite calcular estos valores y dibujar las secciones transversales incluyendo gráficamente esta información.

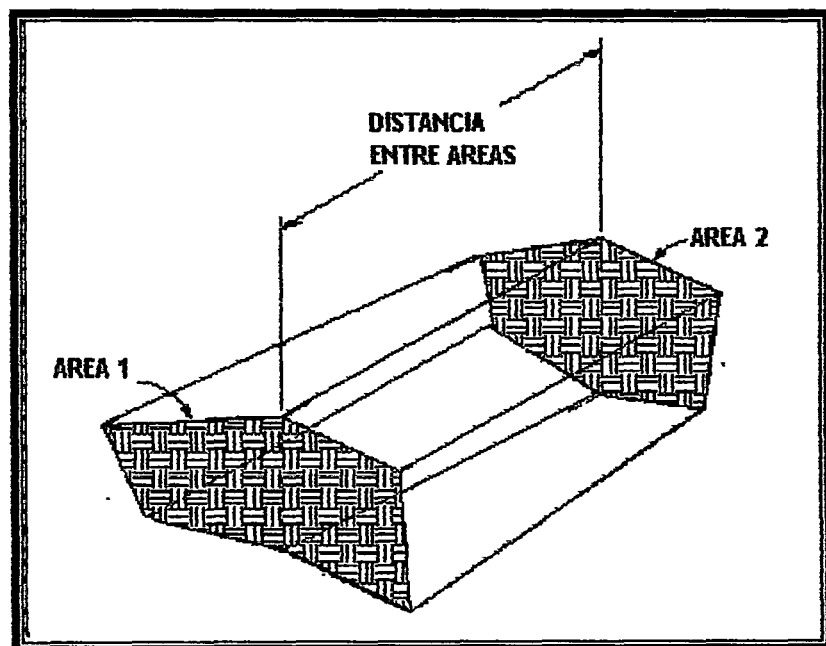
Los sobre-anchos calculados por ambos programas corresponden a las normas anteriores, al haber cambiado las normas al respecto, lo calculado por dichos programas solo podrá servir para velocidades directrices menores que 60 Km./hr. Sería recomendable que los programas se actualicen con las nuevas normas.

Respecto al tratamiento de muros de contención, ambos programas permiten dibujar el cajón con elementos verticales que simulan el muro.

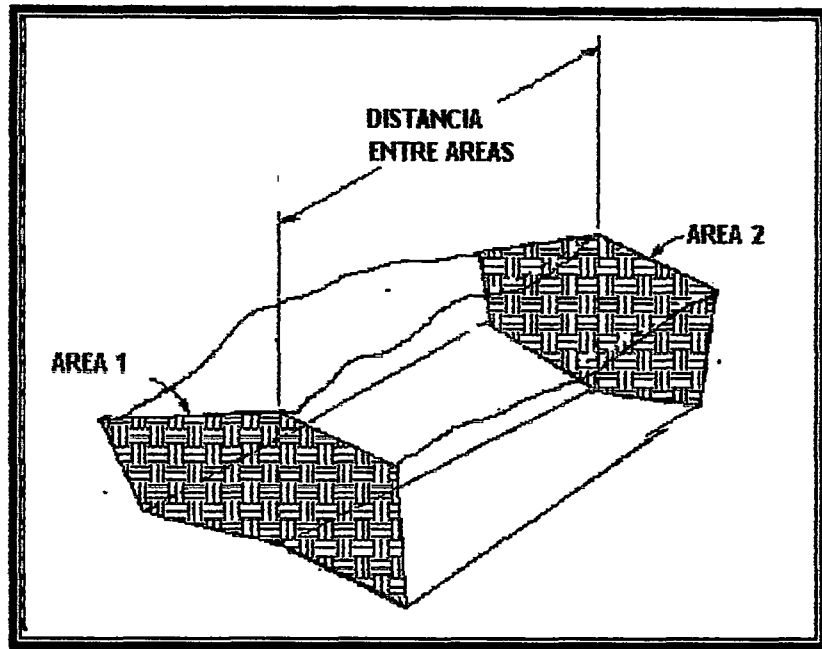
#### f.- Volúmenes

Ambos programas permiten calcular volúmenes y separarlo por tipo de material del suelo de acuerdo al porcentaje asignado por el usuario a cada uno de ellos.

El método usado es el prismoidal, teniendo como datos las áreas de dos secciones transversales y la distancia entre ambas, como se muestra en la figura.

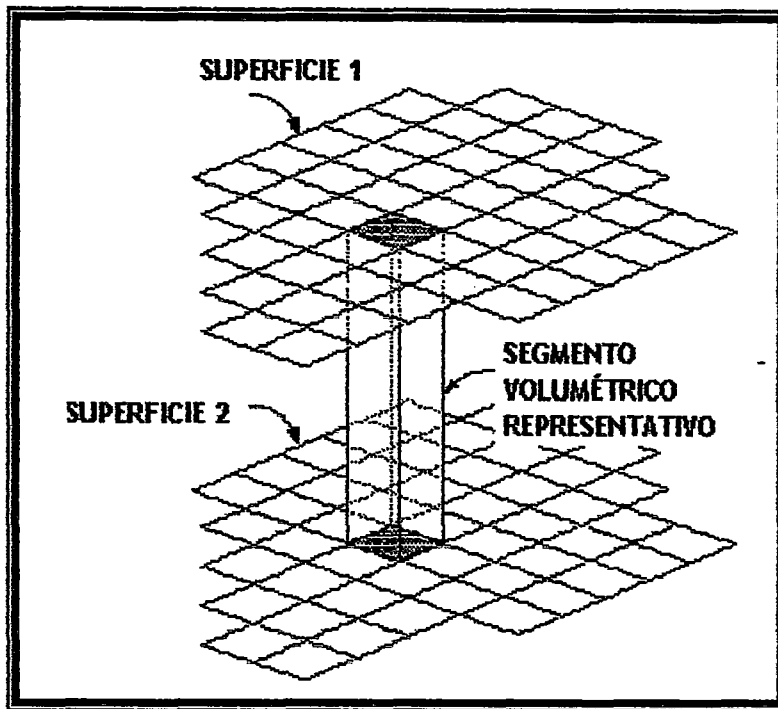


Sin embargo es importante observar que este método fue muy utilizado cuando no se disponía de herramientas de cálculo de alta velocidad y obviaba información importante como variaciones de la superficie del terreno entre ambas superficies, por ejemplo si el terreno mostraba cambios como el indicado en el gráfico siguiente, este método simplemente no lo consideraba.



Ante esto, sería conveniente que ambos programas aplicativos consideren otros métodos para calcular volúmenes e incluírlas como rutinas adicionales.

Así por ejemplo podrían considerar el método de la grilla que consiste en definir 2 mallas en cada superficie y determinar el volumen del prisma vertical formado por cada segmento de malla y finalmente sumar los volúmenes calculados, de modo que la precisión la definiría el usuario indicando que tamaño de segmento de malla se usaría, ya que un segmento de malla mas pequeño dará volúmenes mas precisos pero aumentaría el tiempo del cálculo. A continuación se observa un ejemplo gráfico de lo indicado.



En vez de grilla, se podría usar triángulos mas pequeños y proceder a calcular los volúmenes de manera similar a lo indicado al método de la grilla. La ventaja respecto a la grilla sería que los triángulos pequeños se ajustan mejor al T.I.N. formado también en base a triángulos, con lo que se mejora la precisión.

Otro método que se podría usar para mejorar la precisión, es el propio método prismoidal, solo que tomar prismas cuya distancia horizontal entre secciones transversales sea mas pequeña. *Así por ejemplo si deseamos calcular el volumen entre dos secciones transversales que se encuentran a una distancia horizontal de 20 mts., en vez de tomar un solo prisma para calcular el volumen, sería mejor tomar 5 prismas cuya longitud de cada uno de ellos sea 4 mts. para finalmente sumar dichos volúmenes parciales y tener el volumen entre las dos secciones que se encuentran a 20 mts.*

Tampoco, ninguno de los dos programas analizados permite calcular volúmenes por capas geológicas.

#### g.- Replanteo

Ambos sistemas permiten presentar reportes para realizar el replanteo clásico de curvas. Es decir estacionando el teodolito en uno de los puntos notables del trazo horizontal para realizar dicho replanteo. Sin embargo ambos presentan insuficiencias cuando lo que se desea es tener archivos de coordenadas del proyecto que permitan realizar replanteo con Estación total o GPS. Por lo tanto, estos programas deberán actualizar de manera urgente sus rutinas de modo que permitan crear archivos ASCII de coordenadas del proyecto, para que estos puedan ser replanteados por las Estaciones totales o los GPS, ya que en el futuro todos los replanteos de proyectos van a ser realizados por coordenadas rectangulares como se explicó en el capítulo 4.

#### h.- Presentación

El K&BVIA no ofrece muchas posibilidades de presentación, es decir crear membretes, cuadrícula, etc. en todo caso el usuario puede exportar sus dibujos a un archivo DXF para que pueda mejorar la presentación desde otro programa donde sí se pueda realizar estas tareas.

El AIDC, al estar en el entorno del AutoCad, es posible mejorar la presentación desde el propio AutoCad. Claro que el AIDC dispone de sus propias rutinas para dibujar el Norte y realizar una cuadrícula.

# **CAPÍTULO 6**

## **PROGRAMAS DE CÓMPUTO COMO APOYO**

## 6.1 Generalidades

Existen infinidad de programas creados para geodesia, Topografía y vialidad, que pueden ser adquiridos libremente en algunos casos o comprados a precios bastante elevados en otros casos. No es la finalidad de este trabajo hacer una lista de todos los programas existentes en el mercado ni presentar la manera de adquirirlos, lo cual podría ser motivo de otro trabajo de investigación. Mi interés es motivar al Ingeniero Civil a que cree mas programas aplicativos. Para lo cual en el capítulo anterior se mostró los fundamentos de dichos programas así como una crítica a los programas nacionales existentes con la finalidad de mejorarlos. Y en el presente capítulo se va a mostrar mediante ejemplos sencillos con que herramientas se puede disponer para empezar a programar. Así los ejemplos a presentar se han agrupado en:

- Programas de Geodesia
- Programas de Topografía

Se ha escogido una variedad de herramientas de programación, desde la simple programación mediante una hoja de cálculo hasta lo último en programación orientada a objetos, pasando por lenguajes como el Java que permite trabajar en el entorno de Internet y para muchos es el lenguaje de programación del futuro. Se ha descartado presentar ejemplos con lenguajes de bajo nivel ya que sería muy difícil de entender por el usuario promedio, ni tampoco se presentan ejemplos en lenguaje de muy alto nivel el cual debido a la simplificación de sus códigos resulta difícil de realizar mejoras o transcribirlo a otro lenguaje de programación.

La forma de programación escogida es básicamente **Imperativa**, que es como que enseña la programación digital en las Facultad de Ingeniería Civil, aunque también



he decidido incluir un ejemplo en un lenguaje tipo **Funcional** ya que gran parte de las rutinas del AIDC han sido creadas en este tipo de lenguaje.( Como agregado diría que existe un tercer tipo de lenguaje de programación: el **Lógico**, el cual es muy usado en inteligencia artificial y sistemas expertos, este tipo de lenguaje escapa a los alcances de la presente tesis por lo que no se presenta ningún ejemplo de este tipo).

Es importante indicar que el hecho de haya decidido mostrar los códigos fuentes en ASCII de los programas es para que, además de entender la secuencia de éstos, resulten transportables a cualquier otro entorno. Así por ejemplo con algunas modificaciones mínimas estos programas mostrados pueden emigrar del Windows a cualquier otro sistema operativo como el UNIX, etc.

## 6.2 Programas para Geodesia

### 6.2.a Geodésica UTM

#### a.1 Generalidades

Permite convertir coordenadas geodésicas a U.T.M. Se ha seleccionado el entorno de la hoja de cálculo Excel. Muchos ingenieros han creado sus propios programas en Excel desde hace ya bastante tiempo en especial para: presupuestos, valorizaciones y fórmulas polinómicas en el caso de las construcciones, o para cálculos de poligonales y puntos de relleno para el caso de topografía entre otros.

#### a.2 Instrucciones al usuario

Una vez cargada la hoja de cálculo, habrá que indicar:

Celda C3 : El elipsoide escogido

Celda C4 : El valor del semieje mayor

Celda C5 : El achatamiento

Celda C7: El valor de la longitud del meridiano central

Celda F3 : El origen de las coordenadas en Este

Celda F4: El origen de las coordenadas en Norte

Además a partir de la fila 10 se ingresan las coordenadas geodésicas de los puntos a convertir a UTM. Un punto por cada fila. Así para la fila 10, en la celda A10 se indica el nombre o número del punto, en las celdas B10, C10 y D10 se ingresan los grados, minutos y segundos respectivamente de la Latitud. En las celdas E10, F10, G10, se ingresan los grados, minutos y segundos de la Longitud.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Transformación de coordenadas geodésicas a UTM						
2	<b>Parámetros</b>			Origen			
3	<b>Esferoide :</b>		Internacional	ESTE		500000	
4	<b>semieje mayor a =</b>		6378388	NORTE		1000000	
5	<b>achatamiento f =</b>		0.003367003				
6	<b>excentricidad<sup>2</sup> e<sup>2</sup> =</b>		0.00672267	e <sup>2</sup> =		0.00676817	
7	<b>Merdiando central =</b>		69	C =		6399936.608	
8							
9	STN	LATITUD			LONGITUD		
10		12	12	12	68	57	57
11		12	12	32	68	57	33
12		16	27	43.522	71	29	28.726

Con estos datos el programa calculará las coordenadas UTM de los puntos cuyas coordenadas geodésicas hay sido ingresadas y serán mostradas en las columnas W y X.

	J	U	V	W	X
5					
6					
7					
8				COORDENADAS UTM	
9	J <sub>6</sub>	X	Y	ESTE	NORTE
10	0.817579068	-3716.690	1349053.750	503716.690	8650946.250
11	0.817920891	-4441.805	1349668.190	504441.805	8650331.810
12	1.066932668	266009.853	1821711.711	233990.147	8178288.289

### a.3 Listados o fórmulas

Para entender mejor los cálculos, es conveniente comparar las fórmulas mostradas a continuación con las indicadas en el capítulo 2.

Los cálculos de las celdas siguientes son globales es decir no dependen de las coordenadas del punto sino tienen que ver con las características del elipsoide.

Celda C6: La primera excentricidad al cuadrado:  $2 \cdot C5 - C5^2$

Celda F6: La segunda excentricidad al cuadrado:  $C6/(1-C6)$

Celda F7: El valor de C :  $C4/(1-C6)^{0.5}$

Celda I3: Cálculo de  $\alpha$  :  $3*\$F\$6/4$

Celda I4: Cálculo de  $\beta$  :  $5*I3^2/3$

Celda I5: Cálculo de  $\gamma$  :  $35*I3^3/27$

Además en cada fila a partir de la fila 10 están las fórmulas para calcular las coordenadas por cada dato ingresado en coordenadas geodésicas. Se va a mostrar las fórmulas en la fila 10.

Celda H10: Convertir la latitud a radianes :  $(B10+C10/60+D10/3600)*PI()/180$

Celda I10: Convertir la longitud a radianes:  $(E10+F10/60+G10/3600)*PI()/180$

Celda J10: Cálculo de  $\Delta\lambda$  en radianes :  $I10-SC\$7*PI()/180$

Celda K10: Cálculo de A :  $COS(H10)*SENO(J10)$

Celda L10: Cálculo de t :  $0.5*LN((1+K10)/(1-K10))$

Celda M10: Cálculo de n :  $ATAN(TAN(H10)/COS(J10))-H10$

Celda N10: Cálculo de v :  $\$F\$7*0.9996/(1+\$F\$6*(COS(H10))^2)^{0.5}$

Celda O10: Cálculo de  $\Theta$  :  $\$F\$6*(L10*COS(H10))^2/2$

Celda P10: Cálculo de A1 :  $SENO(2*H10)$

Celda Q10: Cálculo de A2:  $P10*COS(H10)^2$

Celda R10: Cálculo de  $J_2$  :  $H10+P10/2$

Celda S10: Cálculo de  $J_4$  :  $(3*R10+Q10)/4$

Celda T10: Cálculo de  $J_6$  :  $(5*S10+Q10*COS(H10))/3$

Celda U10: Cálculo de X :  $L10*N10*(1+O10/3)$

Celda V10: Cálculo de Y :

$$M10*N10*(1+O10)+0.9996*\$F\$7*(H10-\$I\$3*R10+\$I\$4*S10-\$I\$5*T10)$$

Celda W10: Cálculo de la coordenada UTM en Este: :

$$M10*N10*(1+O10)+0.9996*SF\$7*(H10-SIS3*R10+SIS4*S10-SIS5*T10)$$

Celda Z10: Cálculo de la coordenada UTM en Este: **SF\$3-U10**

Celda AA10: Cálculo de la coordenada UTM en Norte: **SF\$4-V10**

Si existiesen mas filas, bastará con copiar estas fórmulas en las siguientes filas. Así por ejemplo si en la celda J10 la fórmula es: **I10-\$CS7\*PI()/180**, en la celda J11 la fórmula será: **I11-\$CS7\*PI()/180**. Observar que las celdas que están con el signo \$ permanecen invariables.

## 6.2.b UTMGeodésica

### b.1 Generalidades

Permite convertir coordenadas U.T.M a geodésicas. También se ha seleccionado el entorno de la hoja de cálculo Excel.

### b.2 Instrucciones al usuario

Celda C3 : El elipsoide escogido

Celda C4 : El achatamiento

Celda C6 : El valor del semieje mayor

Celda C11: El valor de la longitud del meridiano central en grados

Celda C13: Factor de escala en el origen: 0.9996

Celda C14 : El origen de las coordenadas en Este

Celda C15: El origen de las coordenadas en Norte

Además a partir de la fila 25 se ingresan las coordenadas UTM de los puntos a convertir a geodésicas. Un punto por cada fila. Así para la fila 10, en la celda A25 se

indica el nombre o número del punto, en la celda B25 se ingresa la coordenada Norte de dicho punto, y en la celda C25 la coordenada Este.

	A	B	C	D	E
1	<b>Transformación de UTM a geodésicas</b>				<b>T1</b>
2	<b>parametros</b>				
3	Elipsoide	Internacional			
4	achatamiento, $f$	0.003367003			
5	excentricidad al cuadrado,	0.00672267			
6	semieje mayor, $a$	6378388	$a(1-e^2)$	6335508.202	
7	semi eje menor, $b$	6356911.946	$b/\sin 1''$	206264.806	
8	$n$	0.001686341			
9					
10					
11	meridiano central	69	degrees E		
12					
13	Factor de escala en origen	0.9996			
14	falso origen	500,000	W		
15		10,000,000	N		
16	datum	P-Sad56			
17	<b>parámetros para los cálculos</b>				
18	$\alpha$	6367654.5			
19	$\beta$	2.53E-03			
20	$\gamma$	3.73E-06			
21	$\delta$	7.54E-09			
22	$\epsilon$	1.732678E-11			
23					
24	PTO	N	E	$\phi'$	$\phi_f$
25	mopw	8178288.250	233990.160	0.2862028	0.28757636
26	gps1	8178222.323	244334.750	0.2862132	0.28758676
27	gps2	8173388.250	633990.160	0.2869727	0.28834946
28	gps3	8178111.540	500000.000	0.2862306	0.28760424

Con estos datos el programa calculará las coordenadas geodésicas de los puntos cuyas coordenadas UTM hay sido ingresadas y serán mostradas en las columnas K, L, M los valores de la latitud en grados, minutos y segundos

	J	K	L	M
22				
23	lat. Deg $\phi$	latitud $\phi$		
24	$\phi_f$ -VII+VIII	deg	min	sec
25	16.4620896	16	27	43.5227
26	16.4638147	16	27	49.7327
27	16.5174334	16	31	2.7603
28	16.4785090	16	28	42.6322

respectivamente, y en las columnas R,S y T están los valores de la longitud en grados, minutos y segundos respectivamente.

	Q	R	S	T
22				
23	long_Deg λ	longitud λ		
24	IX-X+E	deg	min	sec
25	71.491313	71	29	28.72558
26	71.394500	71	23	40.20111
27	67.744510	67	44	40.23670
28	69.000000	69	0	0.00000

### b.3 Listados o fórmulas

A continuación se presentan las fórmulas necesarias para el cálculo de las coordenadas geodésicas partiendo de las coordenadas UTM. Dichas fórmulas están por celdas, así primero se presentarán las fórmulas globales, es decir aquellas que tiene que ver con el elipsoide.

Celda C5 : La primera excentricidad al cuadrado:  $2 * C4 - C4^2$

Celda C7 : Semi-eje menor :  $C6 * (1 - C5)^{0.5}$

Celda C8 : El valor de n :  $(C6 - C7) / (C6 + C7)$

Celda E6 : El valor de  $a(1 - e^2)$  :  $C6 * (1 - C5)$

Celda I4 : El valor de  $1 / \text{Sen}1''$  :  $1 / (\text{SENO}((1/3600) * \text{PI}() / 180))$

Celda I5 : Cálculo de  $\gamma$  :  $35 * I3^{3/27}$

Celda C18: El valor de  $\alpha$  :  $(C6 + C7) / 2 * (1 + C8^{2/4} + C8^{4/64})$

Celda C19: El valor de  $\beta$  :  $3 * C8 / 2 - (27 * C8^{3/32}) + (269 * C8^{5/512})$

Celda C20: El valor de  $\gamma$  :  $21 * C8^{2/16} - (55 * C8^{4/32})$

Celda C21: El valor de  $\delta$  :  $151 * C8^{3/96} - (417 * C8^{5/128})$

Celda C22: El valor de  $\varepsilon$  :  $1097 * C8^{4/512}$

Además en cada fila a partir de la fila 25 están las fórmulas para calcular las coordenadas geodésicas por cada dato ingresado en coordenadas UTM. Se va a mostrar las fórmulas en la fila 25.

Celda D25 : Cálculo de  $\varphi'$  :  $(\$C\$15-B25)/(\$C\$13*\$C\$18)$

Celda E25 : Cálculo de  $\varphi_f$ :

$D25+\$C\$19*\text{SENO}(2*D25)+\$C\$20*\text{SENO}(4*D25)+\$C\$21*\text{SENO}(6*D25)+\$C\$22*\text{SENO}(8*D25)$

Celda F25: Cálculo de v:  $\$E\$6/(1-(\$C\$5*(\text{SENO}(E25))^2))^0.5$

Celda G25: Cálculo de  $\rho$ :  $\$E\$6/(1-(\$C\$5*(\text{SENO}(E25))^2))^1.5$

Celda H25: Cálculo de VII :

$(\text{TAN}(E25)*(\$C\$14-C25)^2)/(2*\$C\$13^2*F25*G25)*\$E\$7$

Celda I25: Cálculo de VIII:

$((\text{TAN}(E25)*(\$C\$14-C25)^4)/(24*\$C\$13^4*F25^3*G25))*(5+3*(\text{TAN}(E25))^2)*\$E\$7$

Celda J25: Cálculo de latitud en grados:  $\text{GRADOS}(E25)-H25/3600+I25/3600$

Celda K25: Cálculo de la parte de grados de la latitud:  $\text{TRUNCAR}(J25)$

Celda L25: Cálculo de la parte de minutos de la latitud:  $\text{TRUNCAR}((J25-K25)*60)$

Celda M25: Cálculo de la parte de segundos de la latitud:  $((J25-K25)*60-L25)*60$

Celda N25: Cálculo de IX :  $((1/\text{COS}(E25))*(\$C\$14-C25)*\$E\$7)/(\$C\$13*F25)$

Celda O25: Cálculo de X :

$((1/\text{COS}(E25))*(\$C\$14-C25)^3*\$E\$7)/(6*\$C\$13^3*F25^3)*((F25/G25)+2*(\text{TAN}(E25))^2)$

Celda P25: Cálculo E:

$((1/\text{COS}(E25))*(\$C\$14-C25)^5*\$E\$7)/(120*\$C\$13^5*F25^5)$

$*(5+28*(\text{TAN}(E25))^2+24*(\text{TAN}(E25))^4)$

Celda Q25: Cálculo de la longitud en grados:  $\$C\$11+(N25-O25+P25)/3600$

Celda R25: Cálculo de la parte en grados en la longitud:  $\text{TRUNCAR}(Q25)$

Celda S25: Cálculo de la parte en minutos de la longitud:  $\text{TRUNCAR}((Q25-R25)*60)$

Celda T25: Cálculo de la parte de segundos de la longitud:  $((Q25-R25)*60-S25)*60$

Si existiesen mas filas, bastará con copiar estas fórmulas en las siguientes filas, como en el caso anterior.



## 6.2.c TransSistemas

### c.1 Generalidades

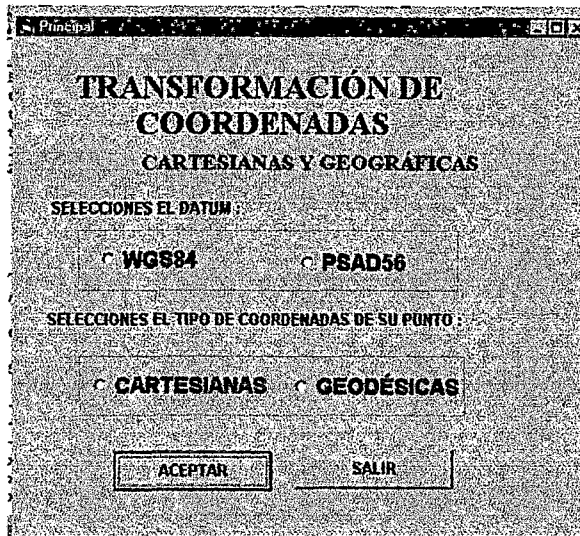
Este programa ha sido creado en un lenguaje orientado a objetos como es el Visual Basic, y nos permite la transformación de coordenadas del Elipsoide WGS84 (C1150) al Psad56 y viceversa.

Para entender mejor el concepto de la orientación a objetos, partamos de la manera clásica de programación en la que un programa tradicional consistía en un conjunto de instrucciones que se iban ejecutando en determinado orden, así el ingreso de datos desde la pantalla se realizaba de manera secuencial a medida que el programa lo solicitaba. Mientras que en la programación orientada a objetos se asocian bloques de instrucciones con cada objeto, así según la manera como actúe el usuario sobre cada objeto, se ejecutará el bloque de instrucciones asociado. Por ejemplo, en la orientación a objetos, el ingreso de datos desde la pantalla ya no es necesariamente de manera secuencial, de modo que cualquier modificación a dichos ingresos es realizada de forma mucho mas sencilla que en las estructuras tradicionales de programación.

Las fórmulas utilizadas son las mismas que las indicadas en el capítulo 2. Tiene la restricción que sólo se permite el ingreso de datos para el hemisferio Sur. El programa además permite ingresar los parámetros de transformación, aunque en caso no se ingresen los parámetros de transformación, el programa realizará las correcciones con los parámetros de transformación por defecto que asigna la DMA.

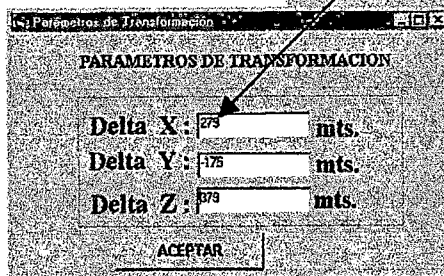
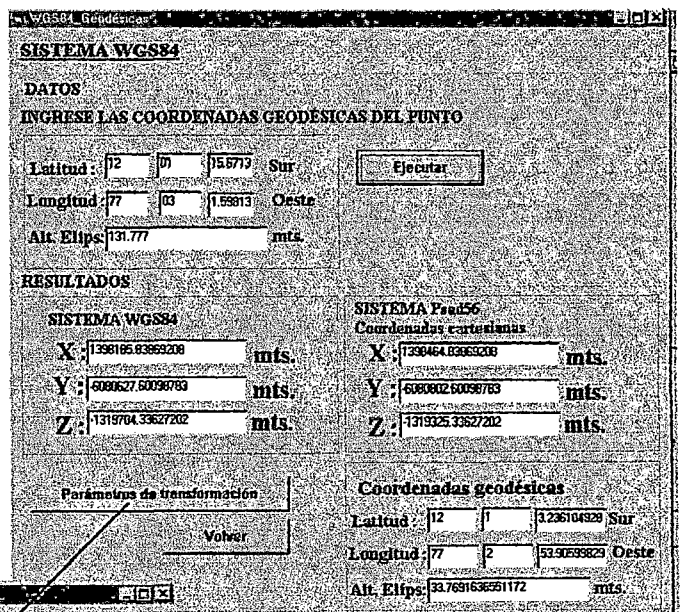
### c.2 Instrucciones al usuario

Al cargar el programa ejecutable **TransSistemas** se mostrará la siguiente pantalla principal:



Como dato deberemos tener las coordenadas Cartesianas o Geodésicas respecto a un sistema de referencia ( o WGS84 o Psad56 ). En esta pantalla ingresamos, el sistema de referencia y el tipo de coordenadas de nuestro punto dato, luego presionamos en **ACEPTAR**.

Por ejemplo si escogemos **WGS84** y **GEODÉSICAS**, se mostrará la pantalla de la derecha. Donde si presionamos en **Parámetros de transformación** del elipsoide en mención al otro elipsoide, donde también podremos ver y modificar dichos valores si fuesen necesarios.



Ingresando los valores de la latitud, longitud y altura elipsoidal en el cuadro superior izquierdo de la pantalla y presionando la tecla EJECUTAR, entonces en la parte inferior de la pantalla se mostrarán los resultados, tanto de las coordenadas cartesianas para el elipsoide dado como las coordenadas geodésicas y cartesianas para el otro elipsoide.

Un cuadro similar se visualiza si desde la pantalla principal se escoge la opción PSAD56 y GEODÉSICAS. Donde en este caso se ingresarían las coordenadas geodésicas en Psad56.

Si desde el menú principal, escogemos la opción WGS84 y CARTESIANAS, se mostrará la siguiente pantalla, donde las coordenadas a ingresar serán las cartesianas y el programa calculará las otras coordenadas.

Ingresando los valores de la latitud, longitud y altura elipsoidal en el cuadro superior izquierdo de la pantalla y presionando la tecla EJECUTAR, entonces en la parte inferior de la pantalla se mostrarán los resultados, tanto de las coordenadas cartesianas para el elipsoide dado como las coordenadas geodésicas y cartesianas para el otro elipsoide.

Un cuadro similar se visualiza si desde la pantalla principal se escoge la opción PSAD56 y GEODÉSICAS. Donde en este caso se ingresarían las coordenadas geodésicas en Psad56.

The screenshot shows a software interface titled "SISTEMA PSAD 56". It is divided into several sections:

- DATOS:** A section for entering geodetic coordinates. It includes fields for "Latitud" (12 1 2.2610 Sur), "Longitud" (77 2 53.905 Oeste), and "Alt. Elipse" (21.7531 mts.). A "Ejecutar" button is present.
- RESULTADOS:** A section displaying calculated results. It is split into two columns:
  - SISTEMA Psad 56:** Shows Cartesian coordinates X (1398464.6367816 mts.), Y (6080627.60092716 mts.), and Z (-1319325.33625874 mts.).
  - SISTEMA WGS84:** Shows Cartesian coordinates X (1398185.83967816 mts.), Y (6080627.60092716 mts.), and Z (-1319704.33625874 mts.).
- Coordenadas geodésicas:** A section for displaying geodetic coordinates. It includes fields for "Latitud" (12 1 2.2610 Sur), "Longitud" (77 2 53.905 Oeste), and "Alt. Elipse" (21.7531 mts.).
- Parámetros de transformación:** A section with a "Volver" button.

Si desde el menú principal, escogemos la opción WGS84 y CARTESIANAS, se mostrará la siguiente pantalla, donde las coordenadas a ingresar serán las cartesianas y el programa calculará las otras coordenadas.

**SISTEMA WGS84**

**DATOS**  
 INGRESE LAS COODENADAS CARTESIANAS DEL PUNTO

X : 1299195.938 mts.

Y : 6080627.601 mts.

Z : 1318704.336 mts.

**RESULTADOS**

<b>SISTEMA WGS 84</b>	<b>SISTEMA Iva155</b>
Coordenadas Geodésicas	Coordenadas Geodésicas
Latitud : 12 1 15.67130 Sur	Latitud : 12 1 3.236972 Sur
Longitud : 77 3 1.538152 Oeste	Longitud : 77 2 51.93602 Oeste
Alt. Elips: 131.77690325415 mts.	Alt. Elips: 33.76866897300 mts.

Parámetros de transformación

**Coordenadas Cartesianas**

X : 1299464.638 mts.

Y : 6080602.601 mts.

Z : 1318925.336 mts.

Un cuadro similar se mostrará si la opción escogida desde el menú principal es **PSAD56 y CARTESIANAS**.

**SISTEMA PSad56**

**DATOS**  
 INGRESE LAS COODENADAS CARTESIANAS DEL PUNTO

X : 1338454.8365203 mts.

Y : 6080802.60088783 mts.

Z : 1318226.33527282 mts.

**RESULTADOS**

<b>SISTEMA PSad56</b>	<b>SISTEMA Iva155</b>
Coordenadas Geodésicas	Coordenadas Geodésicas
Latitud : 12 1 2.26111 Sur	Latitud : 12 1 15.671316 Sur
Longitud : 77 2 33.90604 Oeste	Longitud : 77 3 1.538174 Oeste
Alt. Elips: 33.769163645232 mts.	Alt. Elips: 131.77699995112 mts.

Parámetros de transformación

**Coordenadas Cartesianas**

X : 1299195.9365203 mts.

Y : 6080627.60088783 mts.

Z : 1318704.33527282 mts.

Siempre que deseemos regresar al menú principal habrá que presionar la tecla **Volver**.

#### c.4.- Listados

##### **FORMULARIO PRINCIPAL**

```
Private Sub cmdaceptar_Click()  
If Option1(0).Value = True And Option2(1).Value = True Then  
FrmWGS84_geodésicas.Show  
ElseIf Option1(1).Value = True And Option2(1).Value = True Then  
FrmPSad56_Geodésicas.Show  
ElseIf Option1(1).Value = True And Option2(0).Value = True Then  
FrmPSad56_Cartesianas.Show  
ElseIf Option1(0).Value = True And Option2(0).Value = True Then  
FrmWGS84_Cartesianas.Show  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub cmdsalir_Click()  
End  
End Sub
```

##### **FORMULARIO DE PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN**

```
Private Sub cmdaceptar_Click()  
DX = txtDX.Text  
DY = txtDY.Text  
DZ = txtDZ.Text  
Unload Me  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
txtDX.Text = DX  
txtDY.Text = DY  
txtDZ.Text = DZ  
End Sub
```

##### **FORMULARIOS DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS**

(De los 4 formularios, sólo se están mostrando 2, ya que los otros dos son muy similares)

##### **\* FORMULARIO WGS84\_Geodésicas**

```
Dim latitud As Double, longitud As Double, a As Double, f As Double, e2 As Double, b As Double,  
e2Prim As Double, e6 As Double, n As Double, Y As Double, z As Double, p As Double, teta As Double,  
latitud56 As Double, longitud56 As Double  
Dim altura As Double  
Private Sub cmdejecutar_Click()  
latitud = (Val(txtlati_0.Text) + (Val(txtlati_1.Text) / 60) + (Val(txtlati_2.Text) / 3600)) * 3.1415926535  
/ 180  
longitud = (Val(txtlong1_0.Text) + (Val(txtLong1_1.Text) / 60) + (Val(txtLong1_2.Text) / 3600)) *  
3.1415926535 / 180  
alt1 = Val(txtalt1.Text)  
a = 6378137
```

```

f = 1 / 298.257223563
e2 = 2 * f - f ^ 2
b = a * (1 - e2) ^ 0.5
e2Prim = (a ^ 2 - b ^ 2) / b ^ 2
e6 = a * (1 - e2)
'
a56 = 6378388
f56 = 1 / 297
e256 = 2 * f56 - f56 ^ 2
b56 = a56 * (1 - e256) ^ 0.5
e2Prim56 = (a56 ^ 2 - b56 ^ 2) / b56 ^ 2
e656 = a56 * (1 - e256)
'
n = a / (1 - e2 * ((Sin(latitud)) ^ 2)) ^ 0.5
x = (n + alt1) * (Cos(latitud)) * (Cos(longitud))
Y = -((n + alt1) * (Cos(latitud)) * (Sin(longitud)))
z = -(n * (1 - e2) + alt1) * Sin(latitud)
txtX.Text = x
txtY.Text = Y
txtZ.Text = z
x56 = x + DX
Y56 = Y + DY
z56 = z + DZ
txtX1.Text = x56
txtY1.Text = Y56
txtZ1.Text = z56
p56 = (x56 ^ 2 + Y56 ^ 2) ^ 0.5
teta56 = Atn((z56 * a56) / (p56 * b56))
latitud56 = Abs(Atn((z56 + e2Prim56 * b56 * (Sin(teta56)) ^ 3) / (p56 - e256 * a56 * (Cos(teta56)) ^ 3)))
longitud56 = Abs(Atn(Y56 / x56))
n56 = a56 / (1 - e256 * Sin(latitud56) ^ 2) ^ 0.5
altura56 = p56 / Cos(latitud56) - n56
latitud56G = latitud56 * 180 / 3.1415926535
longitud56G = longitud56 * 180 / 3.1415926535
'grados
ltG56 = Int(latitud56G)
lgG56 = Int(longitud56G)
'minutos
ltm56 = Int((latitud56G - ltG56) * 60)
lgm56 = Int((longitud56G - lgG56) * 60)
'segundos
Lts56 = (((latitud56G - ltG56) * 60) - ltm56) * 60
Lgs56 = (((longitud56G - lgG56) * 60) - lgm56) * 60
'resultados grados
txtlat2_0.Text = ltG56
txtlong2_0.Text = lgG56
'resultados minutos
txtlat2_1.Text = ltm56
txtlong2_1.Text = lgm56
'resultados segundos
txtlat2_2.Text = Lts56
txtlong2_2.Text = Lgs56
txtalt2.Text = altura56
End Sub
Private Sub cmdparametros_Click()

```

```

FrmParametros.Show
End Sub
Private Sub cmdvolver_Click()
Unload Me
End Sub
Private Sub Form_Initialize()
DX = 279
DY = -175
DZ = 379
End Sub
Private Sub txtalt1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then cmdejecutar.SetFocus
End Sub

Private Sub txtlat1_0_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then txtlat1_1.SetFocus
End Sub
Private Sub txtlat1_1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then txtlat1_2.SetFocus
End Sub
Private Sub txtlat1_2_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then txtlong1_0.SetFocus
End Sub
Private Sub txtlong1_0_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then txtLong1_1.SetFocus
End Sub
Private Sub txtLong1_1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then txtLong1_2.SetFocus
End Sub
Private Sub txtLong1_2_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then txtalt1.SetFocus
End Sub

```

**\* FORMULARIO WGS84\_Cartesianas**

```

Private Sub cmdejecutar_Click()
x = Val(txtX.Text)
Y = Val(txtY.Text)
z = Val(txtZ.Text)
a = 6378137
f = 1 / 298.257223563
e2 = 2 * f - f ^ 2
b = a * (1 - e2) ^ 0.5
e2Prim = (a ^ 2 - b ^ 2) / b ^ 2
e6 = a * (1 - e2)
'
a56 = 6378388
f56 = 1 / 297
e256 = 2 * f56 - f56 ^ 2
b56 = a56 * (1 - e256) ^ 0.5
e2Prim56 = (a56 ^ 2 - b56 ^ 2) / b56 ^ 2
e656 = a56 * (1 - e256)
'
x56 = x + DX
Y56 = Y + DY

```



```

z56 = z + DZ
txtX1.Text = x56
txtY1.Text = Y56
txtZ1.Text = z56
'
p = (x ^ 2 + Y ^ 2) ^ 0.5
teta = Atn((z * a) / (p * b))
latitud = Abs(Atn((z + e2Prim * b * (Sin(teta)) ^ 3) / (p - e2 * a * (Cos(teta)) ^ 3)))
longitud = Abs(Atn(Y / x))
n = a / (1 - e2 * Sin(latitud) ^ 2) ^ 0.5
altura = p / Cos(latitud) - n
latitudG = latitud * 180 / 3.1415926535
longitudG = longitud * 180 / 3.1415926535
'grados
ltG = Int(latitudG)
lgG = Int(longitudG)
'minutos
ltm = Int((latitudG - ltG) * 60)
lgm = Int((longitudG - lgG) * 60)
'segundos
Lts = (((latitudG - ltG) * 60) - ltm) * 60
Lgs = (((longitudG - lgG) * 60) - lgm) * 60
'resultados grados
txtlat1_0.Text = ltG
txtlong1_0.Text = lgG
'resultados minutos
txtlat1_1.Text = ltm
txtLong1_1.Text = lgm
'resultados segundos
txtlat1_2.Text = Lts
txtLong1_2.Text = Lgs
txtalt1.Text = altura
'
p56 = (x56 ^ 2 + Y56 ^ 2) ^ 0.5
teta56 = Atn((z56 * a56) / (p56 * b56))
latitud56 = Abs(Atn((z56 + e2Prim56 * b56 * (Sin(teta56)) ^ 3) / (p56 - e256 * a56 * (Cos(teta56)) ^ 3)))
longitud56 = Abs(Atn(Y56 / x56))
n56 = a56 / (1 - e256 * Sin(latitud56) ^ 2) ^ 0.5
altura56 = p56 / Cos(latitud56) - n56
latitud56G = latitud56 * 180 / 3.1415926535
longitud56G = longitud56 * 180 / 3.1415926535
'grados
ltG56 = Int(latitud56G)
lgG56 = Int(longitud56G)
'minutos
ltm56 = Int((latitud56G - ltG56) * 60)
lgm56 = Int((longitud56G - lgG56) * 60)
'segundos
Lts56 = (((latitud56G - ltG56) * 60) - ltm56) * 60
Lgs56 = (((longitud56G - lgG56) * 60) - lgm56) * 60
'resultados grados
txtlat2_0.Text = ltG56
txtlong2_0.Text = lgG56
'resultados minutos
txtlat2_1.Text = ltm56
txtlong2_1.Text = lgm56

```

```
'resultados segundos  
txtlat2_2.Text = Lts56  
txtlong2_2.Text = Lgs56  
txtaltZ.Text = altura56
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdparametros_Click()  
FrmParametros.Show  
End Sub
```

```
Private Sub cmdvolver_Click()  
Unload Me  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Initialize()  
DX = 279  
DY = -175  
DZ = 379  
End Sub
```

```
Private Sub txtX_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
If KeyAscii = 13 Then txtY.SetFocus  
End Sub
```

```
Private Sub txtY_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
If KeyAscii = 13 Then txtZ.SetFocus  
End Sub
```

```
Private Sub txtZ_KeyPress(KeyAscii As Integer)  
If KeyAscii = 13 Then cmdejecutar.SetFocus  
End Sub
```

## 6.3 Programas de Topografía

### 6.3.a Triangulación Delaunay

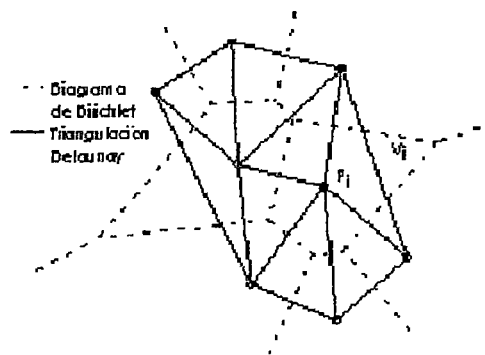
#### a.1 Generalidades

La creación de la estructura T.I.N. requiere de un algoritmo. En el mercado existen diversos algoritmos para esta creación. El algoritmo mas usado es el de Triangulación Delaunay que se explica a continuación.

Dado un conjunto de puntos  $\{P_i\}$ , se define el polígono de Voronoi  $V_j$  como:

$$V_j = \{ P : \| P - P_j \| \leq \| P - P_i \| \forall i \neq j \}$$

Es decir  $V_j$  es la región del espacio cuyos puntos están mas cercanos de  $P_j$  que de cualquier otro punto del conjunto. El conjunto de todos los polígonos de Voronoi es también conocido como diagrama de Dirichlet. De la definición resulta claro que un lado del polígono de Voronoi debe estar a igual distancia de dos puntos del conjunto  $\{P_i\}$ , siendo un segmento de la recta bisectriz de dichos puntos. Si se unen todos los pares de puntos cuyas bisectrices tienen algún segmento que es frontera de un polígono de Voronoi, el resultado es una triangulación. Esta triangulación, que es la figura dual del diagrama de Dirichlet, es conocida como triangulación Delaunay del conjunto de puntos  $\{P_i\}$ . En la figura se muestra un conjunto de puntos en el plano, junto con su diagrama de Dirichlet y triangulación Delaunay asociados.

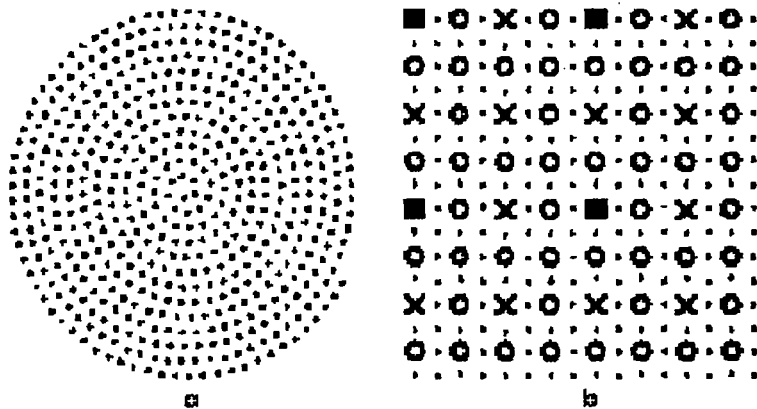


También es común definir la triangulación Delaunay como el conjunto de puntos en la cual ninguno cae en el círculo circunscrito a cualquier triángulo (círculo circunscrito es aquel delimitado por la circunferencia que pasa por 3 puntos).

Para la construcción del algoritmo se va a determinar círculos circunscriptos, y se va a verificar que no exista ningún punto dentro de dicho círculo, en caso se tenga puntos dentro de dicho círculo ( a este caso se le denomina cavidad) se desechará este círculo y se buscará otro que no tenga cavidades.

El tiempo de computación dependerá del tiempo que se demore en determinar las cavidades, esta demora depende principalmente del número de puntos a triangular, pero también depende de la distribución de los puntos y de la numeración de éstos.

Así por ejemplo en el caso de puntos numerados secuencialmente en espiral desde el exterior al interior, como en el gráfico de la izquierda, el tiempo de procesamiento de datos está en proporción a  $O(n^{1/2})$ . O numerando en primer lugar los cuadrados, luego las cruces, después los círculos y finalmente los puntos, como el gráfico de la derecha, el tiempo de procesamiento está en proporción a  $O(1)$ .

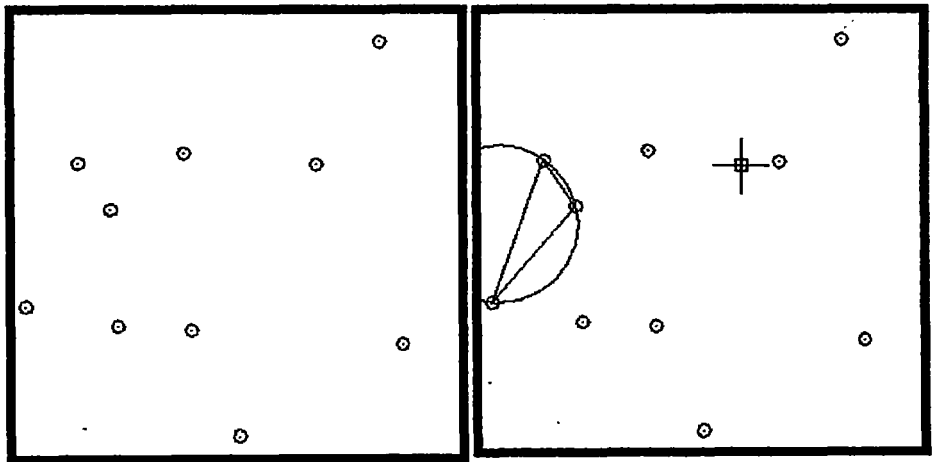


Nota: Por matemáticas discretas ( un libro que habla sobre este tema es el de Ross & Wright) se define la notación **O-grande** o  $O( )$  , así decimos que si  $f$  y  $g$  son sucesiones con valores reales no negativos decimos que  $f(n)$  o  $O(g(n))$ , si existe una constante  $C$  tal que  $f(n) \leq C \cdot g(n)$  para todos los valores de  $n$  suficientemente grandes. Bajo esta definición si decimos que el tiempo de procesamiento de cómputo es  $O(n)$ , estamos diciendo que el tiempo máximo de procesamiento está en proporción al número de puntos  $n$ . Si decimos  $O(1)$  significa que el tiempo de procesamiento máximo será una constante  $C$  para un número de puntos bastante grande.

Por lo explicado anteriormente, si decimos  $O(n^2)$  el tiempo de procesamiento está en proporción al cuadrado de  $n$ . Es obvio que un tiempo de procesamiento  $O(n^4)$  es mayor que  $O(n^2)$ .

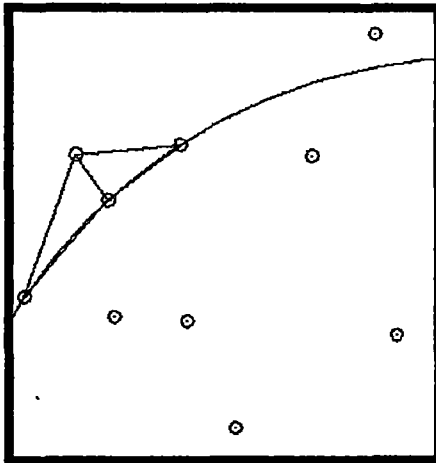
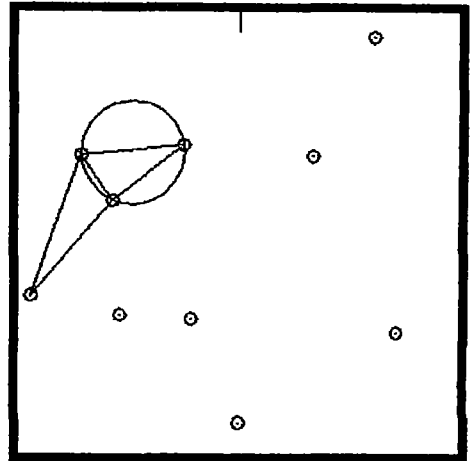
El programa presentado ha sido bajado de Internet y calcula la triangulación Delaunay para un número determinado de puntos, bajo 3 rutinas. La primera para un tiempo de procesamiento de  $O(n^2)$ , la segunda para  $O(n^3)$  y la tercera para  $O(n^4)$ . Para el primer caso se trata de reducir el tiempo de procesamiento formando los nuevos triángulos Delaunay basándose en primer lugar en los puntos que se encuentran dentro de los círculos circunscritos creados, mientras que en el tercer caso para formar los nuevos triángulos Delaunay usa puntos tanto fuera como dentro de los círculo circunscrito creados. Como el primer caso es el mas rápido de todos es el que se va a explicar a continuación:

Por ejemplo se tienen 10 puntos en los que se desea hacer la triangulación Delaunay. Como en el gráfico de la derecha. Formamos el primer triángulo con 3 puntos cualesquiera (gráfico de la izquierda).



Por los 3 puntos tomados para el primer triángulo Delaunay se traza un círculo y se averigua si es que existen puntos dentro de este círculo (cavidades), en caso no exista ninguno, se considera que estos tres lados pertenecen definitivamente a la red de triangulación Delaunay.

Una vez definido el primer triángulo, se procede a determinar el otro triángulo. Para lo cual se toma 2 puntos de uno de los lados del triángulo ya definido con un tercer punto cualquiera que todavía no haya sido tomado. Con estos 3 puntos se crea un nuevo círculo circunscrito, y en caso no exista ningún punto dentro de este círculo, se determina que el triángulo formado es también de red de triángulos Delaunay..

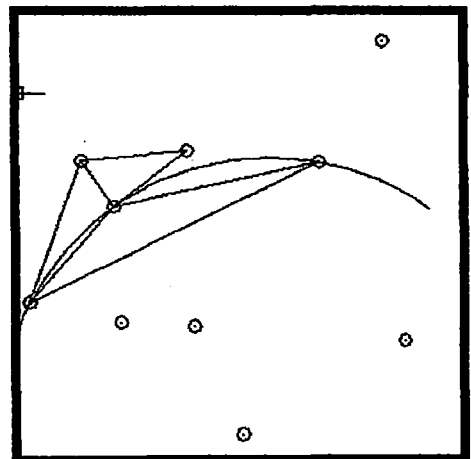


Ahora tenemos 2 triángulos, al igual que el paso anterior, tomamos uno de los lados de uno de los triángulos ya definidos (llamaremos lado base) y con un tercer punto cualquiera formamos un triángulo el cual averiguaremos si es que va a pertenecer a la red Delaunay. Para lo cual trazamos un círculo circunscrito por dichos tres puntos y observamos que si existen puntos dentro del círculo. En el ejemplo se observa que

si existen puntos dentro del círculo, por lo tanto este triángulo no sirve para la red Delaunay.

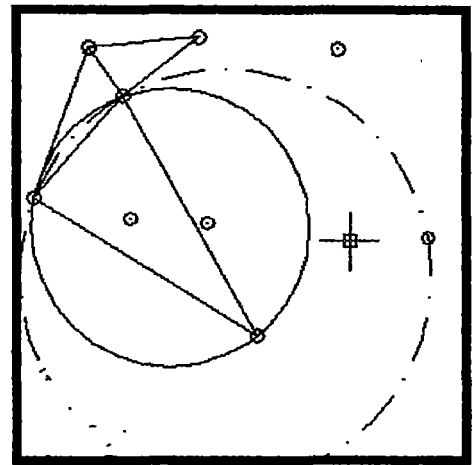
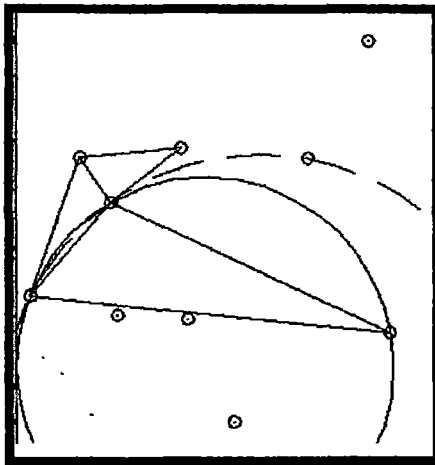
Como el triángulo anterior no puede mismo lado base definido anteriormente y un punto ubicado dentro del círculo circunscrito anteriormente. Formamos un nuevo círculo que pase por los vértices de este nuevo triángulo.

Si este nuevo círculo tiene puntos dentro, entonces tendremos que desechar este

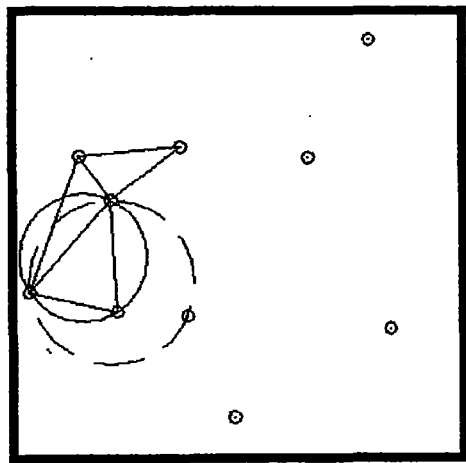
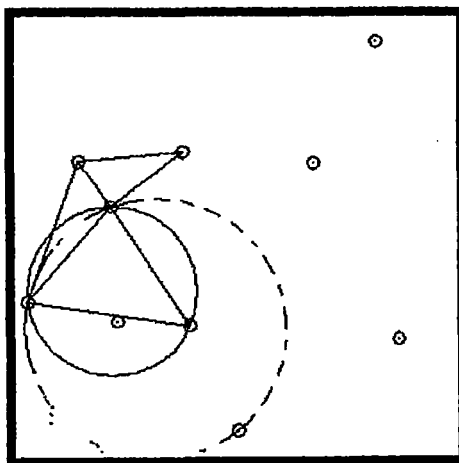


triángulo, y formar uno nuevo con el mismo lado base anterior y un punto ubicado dentro del círculo nuevo.

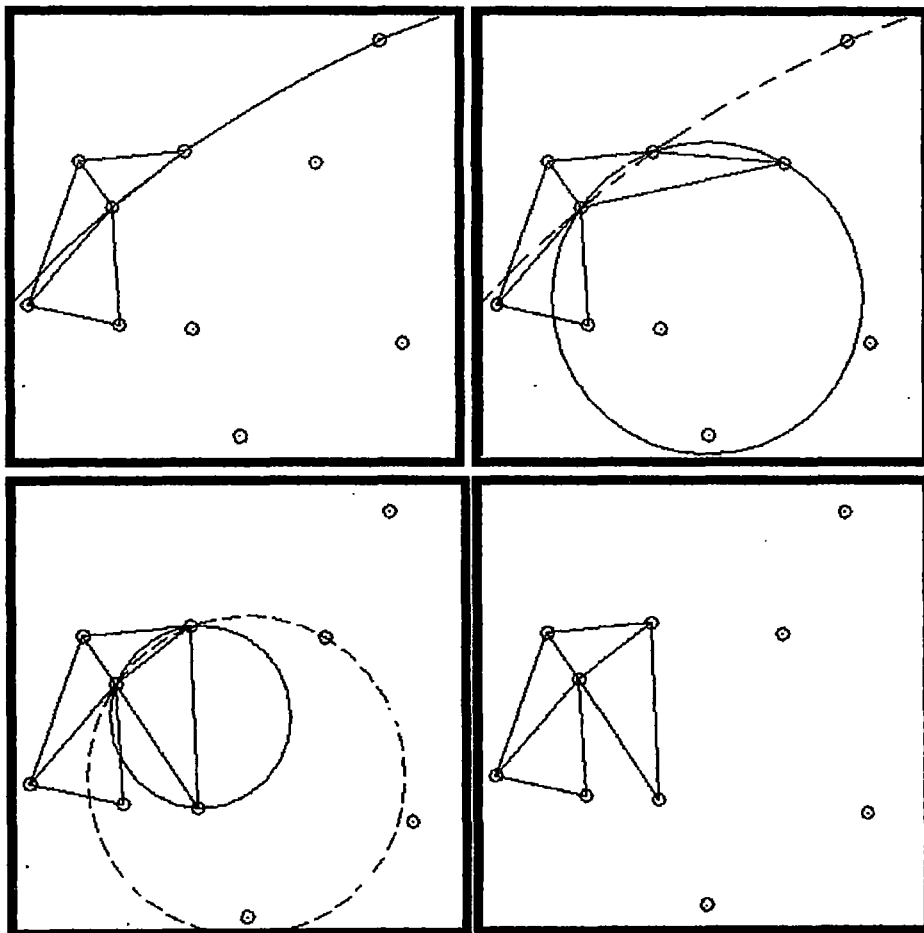
Se forma un nuevo triángulo y un nuevo círculo circunscrito, teniendo el mismo lado base y un punto dentro del círculo anterior (gráfico de la derecha). Si se tiene punto dentro de este círculo entonces tendremos que formar un nuevo triángulo mas pequeño teniendo las misma consideraciones anteriormente indicadas (gráfico de la izquierda).



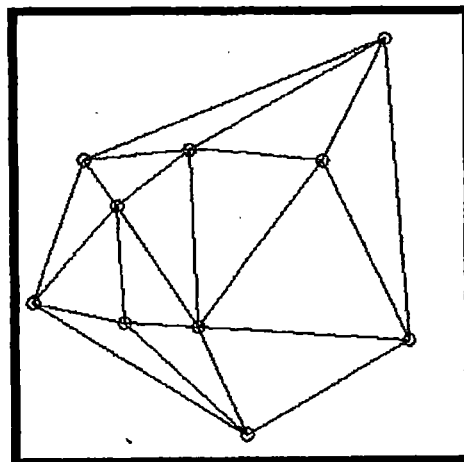
Así se procede iterando hasta que se encuentre 3 puntos de modo que dentro de su círculo circunscrito no exista ningún punto. (gráfico de la derecha). Entonces el triángulo que pase por estos 3 puntos será un nuevo triángulo de la red Delaunay.



Para buscar otro triángulo que pertenezca a la red Delaunay, definimos un nuevo lado base entre los lados de los triángulos que todavía no hayan sido definidos como lado base y se procede de manera similar a lo indicado anteriormente. Por ejemplo en los gráficos siguientes se indica el procedimiento que sigue para determinar el otro triángulo de la red.



Y así finalmente repitiendo el procedimiento para determinar los otros lados, se obtendrá la red de triángulos Delaunay mostrada.

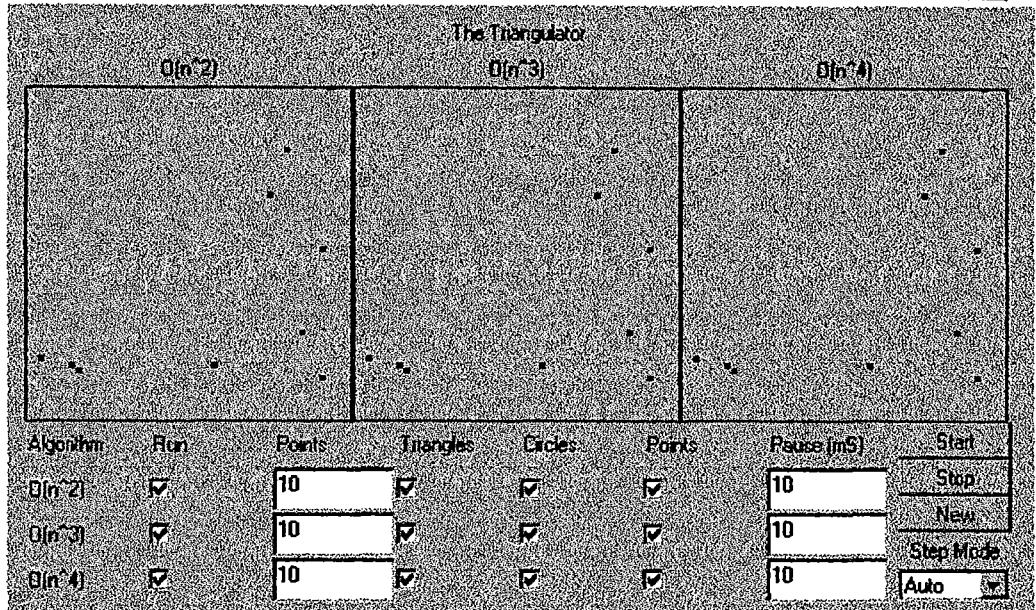




## a.2 Instrucciones para el usuario

El programa, al ser elaborado en lenguaje Java, puede ser ejecutado dentro de los entornos de los navegadores de Internet que soportan este lenguaje. Todos los navegadores actuales tienen la posibilidad de soportar rutinas en Java.

Una vez ejecutado el programa, en la pantalla se visualiza lo siguiente:



Muestra 3 sectores con la misma distribución de puntos, en el primer sector se visualizará el procedimiento de triangulación Delaunay para un tiempo de procesamiento  $O(n^2)$ . En el segundo y tercer sector se visualizará el procedimiento para un tiempo de procesamiento  $O(n^3)$  y  $O(n^4)$  respectivamente. Previa a la ejecución del algoritmo Delaunay, en **Run** deberemos indicar en que sectores se ejecutará la triangulación Delaunay; en **Point** el número de puntos (para aceptar un ingreso presionar ENTER); en **Triangles**, **Circles** y **Points**, habrá que indicar si deseamos ver en la pantalla los triángulos Delaunay, los círculos circunscritos y los puntos respectivamente; el avance de la triangulación será mostrada paso a paso, deteniéndose algunos microsegundos luego de la ejecución de cada paso (esto con fines didácticos), por lo que el tiempo de esta pausa puede ser definido en **Pause**; con **Start** iniciamos el procedimiento de triangulación, con **Stop** lo detenemos antes de que termine, con **New** escogemos una nueva distribución de puntos; en **Step Mode** habrá que indicar si la corrida es automática (*auto*) o por cada

paso se detiene a espera que el usuario de la orden de continuar mediante un clic sobre la pantalla (*manual*).

#### a.3 Salidas o resultados del programa

El programa concluye cuando se dibujan todos los triángulos para los puntos dados. Este programa también tiene su versión en C, el cual también puede ser bajado de Internet, pero tiene algunos errores.

#### a.4 Listado del programa

El programa es un Applet cuyo listado puede ser bajado completamente desde Internet y está en Java. Cualquier usuario puede descargarlo desde la dirección indicada o revisar el listado en el anexo al final de la Tesis.

Dirección:

<http://goanna.cs.rmit.edu.au/~gl/classes/TriangulationApplet.java>

## 6.3.b Programa LV (Conversión de estructuras)

### b.1 Generalidades

Cuando se trabajan con planos digitalizados y planos escaneados es común crear un modelo digital del terreno basándose en estructuras vectoriales de contorno. Estas estructuras resultan no ser muy prácticas como lo son las estructuras vectoriales T.I.N o las matriciales. Por lo que muchos programas aplicativos disponen de rutinas que permiten la conversión de estructuras de contorno a estructuras T.I.N. o matriciales.

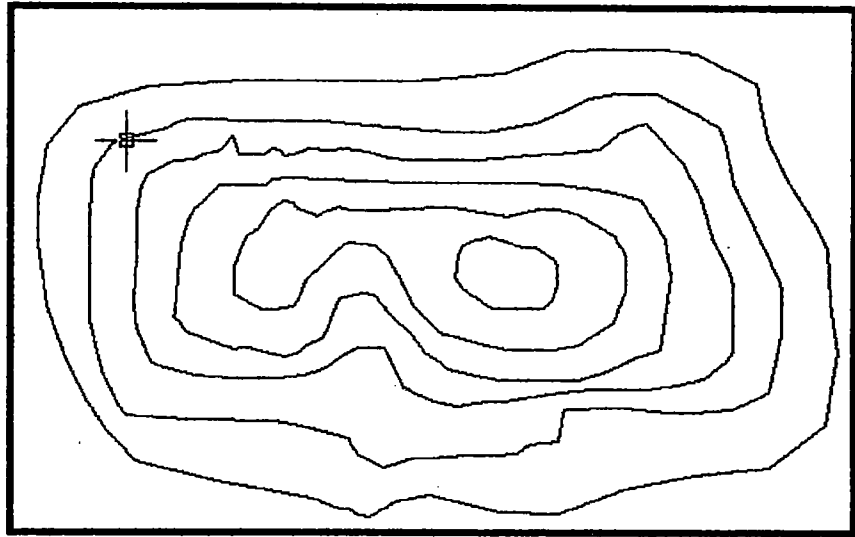
El programa que se presenta a continuación, convierte una estructura de contorno a una estructura matricial.

El programa esta realizado en AutoLisp que es un dialecto del lenguaje funcional LISP. Trabajar con funciones y la recursividad son cualidades innatas en la familia de los lenguajes LISP.

El programa mostrado corre en el entorno AutoCad, y si bien el programa puede no ser transportable directamente a otros entornos gráficos, el hecho de mostrar los listados hace posible traducirlo a otros lenguajes de programación que si son utilizados por los entornos diferentes al AutoCad.

### b.2 Instrucciones para el usuario

Es necesario tener dibujado un modelo digital del terreno basado en estructuras de contorno. En el caso del programa presentado, las estructuras de contorno serán curvas de nivel las cuales estarán representadas por segmentos de rectas a una altura determinada *Los segmentos de recta deberán haber sido dibujados con el comando Line y en caso hayan sido hechos como polilíneas entonces habrá que explotarlas.* El gráfico muestra un ejemplo de lo explicado.



Para correr el programa, primero se carga el archivo LSP donde se encuentra el programa y luego se lo ejecuta desde la línea de comandos.

*Command: Lv*

*Select objects :* (Seleccionamos las curvas de nivel)

*Esquina inferior izquierda de la malla:*

*Esquina superior derecha de la malla:*

*Número de segmentos a lo largo del eje X:*

*Número de segmento a lo largo del eje Y:*

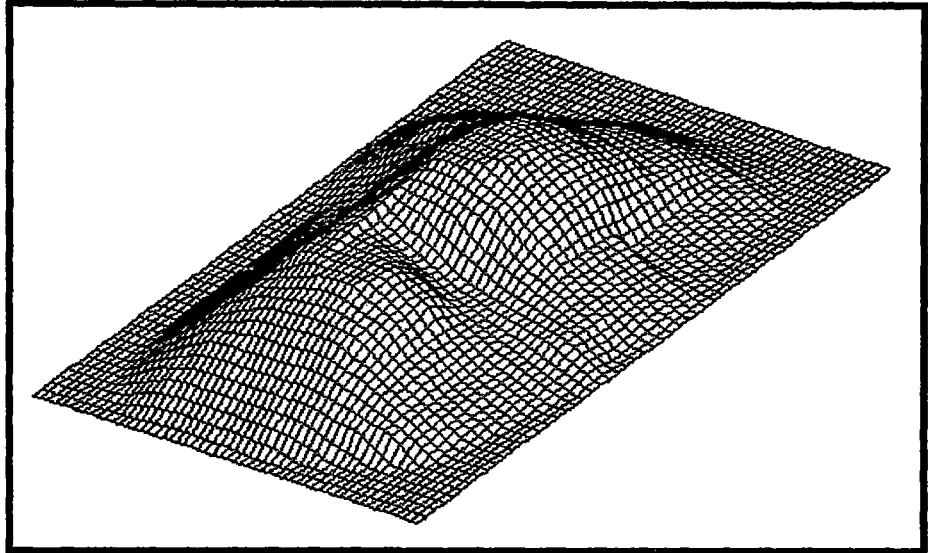
Pide los nuevos bordes para la estructura matricial a crear.

Pide la densidad de la malla, ver capítulo 5

Y el programa procederá a la elaboración de la malla. Por ejemplo la malla mostrada en el gráfico siguiente ha sido creada con 52x52 segmentos a lo largo de cada eje.

### b.3 Salidas o resultados del programa

El programa muestra en la pantalla la estructura matricial en forma de malla. Es posible cambiarlo de punto de vista para una mejor visualización.



Además mediante el comando **List** el AutoCad permite visualizar las coordenadas tridimensionales de todos los vértices de la malla.

#### b.4 Listado del programa

```
;3D Contour AutoLisp program
;Created by Indra Madyasiwi Wresniaji (c)1995
;CAD Research and Development of Lab Komputer Desain Arsitektur
;Architecture Dept. of Bandung Institute of Technology
;Ganesha St. 10th Bandung Indonesia
;*****
;Send us $25 or more to buy some cokes and pizzas, please.
;This program needs some elevated lines
;*****

; Adaptación y traducción a la versión castellana por Julio Pablo
;
; Sitio web: http://personal.redestb.es/juliopablo
; Correo: estuvoaqui@correo.nu

(defun C:LV ()
  (lv:1)
  (lv:2)
  (lv:3)
  (lv:4)
  (lv:5)
  (lv:6)
```

```

(lv:7)
(lv:8)

(lv:9)
(lv:10)
(princ)
)

(defun lv:1 ( / sss )
  (if (tblsearch "layer" "lvellar")
      (if (setq sss (ssget "x" '((8 . "lvellar"))))
          (command "_erase" sss "")
          )
      )
  )
  (princ "\nIndra MW's IMWXP(R) LVellar(Tm)-II (c) 1995 All rights reserved")
  (princ "\nSe necesitan que las lineas (curvas de nivel) estén en su cota correspondiente.")
  (if (not (setq ss_1 (ssget '((0 . "line"))))
      (progn (princ "\nNo se ha seleccionado nada.")
             (exit)
            )
      )
  )
)
)

(defun lv:2 ()
  (if (tblsearch "layer" "lvellar")
      (command "_layer" "thaw" "lvellar"
               "on" "lvellar"
               "unlock" "lvellar"
               "set" "lvellar"
               "")
      )
  (command "_layer" "_make" "lvellar"
           "")
  )
  (command "_copy" ss_1 "" "0,0,0" "")
  (command "_chprop" ss_1 "" "_layer" "lvellar"
           "_thickness" "0.0"
           "_color" "3"
           "")
  )
  (command "_layer" "_freeze" "~lvellar" "")
  (if (/= (getvar "worlducs") 1)
      (command "_ucs" "")
      )
  )
  (if (or (/= (car (getvar "viewdir")) 0.0) (/= (cadr (getvar "viewdir")) 0.0))
      (command "_plan" "")
      )
  )
  (command "_zoom" "_e")
  (setvar "elevation" 0.0)
  (setvar "thickness" 0.0)
  (setvar "osmode" 0)
  (setvar "coords" 1)
  (setq le_ma (caddr (getvar "extmin")))

```

```

        he_ma (caddr (getvar "extmax"))
    )
)

(defun lv:3 ()
  (if (not (setq ll_ma (getpoint "\nEsquina inferior izquierda de la
malla: ")))
    (exit)
  )
  (setq ll_ma (sure:2d ll_ma))
  (command "_ucs" "_o" ll_ma)
  (if (not (setq ur_ma (getcorner (trans ll_ma 0 1)
"\nEsquina superior derecha de la
malla: "
                                )
    )
      )
    (exit)
  )
  (setq ur_ma (trans ur_ma 1 0)
    ur_ma (sure:2d ur_ma)
  )
  (command "_ucs" "")
)

(defun lv:4 ( / done )
  (while (not done)
    (setq x_seg (getint "\nNúmero de segmentos a lo largo del eje X
<12>: "))
    (cond ( (not x_seg)
      (setq x_seg 12
        done 1
      )
    )
      ( (< x_seg 1)
        (princ "\nSe requiere un entero entre 0 y 32767.")
      )
      ( T
        (setq done 1)
      )
    )
  )
  (setq done nil)
  (while (not done)
    (setq y_seg (getint "\nNúmero de segmentos a lo largo del eje Y
<12>: "))
    (cond ( (not y_seg)
      (setq y_seg 12
        done 1
      )
    )
      ( (< y_seg 1)
        (princ "\nSe requiere un entero entre 0 y 32767.")
      )
      ( T
        (setq done 1)
      )
    )
  )
)

```

```

    )
  )
)
(setq x_gap (/ (- (car ur_ma)(car ll_ma)) x_seg)
      y_gap (/ (- (cadr ur_ma)(cadr ll_ma)) y_seg)
)
)

(defun lv:5 ( / counter )
  (princ (strcat "\nCreando "
                (itoa (1+ x_seg))
                " líneas de sección vertical..."
          )
  )
  (setq counter -1)
  (repeat (1+ x_seg)
    (setq counter (1+ counter))
    x_pos (+ (car ll_ma)(* counter x_gap))
    isl_sp (list x_pos (cadr ll_ma))
    isl_ep (list x_pos (cadr ur_ma))
  )
  (grtext -2 (strcat (itoa counter)
                    " de "
                    (itoa (1+ x_seg))
                    " creadas"
                )
  )
  (mk:sect isl_sp isl_ep)
)
)

(defun lv:6 ()
  (if (setq ss_1 (ssget "x" '((-4 . "<and") (62 . 1) (8 . "lvellar") (-4 .
"and>"))))
    (progn (setq counter -1)
           (while (setq e_name (ssname ss_1 (setq counter (1+
counter))))
             (setq e_data (entget e_name)
                   e_spev (caddr (cdr (assoc 10 e_data)))
                   e_epev (caddr (cdr (assoc 11 e_data)))
             )
             (if (equal e_spev e_epev 1e-12)
                 (entdel e_name)
             )
           )
    )
  )
  (if (setq ss_1 (ssget "x" '((8 . "lvellar"))))
    (command "_chprop" ss_1 "" "_color" "3" "")
  )
)

(defun lv:7 ( / counter )
  (princ (strcat "\nCreando "
                (itoa (1+ y_seg))
                " líneas de la sección horizontal..."
          )
  )
)

```



```

)
(setq counter -1)
(repeat (1+ y_seg)
  (setq counter (1+ counter)
    y_pos (+ (cadr ll_ma) (* counter y_gap))
    isl_sp (list (car ll_ma) y_pos)
    isl_ep (list (car ur_ma) y_pos)
  )
  (grtext -2 (strcat (itoa counter)
    " de "
    (itoa (1+ y_seg))
    " creadas"
  )
  )
  (mk:sect isl_sp isl_ep)
)
)
)

(defun lv:8 ()
  (if (setq ss_1 (ssget "x" '((-4 . "<and") (62 . 3) (8 . "lvellar") (-4 .
"and>"))))
    (command "_erase" ss_1 "")
  )
)

(defun lv:9 (/ x_count y_count x_coord y_coord int_line )
  (entmake)
  (entmake (list (cons 0 "Polyline")
    (cons 10 '(0.0 0.0 0.0))
    (cons 66 1)
    (cons 70 16)
    (cons 40 0.0)
    (cons 41 0.0)
    (cons 71 (1+ x_seg))
    (cons 72 (1+ y_seg))
    (cons 73 0)
    (cons 74 0)
    (cons 75 0)
    (cons 8 "lvellar")
  )
)
  (setq x_count -1)
  (repeat (1+ x_seg)
    (setq x_count (1+ x_count)
      x_coord (+ (car ll_ma) (* x_count x_gap))
      isl_sp (list x_coord (cadr ll_ma))
      isl_ep (list x_coord (cadr ur_ma))
      y_count -1
    )
    (repeat (1+ y_seg)
      (setq y_count (1+ y_count)
        y_coord (+ (cadr ll_ma) (* y_count y_gap))
      )
      (if (setq int_line (ssget "c" (list x_coord y_coord) (list x_coord
y_coord) '((0 . "line"))))
        (progn (setq e_name (ssname int_line 0)
          e_data (entget e_name)

```

```

        e_spt (cdr (assoc 10 e_data))
        e_sev (caddr e_spt)
        e_spt_p (sure:2d e_spt)
        e_ept (cdr (assoc 11 e_data))
        e_eev (caddr e_ept)
        e_ept_p (sure:2d e_ept)
        i_pt_p (inters isl_sp isl_ep e_spt_p e_ept_p
nil)
    )
    (if i_pt_p
      (setq ev_scl (/ (distance e_spt_p i_pt_p)
                     (distance e_spt_p e_ept_p)
                     )
            i_ev (+ e_sev (* ev_scl (- e_eev e_sev)))
            z_coord i_ev
            )
      (setq z_coord le_ma)
    )
  )
  (setq z_coord le_ma)
)
(entmake (list (cons 0 "Vertex")
               (cons 10 (list x_coord y_coord z_coord))
               (cons 70 64)
               )
)
)
)
(entmake (list (cons 0 "Seqend")))
)

(defun lv:10 ( / ss_1 )
  (if (setq ss_1 (ssget "x" '((-4 . "<and") (0 . "line") (8 . "lvellar") (-
4 . "and>"))))
    (command "_erase" ss_1 "")
  )
)

(defun mk:sect ( s_fpt e_fpt / int_lines )
  (setq max_ds (distance s_fpt e_fpt)
        mx_lst nil
        ds_lst nil
        pt_lst nil
        int_lines nil
        ss_idx -1
  )
  (if (setq int_lines (ssget "c" s_fpt e_fpt '((0 . "LINE"))))
    (while (setq e_name (ssname int_lines (setq ss_idx (1+ ss_idx))))
      (setq e_data (entget e_name)
            e_spt (cdr (assoc 10 e_data))
            e_sev (caddr e_spt)
            e_spt_p (sure:2d e_spt)
            e_ept (cdr (assoc 11 e_data))
            e_eev (caddr e_ept)
            e_ept_p (sure:2d e_ept)
            i_pt_p (inters s_fpt e_fpt e_spt_p e_ept_p)
      )
    )
  )
)

```

```

      (if i_pt_p
        (setq ev_scl (/ (distance e_spt_p i_pt_p)
                       (distance e_spt_p e_ept_p)
                       )
              i_ev (+ e_sev (* ev_scl (- e_eev e_sev)))
              i_pt (list (car i_pt_p) (cadr i_pt_p) i_ev)
              i_ds (distance (list (car i_pt_p) (cadr i_pt_p)))

s_fpt)
              mx_lst (append mx_lst (list (cons i_ds i_pt)))
              ds_lst (append ds_lst (list i_ds))
            )
          )
        )
      (setq s_pt (list (car s_fpt) (cadr s_fpt) le_ma)
            e_pt (list (car e_fpt) (cadr e_fpt) le_ma)
            s_ds 0.0
            e_ds (distance (list (car s_pt) (cadr s_pt))
                       (list (car e_pt) (cadr e_pt)))
            )
      mx_lst (append mx_lst (list (cons s_ds s_pt)))
      ds_lst (append ds_lst (list s_ds))
      mx_lst (append mx_lst (list (cons e_ds e_pt)))
      ds_lst (append ds_lst (list e_ds))
    )
  )
  (setq ds_lst (realsort ds_lst)
        ct -1
  )
  (while (setq p_ds (nth (setq ct (1+ ct)) ds_lst))
    (setq p_mx (assoc p_ds mx_lst)
          pt_lst (append pt_lst (list (cdr p_mx)))
    )
  )
  (setq s_pt (nth 0 pt_lst)
        s_pt (list (car s_fpt) (cadr s_fpt) (caddr s_pt))
        e_pt (nth (1- (length pt_lst)) pt_lst)
        e_pt (list (car e_fpt) (cadr e_fpt) (caddr e_pt))
  )
  (if (equal (nth 0 ds_lst) 0.0 1e-12)
    nil
    (setq pt_lst (append (list s_pt) pt_lst))
  )
  (if (equal (nth (1- (length ds_lst)) ds_lst) max_ds 1e-12)
    nil
    (setq pt_lst (append pt_lst (list e_pt)))
  )
  (setq ct 0)
  (while (setq e_pt (nth (setq ct (1+ ct)) pt_lst))
    (setq s_pt (nth (1- ct) pt_lst))
    (entmake (list (cons 0 "Line")
                  (cons 10 s_pt)
                  (cons 11 e_pt)
                  (cons 8 "lvellar")
                  (cons 62 1)
                  )
    )
  )
)

```

```

)

(defun realsort
  ( _rnl_0
    / _rnl_1
      _rnl_2
      _rnl_3
      _rnl_4
      _count_0
      _count_1
      _rncom_0
      _rncom_1
  )
  (setq _rnl_1 _rnl_0
        _rnl_4 nil
        _count_0 -1
  )
  (while (setq _rncom_0 (nth (setq _count_0 (1+ _count_0)) _rnl_0))
    (setq _count_1 -1
          _rnl_2 nil
          _rnl_3 nil
    )
    (while (setq _rncom_1 (nth (setq _count_1 (1+ _count_1))
                              _rnl_1))
      (cond ( (< _rncom_1 _rncom_0)
              (setq _rnl_2 (cons _rncom_1 _rnl_2))
            )
            (> _rncom_1 _rncom_0)
              (setq _rnl_3 (append _rnl_3 (list _rncom_1)))
            )
          )
      (setq _rnl_4 (cons _rncom_0 _rnl_3)
            _rnl_4 (append (reverse _rnl_2) _rnl_4)
          )
      (setq _rnl_1 _rnl_4 _rnl_4 nil)
    )
  )
  (if 1 _rnl_1)
)

(defun sure:2d ( _lst )
  (list (car _lst)(cadr _lst))
)

```

### **6.3.c Programa de interpolación de puntos**

#### **c.1 Generalidades**

Este programa permite interpolar puntos tridimensionales de AutoCad con la finalidad de obtener la posición de puntos cuya cota sirva para realizar las curvas de nivel.

Existe la opinión, muchas veces justificada, que las curvas de nivel que realizan los programas aplicativos al respecto no se ajustan fielmente al terreno que dicen representar. Por tal motivo, muchos, prefieren realizar en forma manual las interpolaciones para luego ubicar dichos puntos interpolados en el AutoCad y poder dibujar sus curvas de nivel. El hecho de tener un programa que facilite dicha interpolación sería conveniente para este tipo de usuarios.

#### **c.2 Instrucciones para el usuario**

Este programa crea un nuevo comando, en AutoCad, al cual lo he llamado INTERPOLACION.

Una vez llamado dicho comando desde la barra de comandos de igual modo como se llama a cualquier comando de AutoCad, el programa nos pide el espaciamiento entre curvas de nivel. Dicho espaciamiento deberá ser un número entero o a lo más con 1 decimal (por ejemplo: 3 , 3.5 , etc.).

A continuación se solicitará los 2 puntos cuyas cotas se desean interpolar:

Primer punto: (Ubicarse en el punto y hacer clic)

Segundo punto: (Ubicarse en el punto y hacer clic)

No es necesario que el cursor se ubique exactamente sobre el punto a interpolar ya que aun cuando no se haya hecho clic exactamente sobre dicho punto, el programa considerará el punto a interpolar

Entonces se realizará la interpolación ubicando puntos cuyas cotas son múltiplos del espaciamiento escogido. Por ejemplo si tenemos 3 puntos a interpolar: A , B y C cuyas cotas son 101.4 , 105.3 y 108 mts. respectivamente. Entre A y B los puntos interpolados tendrán las cotas 102 y 104 respectivamente. Entre B y C las cotas de los puntos interpolados serán 106 y 108. Y entre A y C serán 102, 104 , 106 y 108. La posición de dichos puntos y sus cotas serán mostradas en la pantalla. Pero observando detenidamente, veremos que en el punto C se muestra 2 veces el texto 108, una debido a la interpolación entre A y C ; y la otra debido a la interpolación entre B y C. Es por esta razón que cuando la cota de un punto a interpolar coincide con el de un punto interpolado, se preguntará lo siguiente:

“Cota superior (inferior) y punto a interpolar coinciden. Aceptar(Si/No) :”

Si se indica **Si**, entonces el programa mostrará la cota de dicho punto. Si se indica **No** el programa no mostrará la cota de dicho punto ya que posiblemente ya fue mostrado en otra interpolación en la cual se usó dicho punto.

Una vez realizada la interpolación entre 2 puntos, solicitará otros 2 puntos a interpolar y así sucesivamente hasta presionar la tecla <ESC> y terminar el programa.

### c.3 Descripción y listados

El programa consta de 4 funciones definidas (DEFUN) las cuales son:

*Interpolando*

*Extremos*

*Thales*

*c:interpolación*

A continuación se describe cada una de dichas funciones definidas en el orden que se van ejecutando.

*C:interpolación:* Aquí se encuentra el nombre del nuevo comando creado, que como se dijo anteriormente se llama **interpolacion**. Una vez ejecutada esta función desde la línea de comandos del AutoCad, esta llamará a la función definida *Interpolando*.

*Interpolando:* Solicita el espaciamiento ( h) entre curvas, luego realizará un bucle solicitando los 2 puntos a interpolar de par en par, ya que la interpolación se realiza entre para de puntos. Dentro de dicho bucle, calcula la distancia horizontal entre ambos puntos (dis), la pendiente desde la cota mínima a la máxima (pend), el ángulo horizontal de la dirección formada entre ambos puntos (ang), las variables que permitirán definir las cotas de los puntos interpolados (n, nmax, div1, div2) y el tamaño del texto (altex, altn) donde se indicará la cota del punto interpolado.

Luego llama a la función definida *Extremos* que permitirá decidir que acciones tomar si es que las cotas de los puntos a interpolar aproximadamente coinciden con algunas de las cotas de los puntos interpolados.

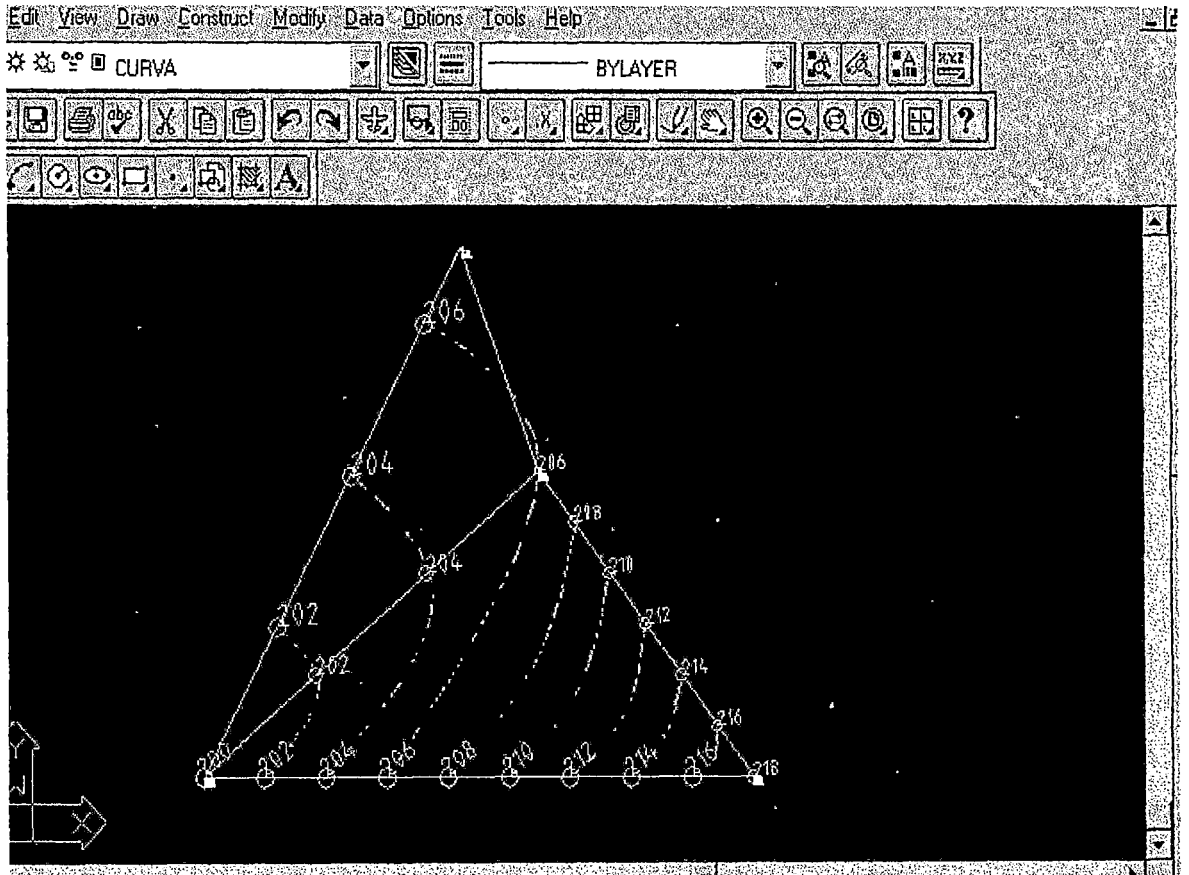
Luego realiza un bucle con la finalidad de realizar las iteraciones necesarias para ubicar los puntos interpolados entre los dos puntos definidos. Esta ubicación se realiza mediante la función definida llamada: *Thales*.

*Extremos* : Se verificará si las cotas de los puntos a interpolar coinciden (o son aproximadamente iguales) a alguna de las cotas de los puntos interpolados, con la finalidad de preguntar si se va a escribir el texto de la cota del punto interpolado en dichos puntos extremos.

*Thales* : Calcula las cotas de los puntos a interpolar (cota), convierte dicho valor numérico en texto (cotaf) con la finalidad de mostrarlo en el gráfico, calcula la distancia horizontal (Difh) del punto a interpolar al punto interpolado y lo ubica (pint), lo marca con un círculo (mediante el comando CIRCLE) y muestra la cota interpolada (mediante el comando TEXT).

Ejemplo : A continuación se muestra una pantalla de AutoCad, donde se han interpolado 4 puntos con el programa en mención que muestra la posición de los puntos interpolados mediante círculos. En otra capa, mediante el comando SPLINE se ha unido los puntos de cota similar con la finalidad de obtener las curvas de nivel (es conveniente trabajar por capas, para posteriormente desactivar la capa de los puntos interpolados, de modo que solo nos quedará en la pantalla las curvas de nivel).





LISTADOS : En las siguientes 2 páginas se presentan el listado del programa en AutoLisp, el cual puede ser creado desde cualquier editor de textos en formato ASCII y con extensión LSP.

```

(DEFUN interpolando (/ div1 div2)
  (GRAPHSCR)
  (COMMAND "OSMODE" 8) (TERPRI)
  (PROMPT "Este programa interpola cotas en topografia") (TERPRI)
  (INITGET (+ 1 2 4))
  (SETQ h (GETREAL "Ingrese el espaciamento entre curvas : ")) (TERPRI)
  (SETQ conta 0)
  (WHILE T
    (SETQ pt1 (GETPOINT "Primer punto: ")) (TERPRI)
    (SETQ xpt1 (CAR pt1))
    (SETQ ypt1 (CADR pt1))
    (SETQ zpt1 (CADDR pt1))
    (SETQ pt2 (GETPOINT pt1 "Segundo punto: ")) (TERPRI)
    (SETQ xpt2 (CAR pt2))
    (SETQ ypt2 (CADR pt2))
    (SETQ zpt2 (CADDR pt2))
    (SETQ dis (SQRT (+ (EXPT (- xpt2 xpt1) 2) (EXPT (- ypt2 ypt1) 2))))
    (SETQ zmin (MIN zpt1 zpt2))
    (SETQ zmax (MAX zpt1 zpt2))
    (SETQ pend (/ (- zmax zmin) dis))
    (SETQ div1 (/ zmin h))
    (SETQ n (FIX div1))
    (SETQ div2 (/ zmax h))
    (SETQ nmax (FIX div2))
    (IF (= zmin zpt1)
      (SETQ xmin xpt1 ymin ypt1 xmax xpt2 ymax ypt2 ptmin pt1 ptmax pt2)
      (SETQ xmin xpt2 ymin ypt2 xmax xpt1 ymax ypt1 ptmin pt2 ptmax pt1)
    )
    (SETQ ang (ANGLE ptmin ptmax))
    (IF (< ang 0.26) (SETQ incli 35)(SETQ incli 4))
    (IF (> ang 6.02) (SETQ incli 35))
    (SETQ nrep (- nmax n))
    (SETQ radio (/ dis 65))
    (SETQ altn (/ dis 26))
    (IF (< conta 1) (SETQ altex (/ dis 26)) (SETQ altex (/ (+ (* 1.2 altn) altp) 2.2)))
    (SETQ nn 1)
    (extremos)
    (REPEAT nrep
      (SETQ n (1+ n))
      (IF (OR (/= n nmax) (= nn 1)) (thales))
    )
    (COMMAND "line" pt1 pt2 "")
    (SETQ altp altex)
    (SETQ conta (1+ conta))
  )
  (COMMAND "OSMODE" 0)
)

```

```

(DEFUN extremos (/ cotai cotas ni ns sino)
  (SETQ cotai (* n h))
  (SETQ restai (- zmin cotai))
  (SETQ aresti (ABS restai))
  (SETQ daresi (/ aresti h))
  (IF (< daresi 0.05) (SETQ ni 1))
  (SETQ cotas (* nmax h))
  (SETQ restas (- zmax cotas))
  (SETQ arests (ABS restas))
  (SETQ daress (/ arests h))
  (IF (< daress 0.05) (SETQ ns 1) (SETQ ns 0))
  (INITGET 1 "Si No")
  (IF (= ni 1)
    (SETQ sino (GETKEYWORD "Cota inferior y punto a interpolar coinciden. Aceptar?(Si/No : ")
    (IF (EQUAL sino "Si") (thales))
  )
)

```

```

(INITGET 1 "Si No")
(IF (= ns 1)
  (SETQ sino (GETKEYWORD "Cota superior y punto a interpolar coinciden. Aceptar?(Si/No) : "))
  (IF (EQUAL sino "No") (SETQ nn 0))
)

(DEFUN thales (/ cota cotam cotaf Difv Difh)
  (SETQ cota (* n h))
  (SETQ cotam (+ cota 0.01))
  (SETQ cotaf (RTOS cotam 2 1))
  (SETQ Difv (- cota zmin))
  (SETQ Difh (/ Difv pend))
  (SETQ pint (POLAR ptmin ang Difh))
  (COMMAND "CIRCLE" pint radio)
  (COMMAND "TEXT" pint altex incli cotaf)
)

(DEFUN C:interpolacion(/ pt1 pt2)
  (SETVAR "blipmode" 0) (SETVAR "cmdecho" 0)
  (interpolando)
  (SETVAR "blipmode" 1) (SETVAR "cmdecho" 1)
)

```

# **CAPÍTULO 7**

## **APLICACIÓN A UN CASO ESPECÍFICO**

## **7.1 Introducción**

En este capítulo se ha realizado aplicaciones con las tecnologías explicadas en los capítulos anteriores, teniendo como escenario el Campus Universitario de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Se ha tratado en lo posible que los resultados obtenidos sean lo más precisos posibles, para lo cual se ha realizado un minucioso seguimiento y chequeo de las mediciones realizadas, eliminándose muchas mediciones aún cuando ya habían sido procesadas, si es que se consideró que no tenían una adecuada precisión.

Dada las limitaciones de la investigación y debido a la extensión del trabajo, es posible que a pesar de la pulcritud con que se realizaron las mediciones, el seguimiento y el chequeo, hayan algunos resultados que escaparon de las tolerancias permisibles, situación que considero difícil pero no imposible.

## **7.2 Ubicación de puntos GPS**

En todo el Campus Universitario se han ubicado puntos con placas de bronce permanentes sobre las veredas, pistas o hitos de concreto. Muchas de estas placas han sido colocadas para la presente tesis, pero también existen otros cuya monumentación corresponde a trabajos de anteriores. Es conveniente indicar que los puntos medidos se encuentran en el centro de cada placa circular salvo que se indique lo contrario.

Para la determinación de la cota de los puntos, se tomó en cuenta el BM de Topografía, así como otros BMs. Nivelaciones realizadas hace algunas décadas, por el Ing. Samuel Mora Quiñones. Se realizó nivelaciones geométricas compuestas con

precisión ordinaria, es decir la tolerancia máxima fue de  $0.02 K^{1/2}$ , Las cotas que no fueron calculadas con nivel sino con la Estación total, la cual tiene una precisión menor que las hechas con nivel, para estos casos se tomó una tolerancia máxima de  $0.03 K^{1/2}$ . Las cotas que han sido calculadas con Estación total tienen la indicación de: *Cota aproximada* en los reportes mostrados en el anexo 1, para diferenciarlas de las que fueron calculadas con nivel.

Para la determinar la posición horizontal de los puntos se usó el método diferencial Estático usando los 2 GPS Leica de doble frecuencia que dispone la UNI. Se colocó en Master sobre un punto del CISMID que tiene coordenadas conocidas y que fueron calculadas por el Ing. Ralfo Herrera Rosado cuando la UNI adquirió los equipos GPS, y que son:

<i>Este :</i>	<i>276702.8666 mts.</i>
<i>Norte:</i>	<i>8671126.3268 mts.</i>
<i>Altura elipsoidal:</i>	<i>104.3866 mts.</i>

Los equipos se colocaron sobre trípodes y con sus antenas orientadas en la misma dirección con la finalidad de eliminar el error por excentricidad. En cada punto Rover se estacionó mínimo 14 minutos tomando épocas cada 15 segundos.

El equipo utilizado nos indica que el error a obtener está alrededor de  $\pm ( 1 \text{ mm.} + 1 \text{ partes por millón } )$ , cuando se trabajo con el método diferencial estático. Sin embargo para obtener esta precisión es necesario realizar mediciones durante varias horas en cada punto rover. Las mediciones realizadas durante el presente trabajo, en

muchos puntos rover ha sobrepasado el centímetro, las razones de este error no he podido determinarlas con exactitud, sin embargo se observó que por ejemplo, que si el punto que se encontraba debajo de muchos cables de electricidad entonces el error aumentaba, también aumentó el error cuando el equipo estaba ligeramente desnivelado, consideraciones que fueron tomadas muy en cuenta para mejorar las otras mediciones. En todo caso he decidido no incluir en la presente tesis aquellos puntos cuyo error exceda de 1 cm. muy a pesar de ya haber sido medidos y procesados.

Los reportes se muestran en el anexo 1, el nombre de los puntos tiene relación con el sector donde se encuentran y han sido ordenados alfabéticamente.

Para el procesamiento de los datos se ha usado el programa SKI, obteniendo como resultados las coordenadas en el sistema WGS84. Para transformar el Psad56 se ha recurrido al programa RPMTRANS elaborado por el Ministerio de Energía y Minas Peruano.

Para su ubicación referencial se han dibujado los croquis de la zona indicando las referencias mas importantes, así como fotos de la zona en la que los puntos están indicados mediante flechas o círculos. Con lo que los puntos son fácilmente ubicados.

Respecto al los reportes, he ha podido observar que la línea equipotencial gravitatoria y la superficie elipsoidal no son paralelas en la extensión que abarca el Campus de la UNI, así si tenemos que la ondulación del punto mas alejado hacia el Norte que se tomó es 23.976 y del punto mas hacia el Sur es 24.062, tenemos que ambas superficies, existe una diferencia de ondulación de 0.069 mts. si las superficies fuesen paralelas esta diferencia sería cero.

## **7.3 Levantamiento del Campus Universitario**

### **7.3.a Alcance del trabajo**

Como aplicación de las tecnologías explicadas, se ha realizado el levantamiento del Campus Universitario de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Ha sido imposible realizar un plano definitivo de la UNI ya que actualmente se encuentran construyendo nuevas edificaciones además de las recién inauguradas. No se ha levantado el CISMID, el Estadio de la UNI debido a las dificultades con el permiso para sacar equipos y entrar a dichos sectores. Tampoco se ha levantado la zona del laboratorio Nacional de Hidráulica. El muro perimetral de la UNI fue levantado con GPS usando el método diferencial. Para levantar los cerros ha sido necesario subir hasta la cima de éstos, observando que no existe ninguna referencia, por ejemplo mallas de alambre, que indiquen hasta donde son los límites de la UNI. Es mas durante el levantamiento de estas zonas, se observó que personas ajenas a la Universidad ingresaban y salían de ésta hacia el cuartel del Rimac, con consentimiento de los soldados que se encuentran controlando el ingreso a dicho cuartel desde dichos cerros. La única parte de los cerros de la UNI que no fue levantada completamente, es la que se encuentra frente a Máquinas Térmicas en la Facultad de Ingeniería Mecánica, debido a la excesiva vegetación y la escarpado de la zona, para lo cual hubiese requerido eliminar vegetación, algo que está definitivamente fuera del alcance de esta Tesis.

Las curvas de nivel solo han sido realizadas para los cerros de la UNI. Por lo que no se han incluido curvas de nivel en las zonas de las construcciones ni jardines.



No se muestra los listados de los cálculos de la poligonal, no los de las coordenadas de los puntos de relleno ya que consideré innecesario incluirlos debido a su extensión y a que todo lo levantado está indicado en los planos mostrados.

### **7.3.b Equipos y brigadas**

Se utilizó las Estaciones Totales TopCon GTS 1003, Leica 300 y el GPS geodésico Leica que dispone la UNI. Se organizó en diferentes frentes de trabajo. Cada frente comprendía aproximadamente una facultad y estuvo compuesto por una brigada topográfica de 4 personas en caso de levantamiento con Estación total: 1 operador de la Estación Total, 2 portadores de los prismas y 1 encargado de realizar los croquis en libreta. Y por una brigada de 3 personas en caso del GPS para el levantamiento del cerco de la UNI: 1 operador del Master, 1 operador del rover y un ayudante para cargar los equipos.

### **7.3.c Características técnicas y tolerancias**

El levantamiento fue realizado partiendo de puntos geodésicos tomados con GPS.

La red e apoyo realizada para el levantamiento fue la poligonal electrónica la cual se calculó con el programa Topograph. Las tolerancias máximas permisibles para la poligonal fueron:

Error relativo máximo permisible::  $1/20000$

Tolerancia en nivelación:  $0.02 K^{1/2}$  mts. ( K distancia nivelada en Km)

Error angular :  $20'' N^{1/2}$  ( N número de lados de la poligonal)

Todas las mediciones fueron realizadas con luz infrarroja por promedios de 2 mediciones.

En cuanto a los errores en los levantamientos de los detalles y las curvas de nivel, estos tienen  $\pm 4$  cm. en posición horizontal, debido principalmente a que algunas veces no se puso el bastón del prisma en la perfecta posición vertical durante las mediciones. Y un error máximo de  $\pm 4$  cm. en posición vertical debido principalmente a que algunas veces el prisma se hundía en el terreno o no se medía exactamente al centro del prisma. En todo caso ambos errores son mínimos para los trabajos de detalles y curvas de nivel. Como se explicó en el capítulo 5, los principales errores al momento de crear las curvas de nivel son debido a un mal modelo digital del terreno, por lo tanto se tomó especial cuidado de seguir las sugerencias indicadas en el capítulo 5.

#### **7.3.d Proyección utilizada**

Se ha escogido como plano de proyección la Universal Transversa Mercator usando el elipsoide WGS84, para lo cual fue necesario convertir las distancias horizontales medidas en el campo a distancias UTM.

Para calcular el factor de conversión, se tomo como punto de referencia uno que se encuentre en la zona central del Campus Universitario, este es el llamado TOPO-1 que se encuentra en el Departamento de Topografía y Vías de transporte cuyas coordenadas están mostradas en el anexo 1. Con las coordenadas UTM de dicho punto se determinó que el factor de escala es: 1.00021546 . Para calcular el factor de reducción al elipsoide se consideró la

altura elipsoidal indicada para el punto en mención, con lo que nos dio un valor de 0,99997930 para el factor de escala. Si multiplicamos ambos factores obtendremos un factor de conversión de : 1,0001948 . Así para una distancia horizontal de 1300 mts. , que es la que hay aproximadamente desde el extremo Sureste al extremo Noroeste del Campus Universitario, tendremos una distancia UTM de  $1,0001948 \times 1300 \text{ mts.} = 1300.253 \text{ mts.}$  O sea 0.25 mts. de diferencia, que a la escala 1/750 (que es la escala mas grande usada en los planos en planta de la presente tesis), vendría a ser 0,0003 mts de dibujo, lo que es totalmente despreciable a la escala que se está trabajando.

### **7.3.e Realización de los planos**

Para la elaboración de las curvas de nivel se creó el T.I.N. con el programa Topograph que dispone la F.I.C. Luego se exportó los resultados al AutoCad para dibujar la planimetría.

Se achuró las edificaciones. Así aquellas que eran mayormente de un piso fueron achuradas con líneas diagonales paralelas. Las que eran mayormente de 2 pisos con un achurado cuadrículado. Y las que eran mayormente de 3 a más pisos con un achurado de malla en forma de red de pescador.

Se ha ploteado el plano de todo el Campus Universitario levantado a escala 1:1250, con la finalidad de ver mayores detalles, también se la ploteado dicho Campus, pero en 3 partes y a una escala de: 1:750.

### **7.4 Visualización en 3D**

La representación en 3 dimensiones del terreno y los proyectos, tal vez sea una de las herramientas mas novedosas de los programa aplicativos. Así ahora

podemos realizar recorridos virtuales sobre el terreno o sobre un proyecto de carretera o realizar simulaciones de vistas aérea, de modo de mejorar nuestras presentaciones y rediseñar los proyectos donde fuese necesario. A continuación se muestran ejemplo de visualizaciones tridimensionales, teniendo siempre como escenario el Campus Universitario de la UNI. (No se consideró la parte sur de los cerros de Mecánica para las simulaciones debido a que no fue levantado totalmente por lo explicado anteriormente en 7.3.)

#### **7.4. a Simulación de vista aérea para los cerros de la UNI**

Según los conocimientos clásicos de topografía, un relieve del terreno puede ser representado en planta mediante: curvas de nivel, o achurado, o sombreado. Existen programas que además de realizar las curvas de nivel, también nos permiten los otros tipos de representación. Un ejemplo de estos programas es el SURFER6 de Golden Software, el cual usando la técnica de sombreado podemos simular una vista aérea, dicho programa ha sido utilizado la simulación mostrada en el anexo 2. Así partiendo de los puntos tomados para el levantamiento de los cerros de la UNI, se procedió a realizar dicha simulación tomando la posición del sol para una tarde de verano. Con la finalidad de observar mejor los detalles verticales, se ha aumentado la escala vertical a 1.5 veces de la horizontal. Observar que en dicha simulación se ve claramente la carretera hacia la planta concentradora.

#### **7.4.b Vista tridimensional de los cerros UNI**

Partiendo de la estructura T.I.N., se ha creado un a estructura matricial con la finalidad de realizar una visualización tridimensional de los cerros e la UNI. Realizada esta estructura se ha procedido a realizar una proyección ortogonal viendo del Suroeste al Noreste. La escala horizontal es 1:3000 y la escala

vertical es 1:2000. En esta vista no se muestran los detalles como en Tanque y la Planta Concentradora.

#### **7.4.c Vista tridimensional de los detalles levantados**

A manera de ejemplo se está representando la visualización tridimensional de algunos detalles levantados. Para realizar esto se ha usado las siguientes funciones de la Estación total.

**Altura remota:** La altura a puntos de los edificios que resultaban inaccesibles, fue posible realizarla con esta función, ya que bastaba con colocar el prisma en un lugar accesible con la condición que se encuentre en la misma vertical del punto inaccesible.

**Medición entre puntos:** Cuando se requirió tener distancias entre puntos elevados en los edificios, fue útil esta función, la cual se acompañó de la medición con láser al ser las distancias de la Estación total a los puntos a medir, menores de 120 mts.

**Mediciones excéntricas:** Se usó mediciones excéntricas de distancia en las esquinas, en donde no se podía colocar el prisma. También se usó mediciones excéntricas de plano en puntos inaccesibles que pertenecían a un plano que si era accesible como por ejemplo una pared vertical.

Los ejemplos mostrados corresponden; Al Tanque de agua de la UNI con una porción del cerro que lo rodea. Y al pabellón de Ingeniería Textil.

# **CAPÍTULO 8**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **8.1 Generalidades**

Durante la presente Tesis de investigación se han dado recomendaciones para cada capítulo expuesto. En este capítulo se expondrá las Conclusiones y recomendaciones generales así como las “Herramientas Confluentes” encontradas.

## **8.2. Conclusiones y recomendaciones**

8.2.a La tecnología de punta no sólo nos permite realizar tareas de manera más rápida que lo acostumbrado, sino que además nos obliga a replantear nuestra manera de realizar los trabajos: Así por ejemplo los clásicos paradigmas son reformulados con lo que he llamado “Herramientas Confluentes”. Es deber del Ingeniero encontrar la manera de como la nueva tecnología puede ser una herramienta confluyente. Así en la siguiente sección se muestran las Herramientas Confluentes encontradas durante el desarrollo de la presente Tesis.

8.2.b Recomiendo que el plano en planta realizado para la presente Tesis, pueda servir como base para mejoras posteriores.

8.2.c Cualquier programa que se elabore para mejorar los trabajos de Geomática y Vialidad, además de estar realizado en un entorno visual, deberá tener la potencia de integrarse a la gran red de Internet, para lo cual es conveniente que sea realizados en un lenguaje como el Java o similar. Programas de este tipo realizadas por una Universidad, permitirían a ésta que investigadores de otras latitudes puedan revisar y ejecutar de manera fácil cualquier aplicación sin importar la plataforma utilizada.

- 8.2.d Mientras se continúen creando programas que elaboren el modelo digital del terreno mediante triángulos, será conveniente seguir las recomendaciones indicadas en el Capítulo 5. Recomendaciones, obtenidas de una cuidadosa investigación realizada para esta Tesis.
- 8.2.e En caso se requiera adquirir nuevos programas en Vialidad, tener en consideración las recomendaciones hechas en el Capítulo 5. En especial adquirir programas Peruanos ya que además de trabajar con las Normas Peruanas, es un apoyo a nuestra naciente Industria Informática que ya nos ha dado algunas buenas satisfacciones a nivel internacional.
- 8.2.f El mostrar los pasos y un listado en Java para la creación del T.I.N. en la presente tesis, puede servir para como base para que futuros desarrolladores realicen aplicaciones sobre dicho modelo, en especial relacionados con la Vialidad.
- 8.2.g Todos los trabajos geodésicos deberán tener como elipsoide de referencia el WGS84 ( G1150) ya que el hecho de convertir al PSad56 acarrea errores que según el programa utilizado, éste puede llegar hasta los 10 metros. Estos errores pueden ser disminuidos si se utilizan los adecuados parámetros de transformación en los programas de conversión. En la presente tesis se ha elaborado un programa en Visual Basic que permite esta conversión permitiendo al usuario ingresar los parámetros de transformación. Otro programa interesante al respecto que es el RPMTRANS creado por el Ministerio de Energía y Minas que permite realizar estas transformaciones con parámetros de transformación previamente determinados por esta Institución gubernamental, con errores de transformación menores al metro. Sin embargo estos parámetros no pueden ser cambiados por el usuario si así lo requiriese.



#### 8.4 Tecnologías confluentes

Para definir si una Tecnología es confluyente, se define la manera como se acostumbra a hacer el proceso antes de aplicar dicha tecnología (Regla antigua), luego se define cual es la Tecnología Confluyente a aplicar, y finalmente se define cual es la Nueva regla producto de esta tecnología.

**Regla antigua:** Las redes de apoyo de alta precisión deberán realizarse mediante Triangulación o Trilateración y usar la Poligonación para trabajos de menor precisión.

**Tecnología confluyente:** Utilización de Estaciones totales y los programas de ajuste.

**Nueva regla:** Es posible realizar redes de apoyo de alta precisión utilizando poligonales siempre que se realicen con Estación total ya que se aprovecha las precisiones en distancia que tiene su distanciómetro y las precisiones en ángulo que dispone su teodolito electrónico.

**Regla antigua:** Las correcciones en poligonal serán mediante métodos simples ya que corregir por métodos mas precisos como los mínimos cuadrados requiere mucho esfuerzo en cómputo ya que cada lado de la poligonal tiene 3 incógnitas (errores en Este, en Norte y en azimuth), y si tenemos muchos lados el problema se complica.

**Tecnología confluyente:** Herramientas de cómputo de alta velocidad.

**Regla nueva:** Es posible calcular poligonales con métodos de ajuste muy precisos en sólo algunos segundos si es que tenemos formuladas las ecuaciones de condición de la poligonal.

**Regla antigua:** Para iniciar el replanteo de los puntos de las curvas en carreteras se deberá previamente estacionarse el equipo en un punto de dicha curva: ya sea en su inicio, su final o en la intersección de sus alineamientos.

**Tecnología confluyente:** Replanteo mediante coordenadas con Estaciones Totales o con GPS.

**Regla nueva:** Es posible replantear puntos de diferentes curvas sin necesidad de estacionar la Estación Total o el Master GPS en algún punto del trazo horizontal.

**Regla antigua:** Para medir una distancia entre dos puntos con alta precisión será necesario utilizar un método directo (Wincha o equipos electrónicos).

**Tecnología confluyente:** Función de Medición entre puntos de las Estaciones totales.

**Regla nueva:** Es posible medir distancias de varios puntos sin necesidad de colocar el equipo en alguno de dichos puntos.

**Regla antigua:** Para realizar el trazo indirecto de carreteras es necesario previamente tener la línea de gradiente

**Tecnología confluyente:** Programas que permiten visualizar y modificar en tiempo real los perfiles del terreno según como se va realizando el trazo en planta.

**Regla nueva:** Para el trazo indirecto de carreteras ya no es necesario tener líneas de gradiente, si es que se disponen de programas de visualización de perfiles en tiempo real.

**Regla antigua:** El operador del teodolito debe ser la persona de mayor experiencia en los trabajos topográficos, y serán sus ayudantes los que se coloquen con las miras sobre los puntos a levantar.

**Tecnología confluyente:** Programas aplicativos con modelamiento digital del terreno mediante una red irregular de triángulos (T.I.N.) y Estaciones Totales o GPS.

**Regla nueva:** La persona de mayor experiencia está sobre el terreno a levantar ya que necesita tener adecuados conocimientos del equipo que se está utilizando así como con la formación de los triángulos planos, ya sea con un prisma de Estación total o un bastón con un GPS en método diferencial Stop & Go.

**Regla antigua:** En todo trabajo topográfico se requiere de una cuadrilla mínima, compuesta por el operador del equipo, portamiras, jaloneros, etc.

**Tecnología confluyente:** Estaciones totales robotizadas un solo operador.

**Regla nueva:** Un trabajo topográfico se puede realizar con un solo operador, encontrándose éste en el prisma mientras que en la Estación total no se encuentra nadie ya que es un equipo robotizado.

**Regla antigua:** Todo levantamiento topográfico consta de 2 etapas: trabajo de campo y trabajo de gabinete.

**Tecnología confluyente:** Programas para dibujo de planos, compensación de poligonales y creación del T.I.N. en tiempo real incluidas a las Estaciones totales.

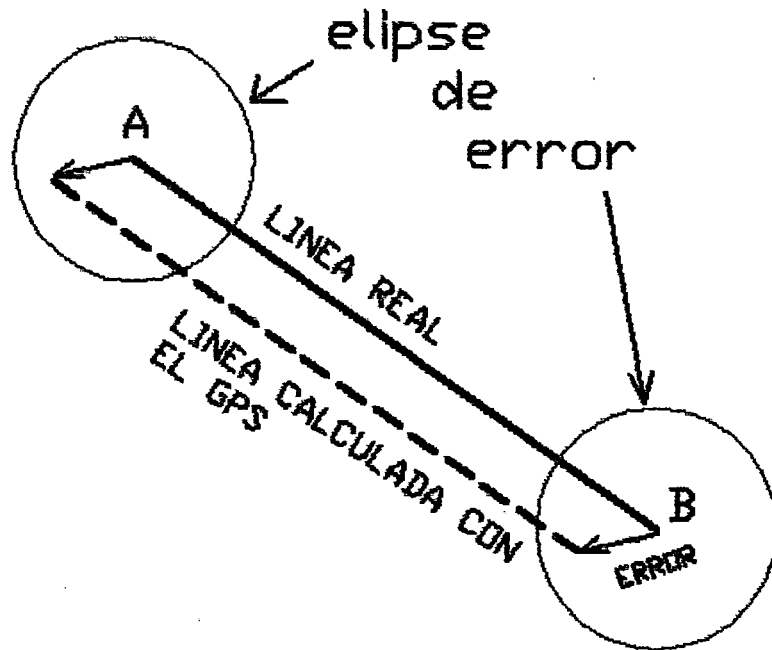
**Regla nueva:** El levantamiento de puntos en el campo y su representación en planta son realizados simultáneamente así como la elaboración del modelo

digital del terreno y sus curvas de nivel. De modo que al final del levantamiento de campo se procede a plotearlo en un plano.

**Regla antigua:** Para calcular un azimut de una dirección podemos proceder de 2 maneras: Si queremos el azimut magnético deberemos llevar una brújula, si queremos el azimut geográfico lo podemos calcular aproximadamente teniendo el azimut magnético y la declinación magnética de nuestro punto (información que nos entrega el IGP) o realizando observaciones al sol y aplicando los conocimientos de astronomía de posición.

**Tecnología confluyente:** Los GPS navegadores, los cuales están más baratos que una brújula de precisión.

**Regla nueva:** Colocando 2 GPS navegadores simultáneamente en 2 puntos, podremos determinar las coordenadas de dichos puntos y por lo tanto el azimut geográfico de la línea que une ambos puntos. Si bien los GPS navegadores tienen un error de  $\pm 10$  mts. sin embargo al ser tomados los datos simultáneamente en ambos puntos, entonces ambos tienen el mismo error por ser los mismos satélites los observados, por lo tanto la línea que une las coordenadas mostradas por los equipos GPS, es paralela a la línea que une dichos puntos.



*En el gráfico se observa que ambos puntos tienen el mismo error, entonces la línea calculada con GPS es paralela a la línea verdadera, por lo tanto sus azimuts son los mismos.*

**Regla antigua:** Para determinar las coordenadas geográficas de un punto, es necesario realizar observaciones de estrellas.

**Tecnología confluyente:** Los equipos geodésicos de ubicación de puntos mediante satélites.

**Regla nueva:** Para determinar las coordenadas geográficas de un punto con alta precisión hay que usar el método diferencial con equipos geodésicos de posicionamiento por satélites..

### **8.5 Recomendación final**

Con la integración de las tecnologías emergentes (Internet, telefonía móvil, navegadores, etc), en los próximos años los avances en la geomática y la vialidad serán mucho más acelerados, obligando a los profesionales a actualizar permanentemente sus conocimientos, para lo cual las Universidades deberán dar todas las facilidades para que se cumpla este objetivo, ya sea mediante Tele-educación, descentralización de sus cursos y mayores maestrías y doctorados. Todo dentro de un mundo globalizado sobre el cual ya no existe marcha atrás.

**PABLO DANIEL BARRETO RUIZ**

# ANEXOS

# ANEXO 1

## **UBICACIÓN DE PUNTOS GPS**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**IDENTIFICACION :**

## ARQUI-1

**COORDENADAS DEL PUNTO**

**TECNICA DE MEDICIÓN :**

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

**Coordenadas PSAD 56 : Geográficas**

**Lat. 12° 01' 03.2973" S**  
**Lon. 77° 02' 53.8035" W**

**Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)**

**N 8 670 656.614 m.**  
**E 276 988.109 m.**  
**ZONA 18**

**Coordenadas WGS 84 : Geográficas**

**Lat. 12° 01' 15.67131" S**  
**Lon. 77° 03' 01.59813" W**

**Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)**

**N 8 670 289.840 m.**  
**E 276 764.031 m.**  
**ZONA 18**

**Altura Elipsoidal :**

**131.777**

**Fecha :**

**ENERO 2002**

**Determinado Por :**

**PABLO BARRETO RUIZ**

**Altura ortométrica**  
**(Aproximada)**

**107.726 m.**  
**107.739**

**ONDULACIÓN :**

**(Aproximada)**  
**24.051 m.**  
**24.038 m**

**AYUDANTES:**

**QUILLAS QUISPE, JORGE**  
**PEREZ ENRIQUEZ**  
**PALACIOS BANDAN**

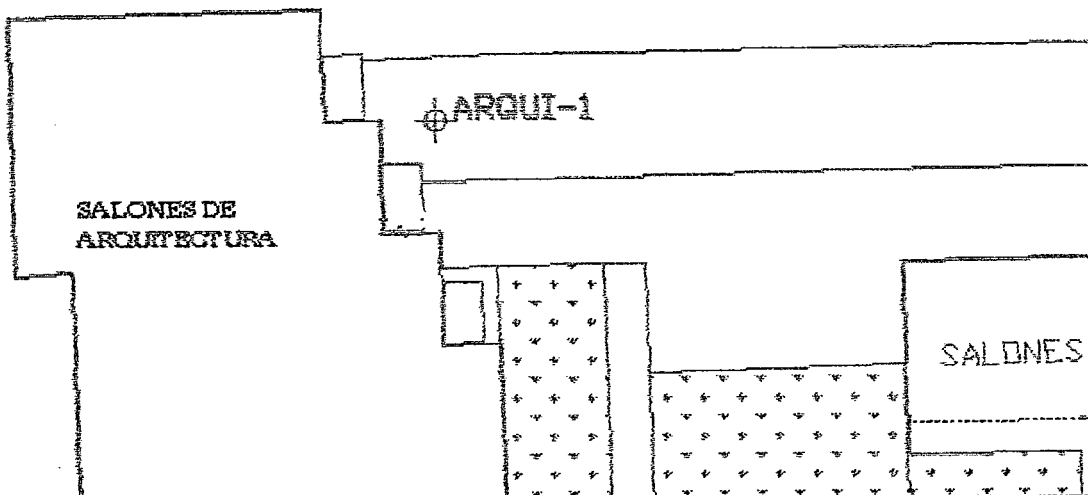
**ITINERARIO :**

**POR EL SECTOR NORTE DE LA FAUA, AL FRENTE DEL MURO QUE RODEA AL LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA, SE ENCUENTRA EL PUNTO ARQUI-1 REPRESENTADO CON UNA PLACA METÁLICA. EN EL CROQUIS ESTÁ REPRESENTADO CON UN CÍRCULO Y SU CRUZ. COMO SE OBSERVA SE ENCUENTRA EN LA PROLONGACIÓN DE LA INTERSECCIÓN DE 2 DE LOS VÉRTICES DE UN EDIFICIO DE AULA DE LA FAUA.**

**NORTE**



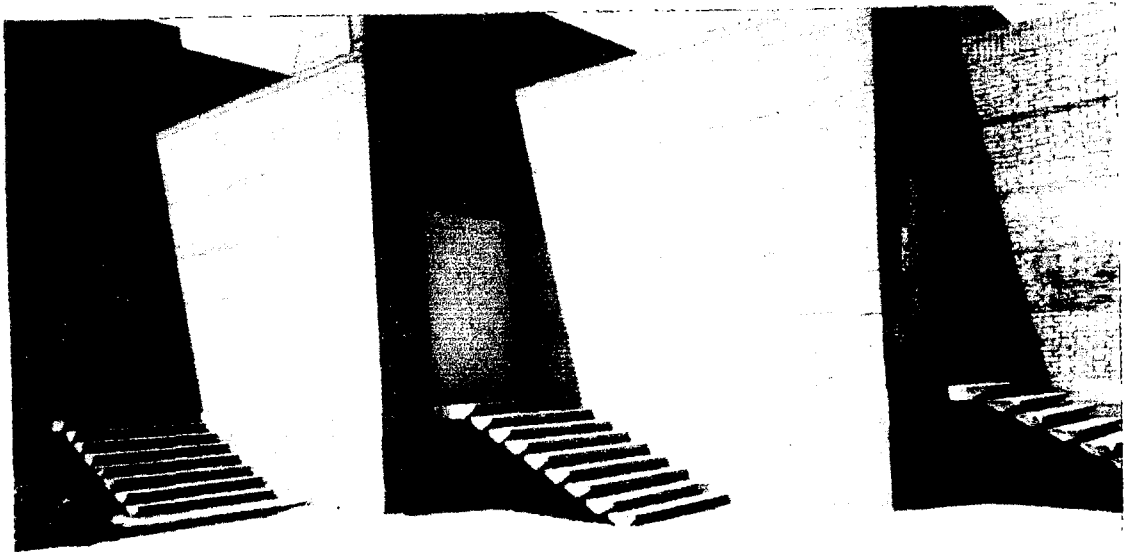
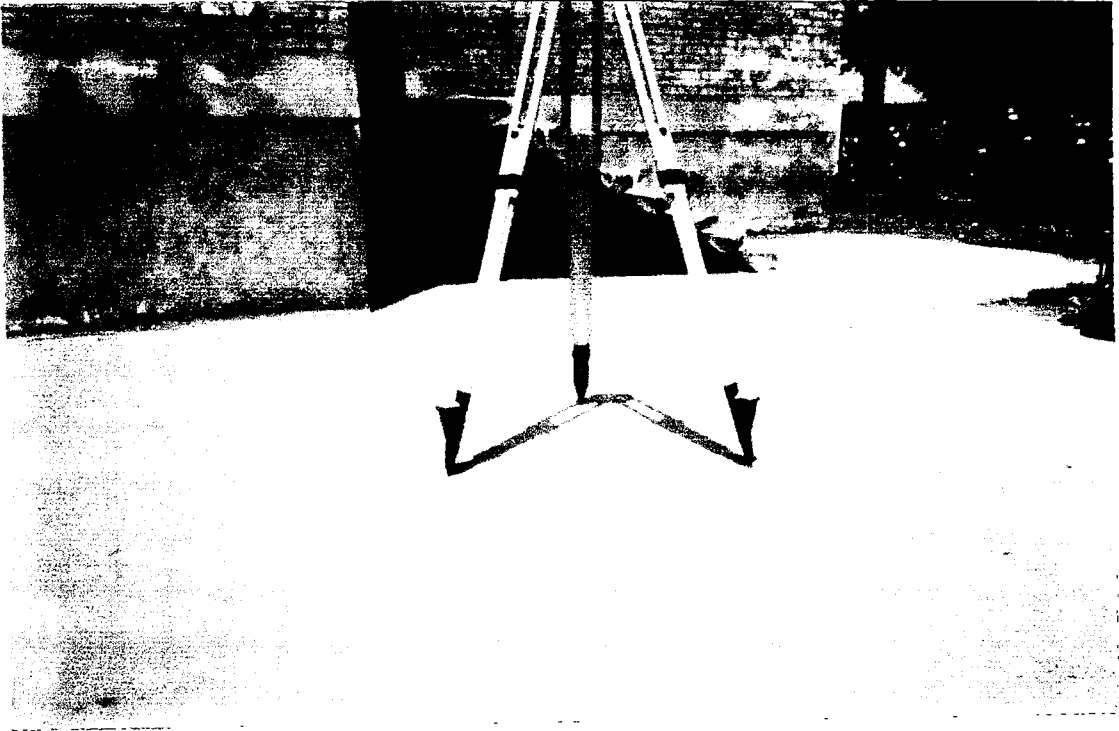
**LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA**



**Revision 1 :**

PUNTO : ARQUI-1  
FOTOGRAFÍA

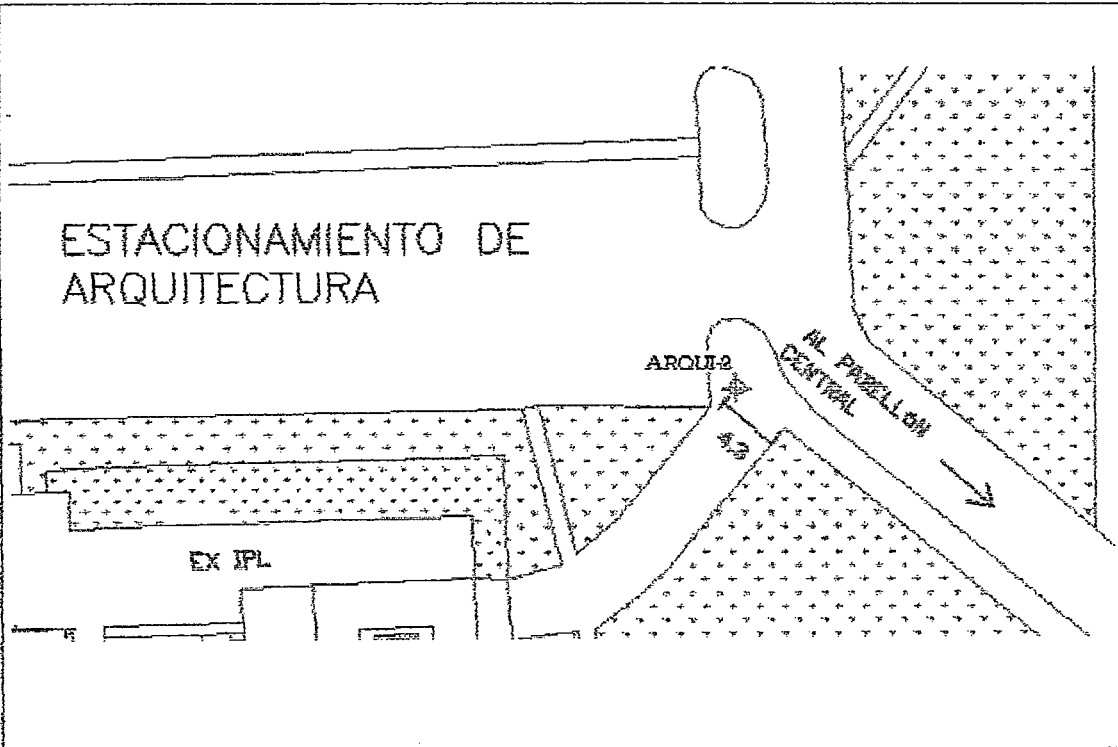
El punto se encuentra debajo del trípode en una placa de bronce



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

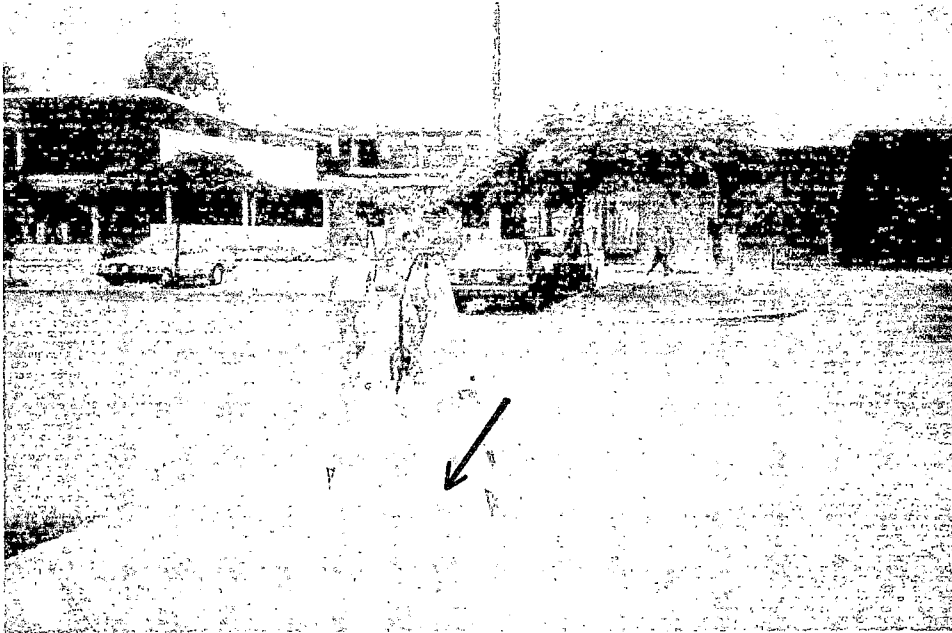
<b>IDENTIFICACION :</b>		<b>COORDENADAS DEL PUNTO</b>
<b>ARQUI-2</b>		<b>TECNICA DE MEDICIÓN :</b> <b>GPS ESTATICA DIFERENCIAL</b>
<b>Coordenadas PSAD 56 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 07.4070" S Lon. 77° 02' 51.2156" W		<b>Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)</b> N 8 670 530.8880 m. E 277 067.3471 m. ZONA 18
<b>Coordenadas WGS 84 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 19.78108" S Lon. 77° 02' 59.01035" W		<b>Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)</b> N 8 670 164.113 m. E 276 843.268 m. ZONA 18
<b>Altura Elipsoidal :</b> <b>134.814</b>	<b>Fecha :</b> <b>ENERO 2002</b>	<b>Determinado Por :</b> <b>PABLO BARRETO RUIZ</b>
<b>Altura ortométrica</b>  110.776	<b>ONDULACIÓN :</b>  24.038	<b>AYUDANTES:</b> BENDEZU ALIAGA MAGALI GARCIA ROMERO RICARDO OLAYA LAYNES RENATO TOCAS MENA EUSEBIO

**ITINERARIO :**  
**INGRESANDO POR LA PUERTA 3, SE DIRIGE HACIA LA IZQUIERDA EN DIRECCIÓN A LA FACULTAD DE ARQUITECTURA. SIGUIENDO POR LA VEREDA IZQUIERDA SE LLEGA HASTA EL INGRESO AL PABELLÓN DEL EX-IPL (HOY DECANATO, BIBLIOTECA, UNIFAUA DE LA FAUA). EN LA DIRECCIÓN DE EL BORDE IZQUIERDO DE DICHA VEREDA A 4.3 mts. DE LA ESQUINA DEL JARDÍN SE ENCUENTRA EL PUNTO ARQUI-2. ESTÁ APROXIMADAMENTE EN LA INTERSECCIÓN DE 2 JUNTAS DILATADORAS DE LA VEREDA. ES UNA PLACA DE BRONCE.**



Revision 1 :

PUNTO : ARQUI-2  
FOTOGRAFÍA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**IDENTIFICACION :**

## ARQUI-3

**COORDENADAS DEL PUNTO**

**TECNICA DE MEDICIÓN :**

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

**Coordenadas PSAD 56 : Geográficas**  
**Lat. 12° 01' 06.5592" S**  
**Lon. 77° 02' 53.5792" W**

**Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)**  
**N 8 670 556.4122 m.**  
**E 276 995.6410 m.**  
**ZONA 18**

**Coordenadas WGS 84 : Geográficas**  
**Lat. 12° 01' 18.93324" S**  
**Lon. 77° 03' 01.37407" W**

**Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)**  
**N 8 670 189.637 m.**  
**E 276 771.562 m.**  
**ZONA 18**

**Altura Elipsoidal :**  
**133.132**

**Fecha :**  
**ENERO 2002**

**Determinado Por :**  
**PABLO BARRETO RUIZ**

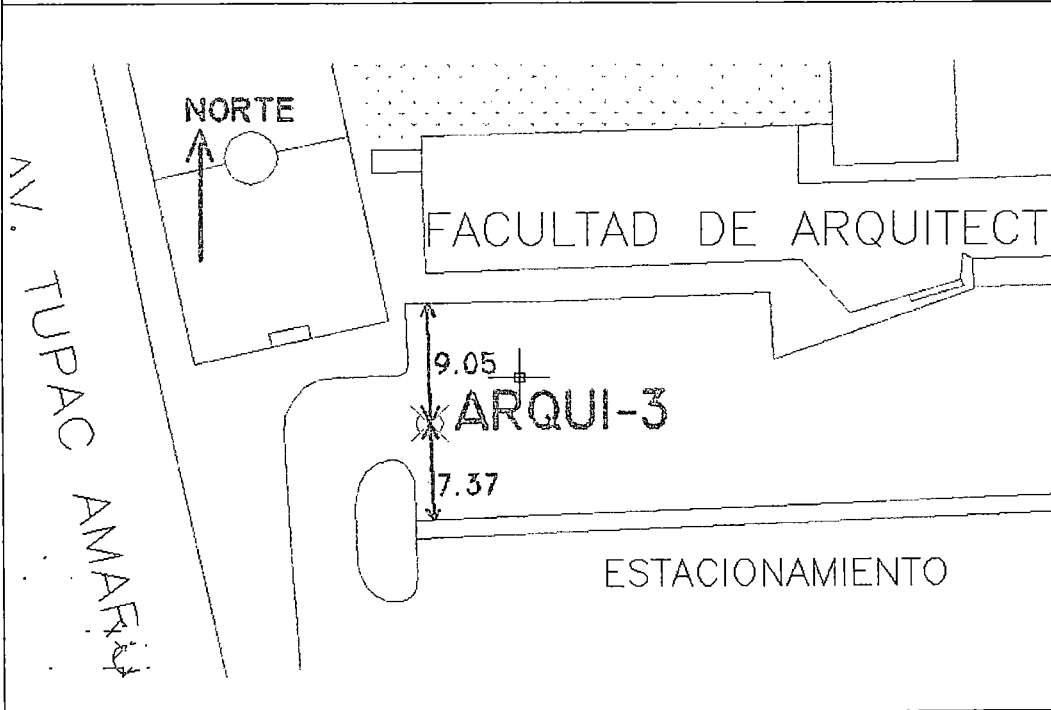
**Altura ortométrica**  
 (Aproximada)  
 109.120

**ONDULACIÓN :**  
 (Aproximada)  
 24.012

**AYUDANTES:**  
 BENDEZU ALIAGA MAGALI  
 GARCIA ROMERO RICARDO  
 OLAYA LAYNES RENATO  
 TOCAS MENA EUSEBIO

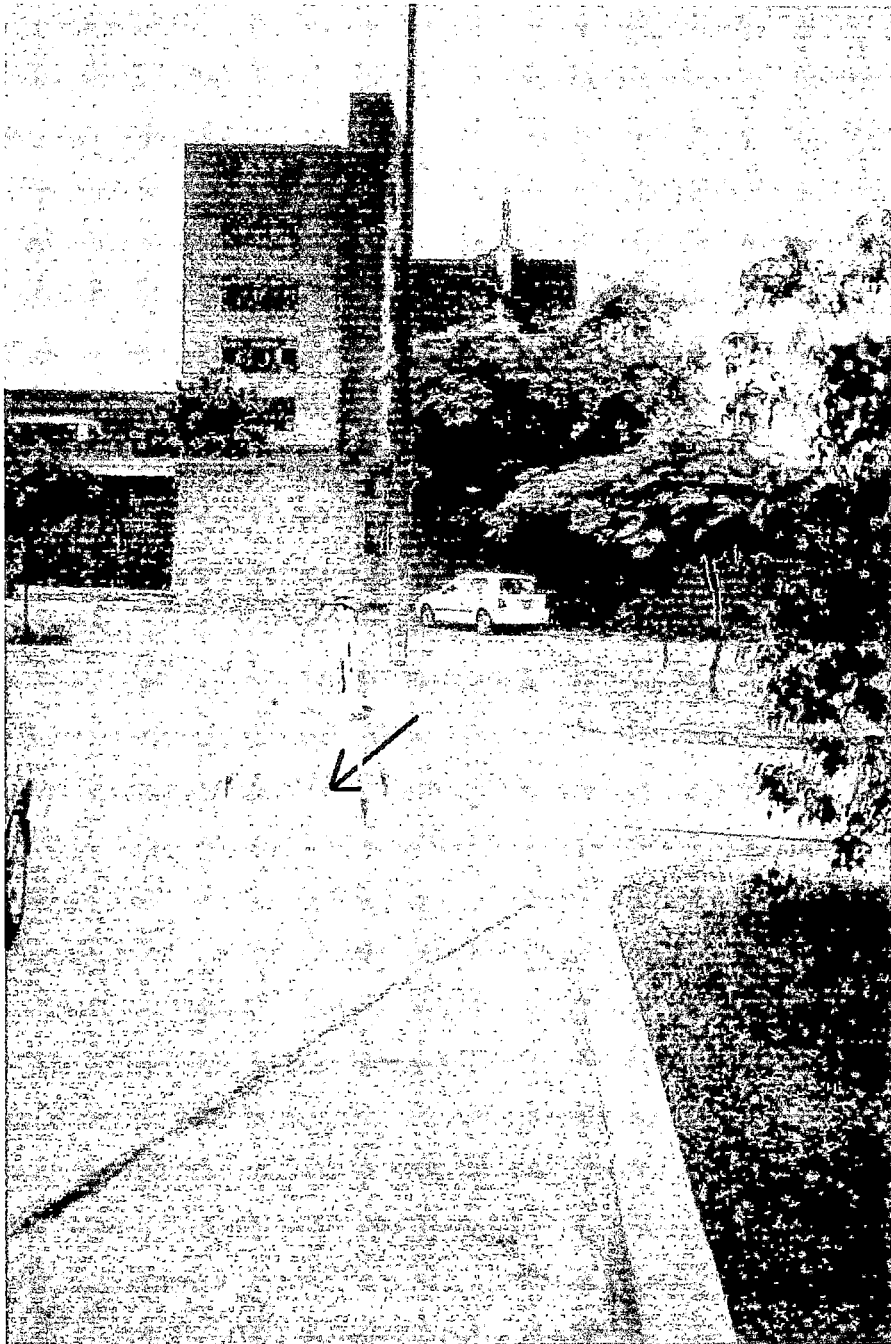
**ITINERARIO :**

**En el estacionamiento de Arquitectura, se encuentra una placa de bronce en la pista. El centro de dicha placa es el punto ARQUI-3 que se encuentra a 7.37 mts. de la berma central del estacionamiento y a 9.05 de la vereda opuesta, como se indica en el croquis.**



Revision 1 :

PUNTO : ARQUI-3  
FOTOGRAFÍA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**IDENTIFICACION :**

## CENTR-1

**COORDENADAS DEL PUNTO**

TECNICA DE MEDICIÓN :

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

12° 1' 0.5466"

**Coordenadas PSAD 56 : Geográficas**

**Lat. 12° 01' 12.8045" S**

**Lon. 77° 02' 44.3427" W**

**Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)**

**N 8 670 366.5472 m.**

**E 277 276.5252 m.**

**ZONA 18**

**Coordenadas WGS 84 : Geográficas**

**Lat. 12° 01' 25.17871" S**

**Lon. 77° 02' 52.13711" W**

**Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)**

**N 8 669 999.7702 m.**

**E 277 052.4466 m.**

**ZONA 18**

**Altura Elipsoidal :**

**137.193 m.**

**Fecha :**

**ENERO 2002**

**Determinado Por :**

**PABLO BARRETO RUIZ**

**Altura ortométrica**

**113.115 m.**

**ONDULACIÓN :**

**24.078 m.**

**AYUDANTES:**

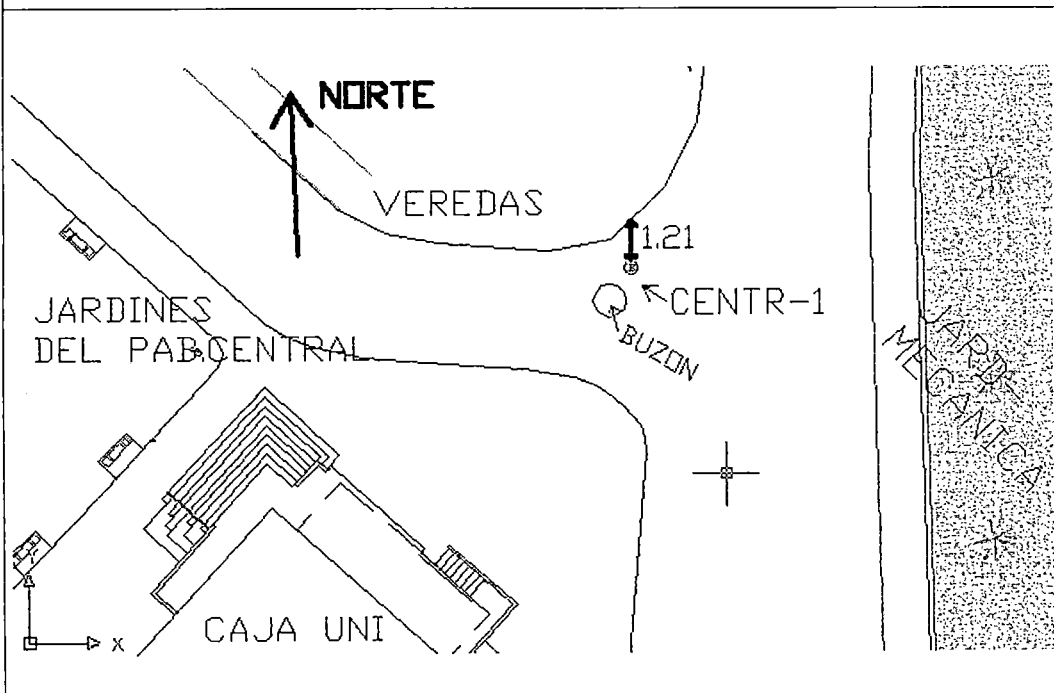
QUILLAS QUISPE, JORGE

PEREZ ENRIQUEZ

PALACIOS BANDAN

**ITINERARIO :**

**El punto está sobre una placa de bronce, a 1.21 mts de distancia al borde de la vereda de los jardines principales de la UNI. Dicha distancia ha sido medida en dirección paralela al eje de la vereda del pabellón de Mecánica, como se observa en la figura. También es fácil reconocer dicho punto ya que está cerca de un buzón.**



Revision 1 :

PUNTO : CENTR-1  
FOTOGRAFÍA  
EL PUNTO ESTÁ INDICADO POR LA FLECHA.  
AL FONDO SE VE LAS VENTANILLAS DE CAJA DEL PABELLÓN CENTRAL





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

<b>IDENTIFICACION :</b>  <h2 style="text-align: center;">CIEN-1</h2>	<b>COORDENADAS DEL PUNTO</b>  <b>TECNICA DE MEDICIÓN :</b> <b>GPS ESTATICA DIFERENCIAL</b>
--	---

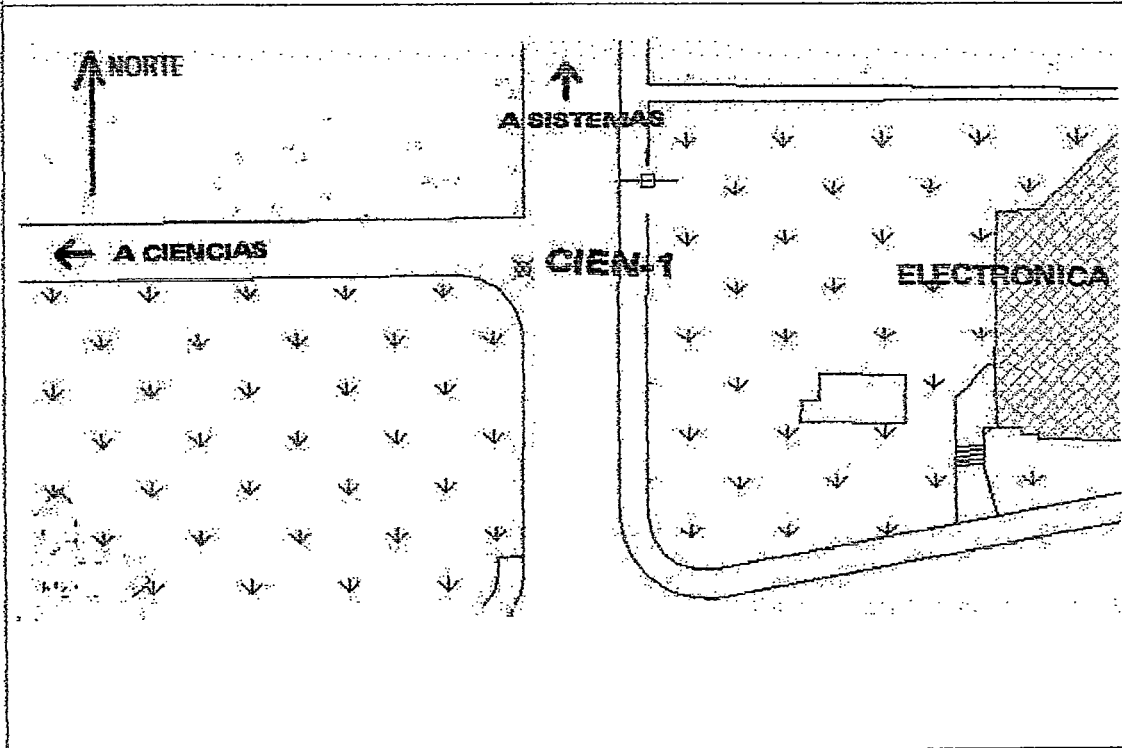
<b>Coordenadas PSAD 56 : Geográficas</b> Lat. 12° 00' 50.5487" W Lon. 77° 02' 50.7453" S	<b>Coordenadas PSAD 56 : Proy. UTM (18)</b> N 8 671 049.1267 m. E 277 077.7222 m. ZONA 18
--	--

<b>Coordenadas WGS 84 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 02.92249" S Lon. 77° 02' 58.53978" W	<b>Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)</b> N 8 670 682.355 m. E 276 853.643 m. ZONA 18
---	---

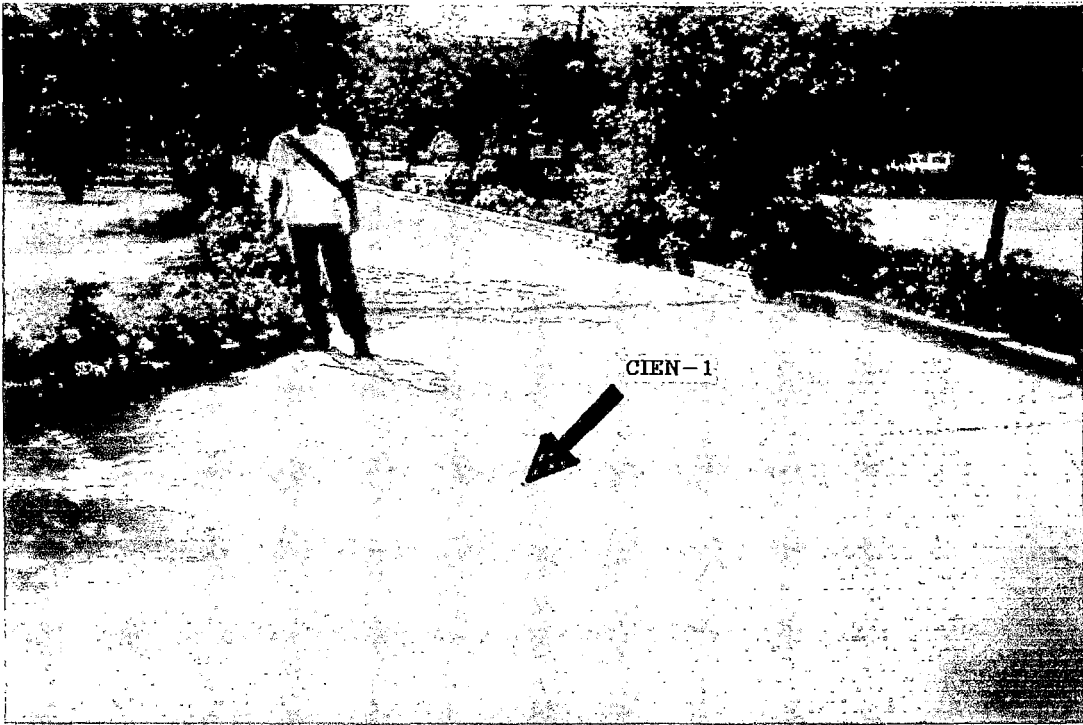
<b>Altura Elipsoidal (WGS84):</b> 127.983 m.	<b>Fecha :</b> ENERO 2002	<b>Determinado Por :</b> PABLO BARRETO RUIZ
---	------------------------------	--

<b>Altura ortométrica WGS84</b>  104.027 m.	<b>ONDULACIÓN : WGS84</b>  23.956 m.	<b>AYUDANTES:</b> CASIMIRO MORENO, VICTOR FERNÁNDEZ CASTILLO, ROSA REQUENA FERNÁNDEZ, VLADIMIR ROMERO AMARO, JULIO
---	--	--

**ITINERARIO :**  
 EN LA PISTA QUE VA A SISTEMAS Y QUE SE ENCUENTRA EN LOS LÍMITES DE LAS FACULTADES DE CIENCIAS Y ELECTRÓNICA, ESTÁ EL PUNTO CIEN-1 REPRESENTADO MEDIANTE UNA PLACA METÁLICA. SE ENCUENTRA APROXIMADAMENTE A 0.35 MTS. AL NORESTE DE LA INTERSECCIÓN APARENTE DE LOS 2 BORDES DEL JARDÍN COMO SE INDICA EN EL GRÁFICO.



FOTOGRAFÍA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

IDENTIFICACION :

## CIEN-2

COORDENADAS DEL PUNTO

TECNICA DE MEDICIÓN :

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

Coordenadas PSAD 56 : Geográficas

Lat. 12° 00' 51.8229" W

Lon. 77° 02' 53.6204" S

Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)

N 8671 009.3187 m.

E 276 991.0216 m.

ZONA 18

Coordenadas WGS 84 : Geográficas

Lat. 12° 01' 04.19663" S

Lon. 77° 03' 01.41514" W

Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)

N 8 670 642.547 m.

E 276 766.943 m.

ZONA 18

Altura Elipsoidal  
(WGS84):

(aproximada)

**123.877 m.**

Fecha :

**ENERO 2002**

Determinado Por :

PABLO BARRETO RUIZ

Altura ortométrica

103.932

ONDULACIÓN :

(Aproximada)

23.945 m.

**AYUDANTES:**

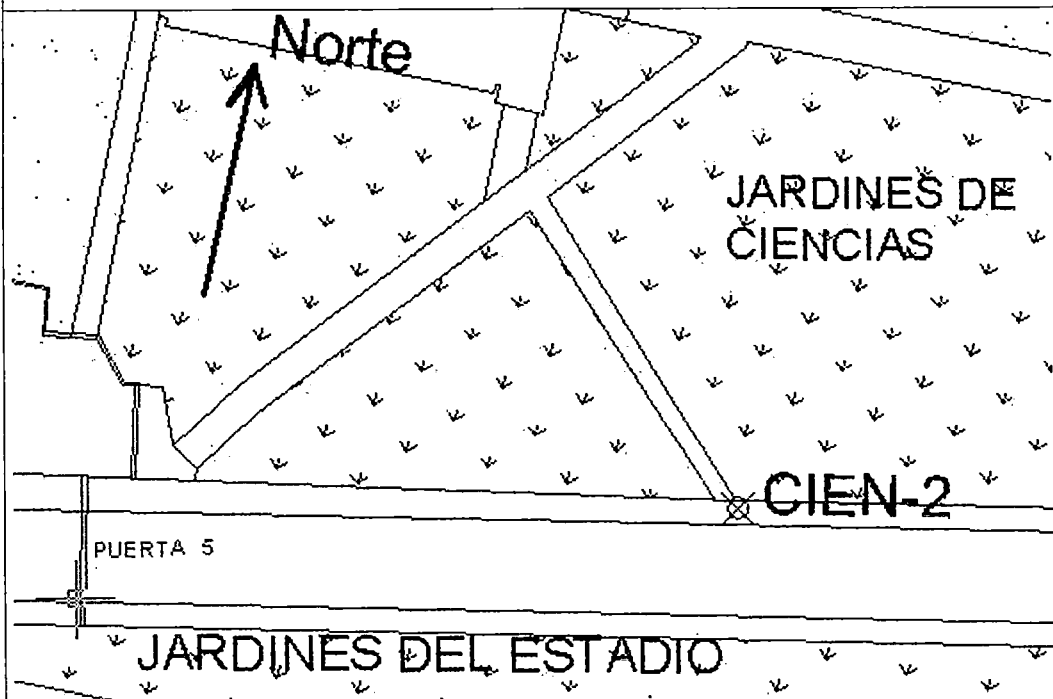
BENDEZÚ ARROYO, GUSTAVO

LEZAMA FIGUEROA, ALVARO

SOPLOPUCO MONCADA, EMMA

**ITINERARIO :**

**A APROXIMADAMENTE 55.4 mts. DE LA PUERTA 5, SE ENCUENTRA ESTE PUNTO SOBRE LA VEREDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS. TAMBIÉN SE LE PUEDE RECONOCER PORQUE SE ENCUENTRA AL INICIO DE UN CAMINO DE PIEDRAS Y TIERRA QUE VA HACIA EL PABELLÓN DE CIENCIAS.**



Revision 1 :

PUNTO : CIEN-2  
FOTOGRAFÍA  
El punto se encuentra debajo del trípode



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**IDENTIFICACION :**

## CIEN-3

**COORDENADAS DEL PUNTO**

**TECNICA DE MEDICIÓN :**

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

**Coordenadas PSAD 56 : Geográficas**

**Lat. 12° 00' 46.7776" S**

**Lon. 77° 02' 53.4489" W**

**Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)**

**N 8 671 164.4202 m.**

**E 276 995.0584 m.**

**ZONA 18**

**Coordenadas WGS 84 : Geográficas**

**Lat. 12° 00' 59.15132" S**

**Lon. 77° 03' 01.24351" W**

**Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)**

**N 8 670 797.6493 m.**

**E 276 770.9796 m.**

**ZONA 18**

**Altura Elipsoidal :**

**125.645 m.**

**Fecha :**

**AGOSTO 2002**

**Determinado Por :**

**PABLO BARRETO RUIZ**

**Altura ortométrica**

**101.721 m.**

**ONDULACIÓN :**

**23.924 m.**

**AYUDANTES:**

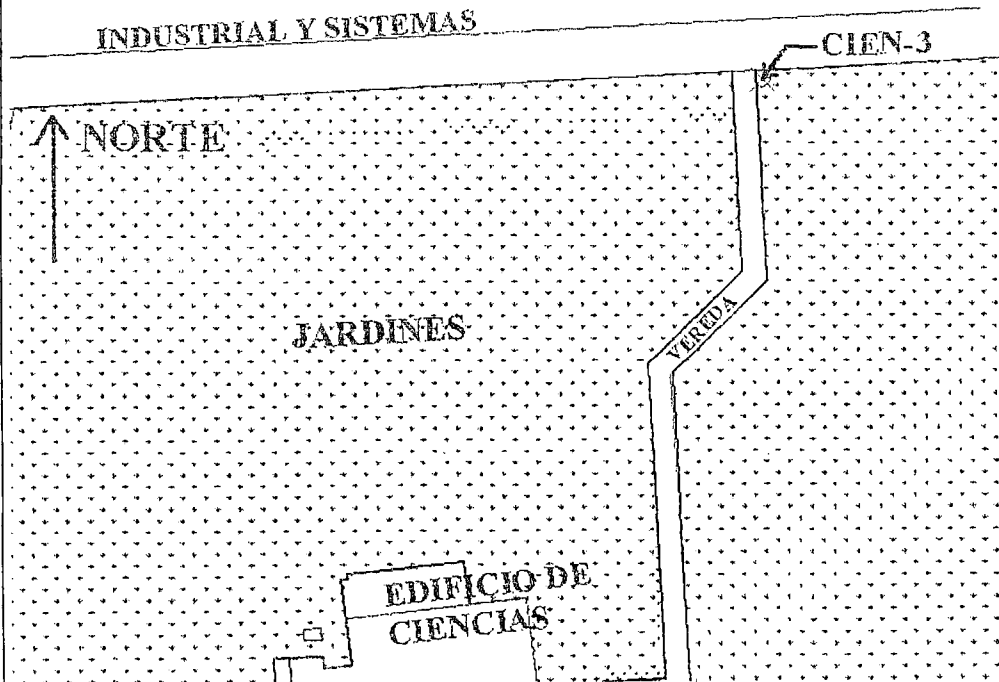
**NÚÑEZ VILELA, LUIS**

**CCORISE CCAPATINTA, RÓMULO**

**VARGAS HILARIO, CARLOS**

**ITINERARIO :**

**Ingresando a la UNI. Por la puerta 5. El punto se encuentra en el centro de una placa de bronce que está sobre un Hito de concreto al costado del final de la vereda de la Facultad de Ciencias que nos conduce a la facultad de Ingeniería Industrial y Sistemas. En el gráfico está a 13 cm. del borde derecho de la vereda y a 7 cm. de la pista que separa las facultades de Ciencias y Sistemas.**



Revision 1 :

PUNTO : CIEN-3  
FOTOGRAFÍA

La foto está tomada desde la facultad de Sistemas, al fondo se observa el edificio de la facultad de ciencias. El punto está encerrado dentro del círculo negro de la foto.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

IDENTIFICACION :

## CIVIL-1

COORDENADAS DEL PUNTO

TECNICA DE MEDICIÓN :

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

Coordenadas PSAD 56 : Geográficas

Lat. 77° 02' 50.1697" W

Lon. 12° 01' 3.2917" S

Coordenadas PSAD 56 : Proy. UTM (18)

N 8 670 657.605 m.

E 277 098.051 m.

ZONA 18

Coordenadas WGS 84 : Geográficas

Lat. 12° 01' 15.66575" S

Lon. 77° 02' 57.96432" W

Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)

N 8 670 290.830 m.

E 276 873.972 m.

ZONA 18

Altura Elipsoidal  
Aproximada (WGS84):  
**132.835 m.**

Fecha :  
**ENERO 2002**

Determinado Por :  
**PABLO BARRETO RUIZ**

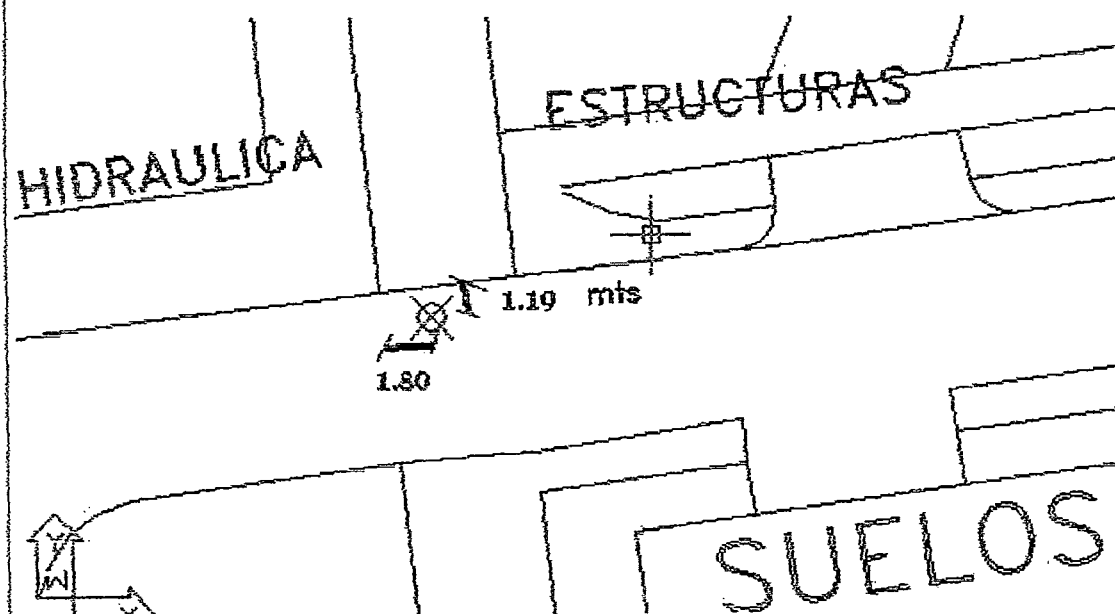
Altura ortométrica  
  
**108.774 m.**

ONDULACIÓN :  
(Aproximada)  
**24.061 m.**

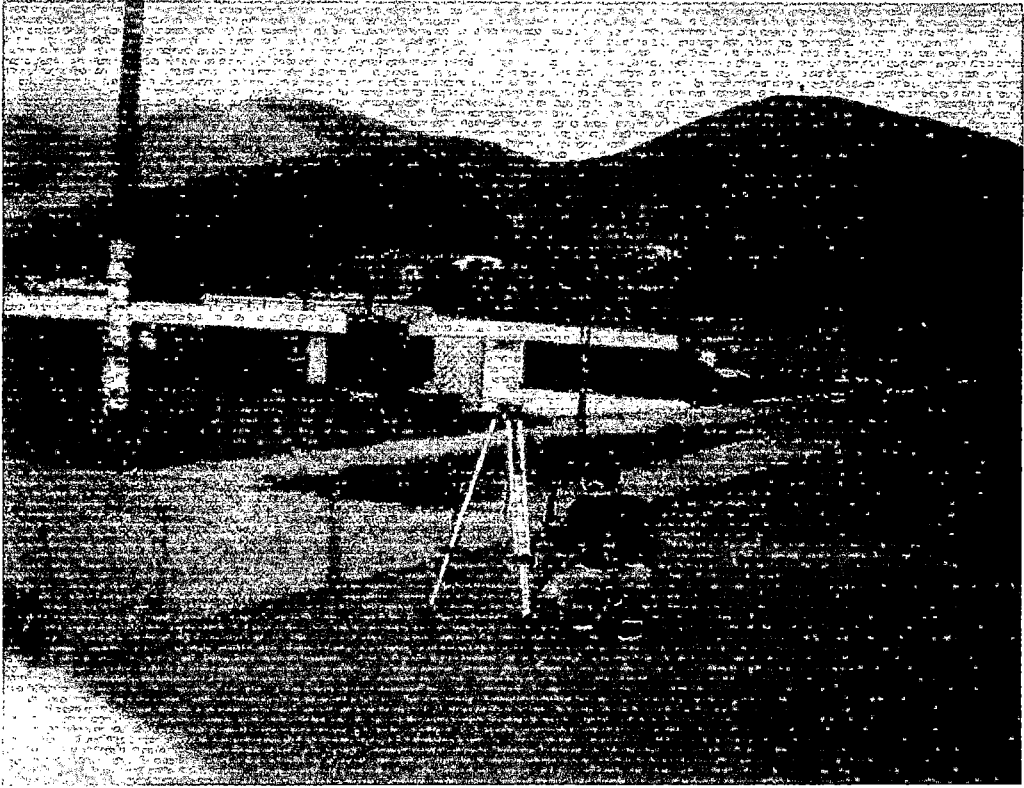
**AYUDANTES:**  
NARREA CANGO, JUAN CARLOS  
MUÑOZ VELAZCO, JUAN CARLOS  
DEL CARPIO VELÁSQUEZ, JHONNY

**ITINERARIO :**

EN LA PISTA QUE SEPARARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y EL PARABOLOIDE DE ESTRUCTURAS, SE ENCUENTRA SOBRE LA PISTA UNA PLACA DE BRONCE, CERCA DEL INGRESO PRINCIPAL DEL PARABOLOIDE. EL PUNTO EN EL CROQUIS ESTÁ REPRESENTADO POR UN CÍRCULO Y UNA EQUIS. A 50 cm. DE LA VEREDA. TAMBIEN VER FOTO.



PUNTO : CIVIL-1  
FOTOGRAFÍA





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

<b>IDENTIFICACION :</b>  <h2 style="text-align: center;">CIVIL-2</h2>	<b>COORDENADAS DEL PUNTO</b>  TECNICA DE MEDICIÓN : <b>GPS ESTATICA DIFERENCIAL</b>
---	--

<b>Coordenadas PSAD 56 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 03.2763" S Lon. 77° 02' 46.5416" W	<b>Coordenadas PSAD 56 : Proy. UTM (18)</b> N 8 670 658.8969 m. E 277 207.8178 m. ZONA 18
--	--

<b>Coordenadas WGS 84 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 15.65033" S Lon. 77° 02' 54.336031" W	<b>Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)</b> N 8 670 292.122 m. E 276 983.739 m. ZONA 18
--	---

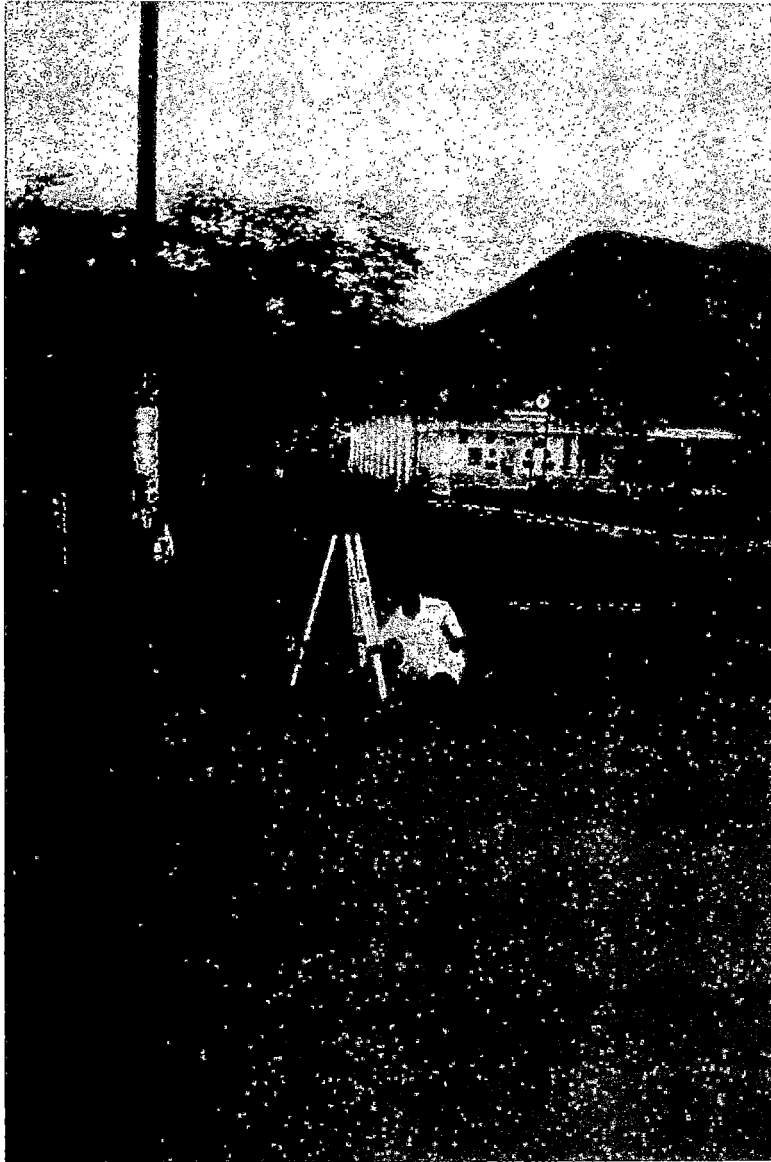
<b>Altura Elipsoidal Aproximada(WGS84):</b> <b>133.886 m.</b>	<b>Fecha :</b> <b>ENERO 2002</b>	<b>Determinado Por :</b> PABLO BARRETO RUIZ
--	-------------------------------------	--

<b>Altura ortométrica</b>  109.797 m.	<b>ONDULACIÓN :</b> (Aproximada) 24.089 m.	<b>AYUDANTES:</b> NARREA CANGO, JUAN CARLOS MUÑOZ VELAZCO, JUAN CARLOS DEL CARPIO VELÁSQUEZ, JHONNY
---	--	--

**ITINERARIO :**  
 EN LA PISTA QUE SEPARARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y EL PARABOLOIDE DE ESTRUCTURAS, SE ENCUENTRA SOBRE DICHA PISTA EL PUNTO CIVIL-2, A 0.84 mts. DE LA VEREDA QUE SE ENCUENTRA RODEANDO LAS LOSAS DEPORTIVAS. ESTÁ REPRESENTADO COMO UNA PLACA DE BRONCE DE 3 cm. DE DIÁMETRO. EN EL CROQUIS SE MUESTRA CON UNA X ENCERRADA EN UN CÍRCULO.



PUNTO : CIVIL-2  
FOTOGRAFÍA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

IDENTIFICACION :

## CIVIL-3

COORDENADAS DEL PUNTO

TECNICA DE MEDICIÓN :

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

Coordenadas PSAD 56 : Geográficas  
 Lat. 12° 01' 07.0139" W  
 Lon. 77° 02' 45.7448" S

Coordenadas PSAD 56 : Proy. UTM (18)  
 N 8 670 544.2016 m.  
 E 277 232.7792 m.  
 ZONA 18

Coordenadas WGS 84 : Geográficas  
 Lat. 12° 01' 19.38804" S  
 Lon. 77° 02' 53.53926" W

Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)  
 N 8 670 177.4260 m.  
 E 277 008.7005 m.  
 ZONA 18

Altura Elipsoidal  
 (WGS84):  
 135.864 m.

Fecha :  
**ENERO 2002**

Determinado Por :  
**PABLO BARRETO RUIZ**

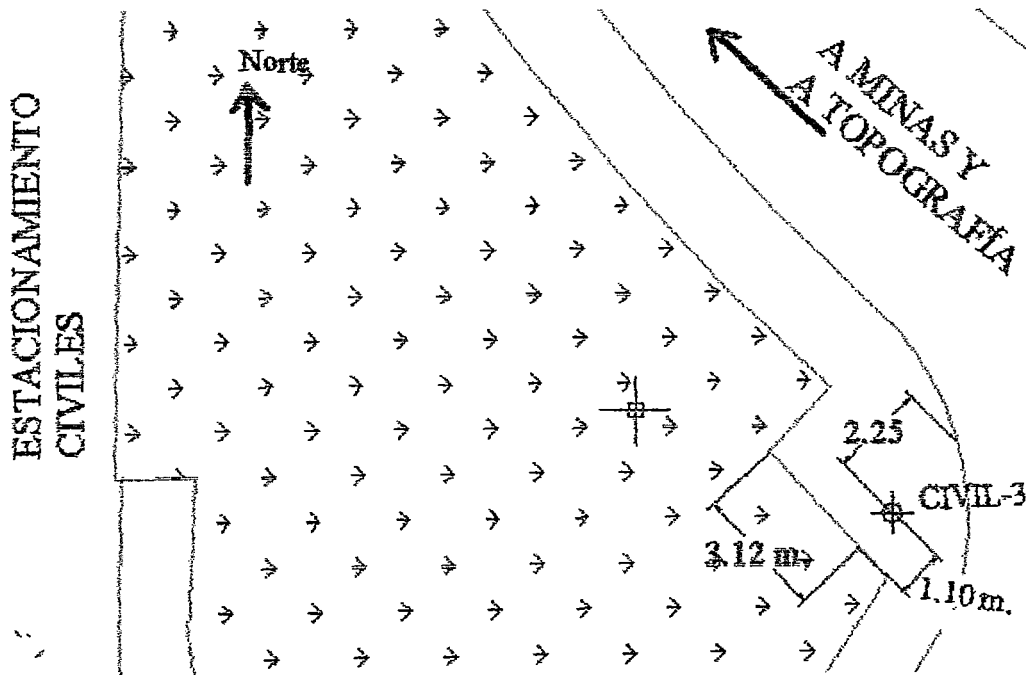
Altura ortométrica  
 111.785 m.

ONDULACIÓN :  
 24.079 m.

**AYUDANTES:**  
 BASURTO RAVICHAGUA, DANIEL  
 DUEÑAS ESPICHÁN, OSCAR  
 LOLI CÁRDENAS, OSCAR  
 MACAVILCA ROJAS, NADIA

**ITINERARIO :**

SOBRE LA VEREDA QUE SE ENCUENTRA EN EL SUR-ESTE DE LA FACULTAD DE ING. CIVIL, AL FRENTE DE LA FACULTAD DE TEXTILES, SE ENCUENTRA EL PUNTO CIVIL-3, A 1.10 mts DE DISTANCIA MAS CORTA AL JARDÍN.



PUNTO : CIVIL-3

FOTOGRAFÍA

El punto se encuentra debajo del trípode



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

<b>IDENTIFICACION :</b>  <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">CIVIL-4</div>	<b>COORDENADAS DEL PUNTO</b>  <b>TECNICA DE MEDICIÓN :</b> <b>GPS ESTATICA DIFERENCIAL</b>
--	---

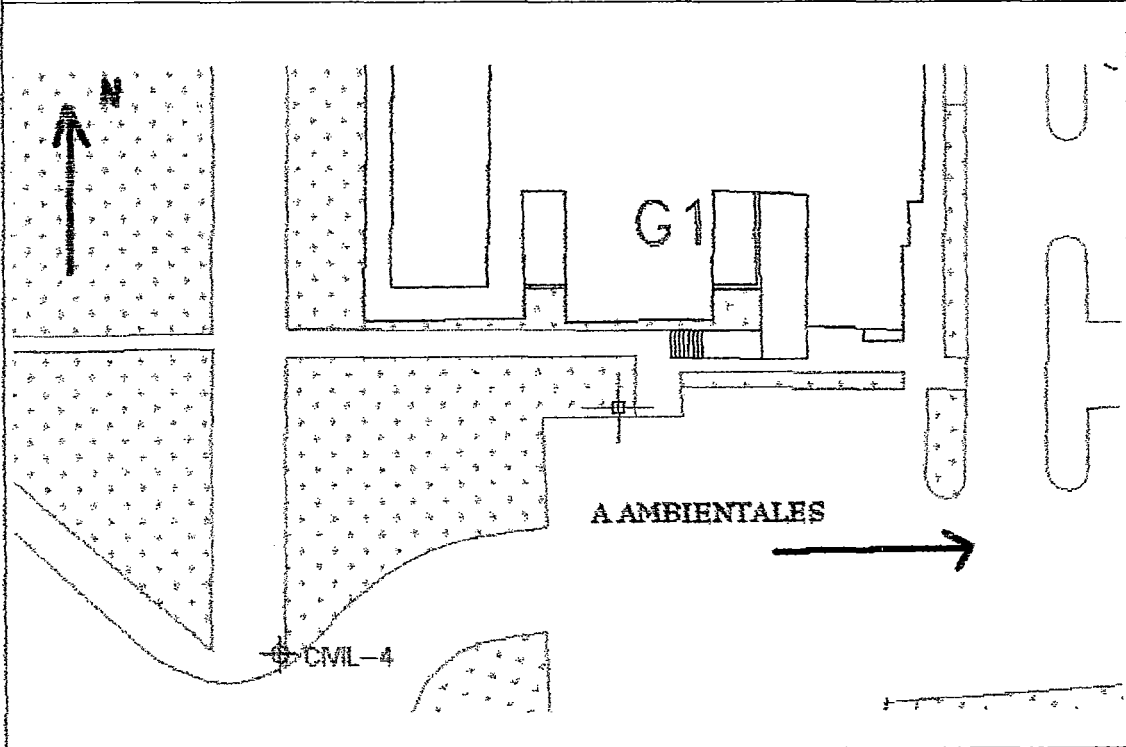
<b>Coordenadas PSAD 56 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 08.4364" S Lon. 77° 02' 49.3639" S	<b>Coordenadas PSAD 56 : Proy. UTM (18)</b> N 8 670 499.6672 m. E 277 123.6081 m. ZONA 18
--	--

<b>Coordenadas WGS 84 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 20.81051" S Lon. 77° 02' 57.15852" W	<b>Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)</b> N 8 670 132.8916 m. E 276 899.5294 m. ZONA 18
---	---

<b>Altura Elipsoidal (WGS84):</b>  135.813 m.	<b>Fecha :</b> AGOSTO 2002	<b>Determinado Por :</b> PABLO BARRETO RUIZ
---	-------------------------------	--

<b>Altura ortométrica</b>  111.748 m.	<b>ONDULACIÓN : WGS84</b>  24.065 m.	<b>AYUDANTES:</b> BASURTO RAVICHAGUA, DANIEL DUEÑAS ESPICHÁN, OSCAR LOLI CÁRDENAS, OSCAR MACAVILCA ROJAS, NADIA
---	--	---

**ITINERARIO :**  
 EN EL GRÁFICO EL PUNTO ESTÁ INDICADO MEDIANTE UNA CRUZ CON UN CÍRCULO. SE ENCUENTRA A ESPALDAS DEL DECANATO DE LA F.I.C. Y AL FRENTE DE LA F.I.A. ES UNA PLACA DE BRONCE SOBRE LA VEREDA Y SIGUIENDO LA DIRECCIÓN DE DICHA VEREDA A 1.02 mts. SE LLEGA A LA PISTA QUE VA HACIA LA F.I.A.



PUNTO : CIVIL-4  
FOTOGRAFÍA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**IDENTIFICACION :**

## ECON-1

**COORDENADAS DEL PUNTO**

**TECNICA DE MEDICIÓN :**

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

**Coordenadas PSAD 56 : Geográficas**

Lat. 12° 00' 57.7192" W  
Lon. 77° 2' 49.4744" S

**Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)**

N 8 670 829.031 m.  
E 277 117.813 m.  
ZONA 18

**Coordenadas WGS 84 : Geográficas**

Lat. 12° 01' 10.09312" S  
Lon. 77° 02' 57.26893" W

**Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)**

N 8 670 462.258 m.  
E 276 893.734 m.  
ZONA 18

**Altura Elipsoidal :**

130.952 m.

**Fecha :**

**AGOSTO 2002**

**Determinado Por :**

**PABLO BARRETO RUIZ**

**Altura ortométrica**

106.874 m.

**ONDULACIÓN :**

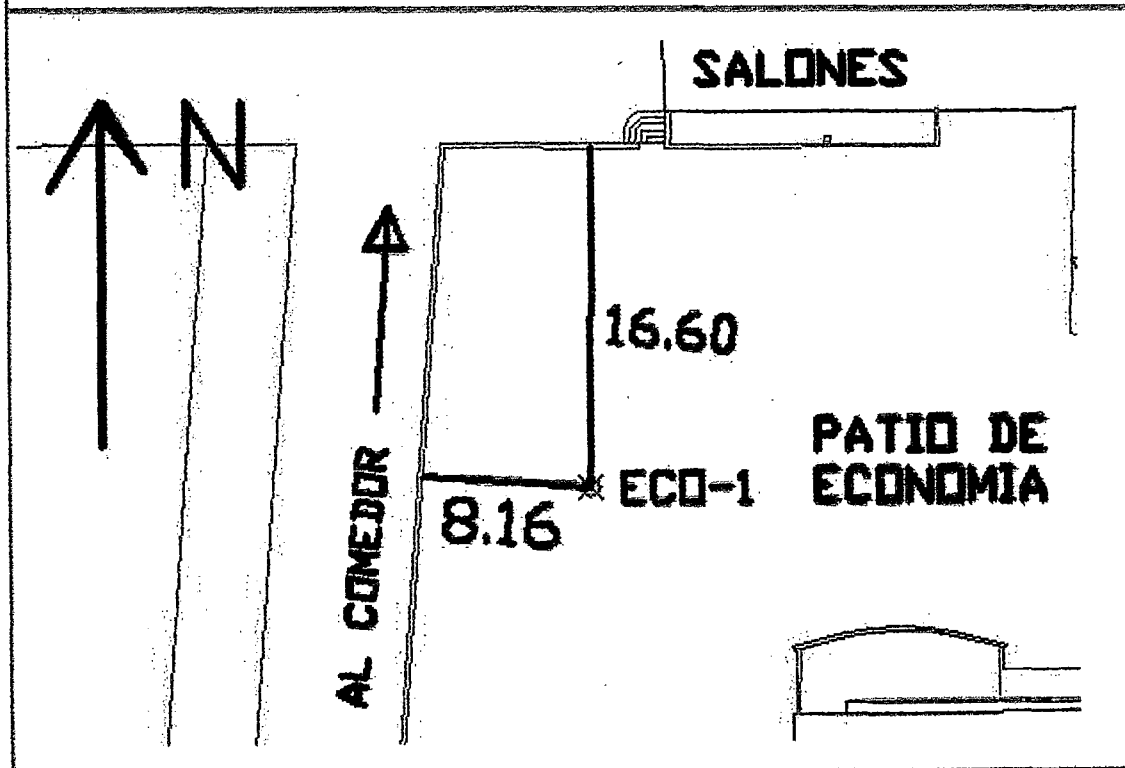
24.078 m.

**AYUDANTES:**

JORGE OSTOS, RUBEN ISAAC  
PADILLA FADOINO, MARIO  
DURAN PARODI, HERNAN  
GOTELLI VILLANUEVA, LUIS

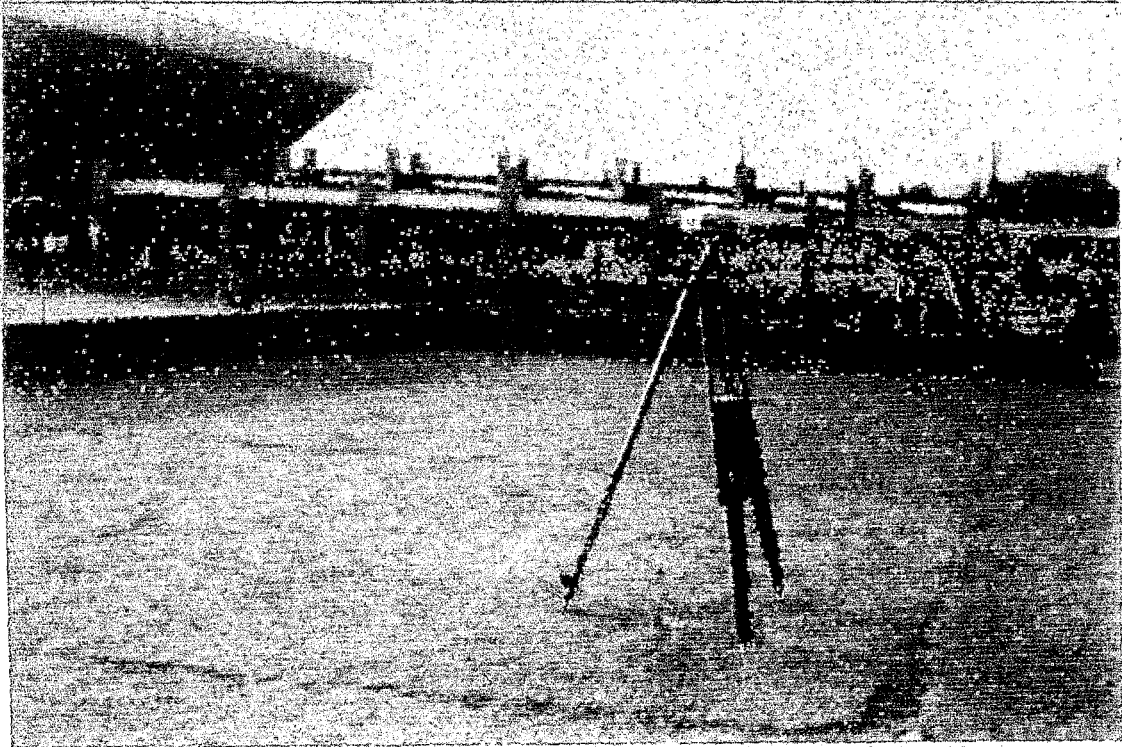
**ITINERARIO :**

Es una placa de bronce sobre concreto donde está escrito la palabra GRUPO. Se encuentra en el patio de economía a 16.60 mts y 8.16 mts. de distancia de dos de los bordes de dicho patio.



Revisión 1 :

PUNTO : ECON-1  
FOTOGRAFÍA





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

IDENTIFICACION :

## ECON-2

COORDENADAS DEL PUNTO

TECNICA DE MEDICION :

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

Coordenadas PSAD 56 : Geográficas

Lat. 12° 00' 59.1491" S

Lon. 77° 02' 47.6621" W

Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)

N 8 670 785.490 m.

E 277 172.974 m.

ZONA 18

Coordenadas WGS 84 : Geográficas

Lat. 12° 01' 11.52310" S

Lon. 77° 02' 55.45652" W

Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)

N 8 670 418.717 m.

E 276 948.895 m.

ZONA 18

Altura Elipsoidal :

WGS84

132.010 m.

Fecha :

**ENERO 2002**

Determinado Por :

PABLO BARRETO RUIZ

Altura ortométrica

107.918 m.

ONDULACION :

24.092 m.

**AYUDANTES:**

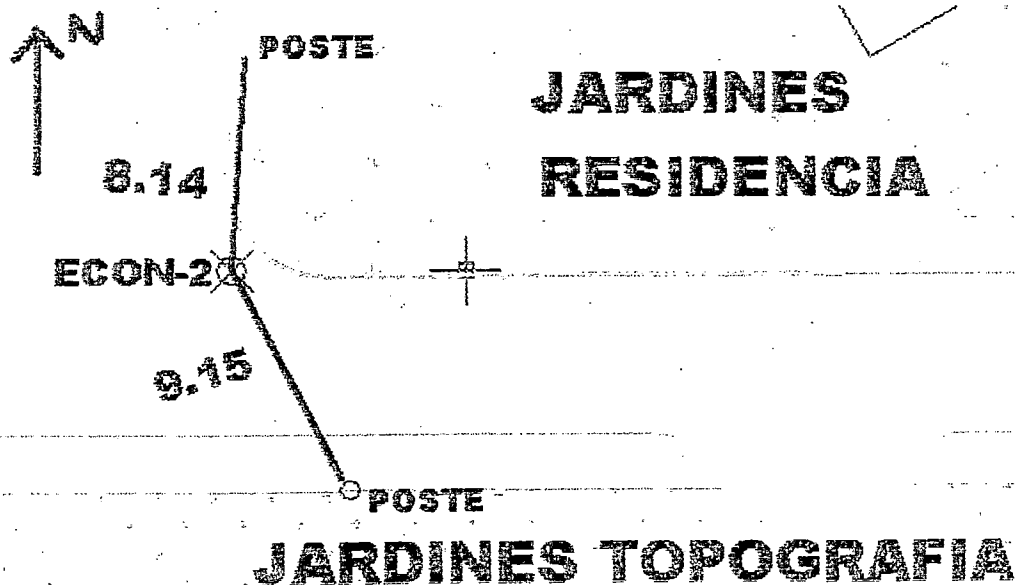
QUILLAS QUISPE, JORGE

PEREZ ENRIQUEZ

PALACIOS BANDAN

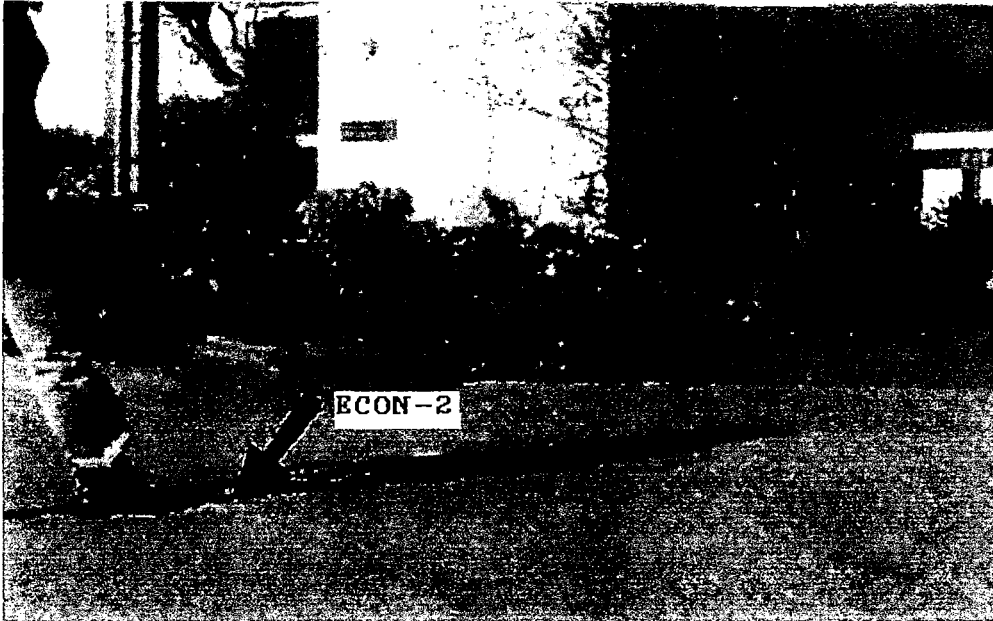
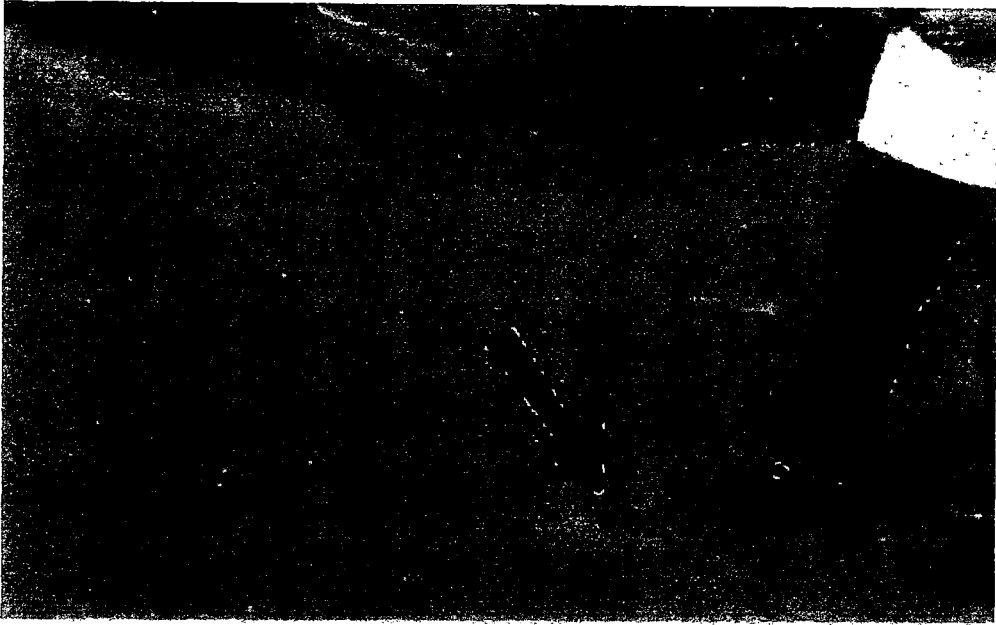
**ITINERARIO :**

Entre la pista que separa la residencia de estudiantes y el departamento de Topografía y Vías de transportes se encuentra el punto ECON-2, representado mediante una placa metálica. Cerca de un buzón de desagüe. Se encuentra cerca de 2 postes con las distancia que se indican en el croquis.



Revision 1 :

PUNTO : ECON-2  
FOTOGRAFÍA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**IDENTIFICACION :**

## ELEC-1

**COORDENADAS DEL PUNTO**

**TECNICA DE MEDICION :**

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

**Coordenadas PSAD 56 : Geográficas**

**Lat. 12° 00' 51.2802" S**

**Lon. 77° 02' 50.2920" W**

**Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)**

**N 8 671 026.7461 m.**

**E 277 091.6032 m.**

**ZONA 18**

**Coordenadas WGS 84 : Geográficas**

**Lat. 12° 01' 03.65402" S**

**Lon. 77° 02' 58.08651" W**

**Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)**

**N 8 670 659.9740 m.**

**E 276 867.5244 m.**

**ZONA 18**

**Altura Elipsoidal :**

**128.426**

**Fecha :**

**AGOSTO 2002**

**Determinado Por :**

**PABLO BARRETO RUIZ**

**Altura ortométrica**

**104.494 mts.**

**ONDULACION :**

**23.932 mts.**

**AYUDANTES:**

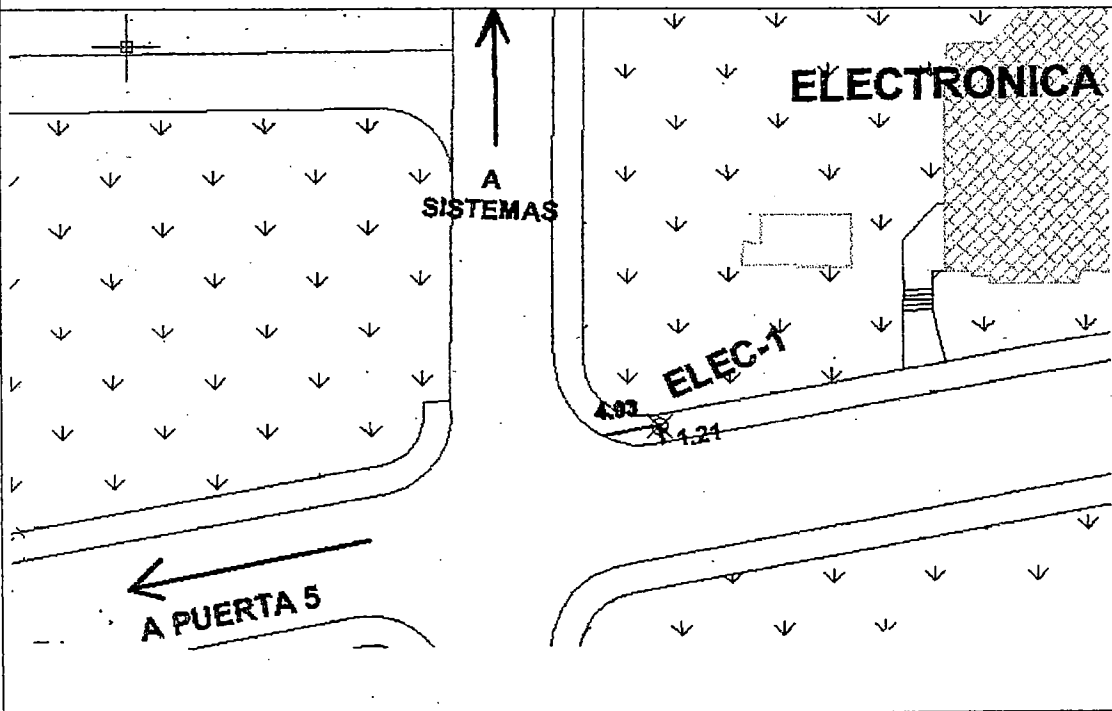
**NÚÑEZ VILELA, LUIS**

**CCORISE CCAPATINTA, RÓMULO**

**VARGAS HILARIO, CARLOS**

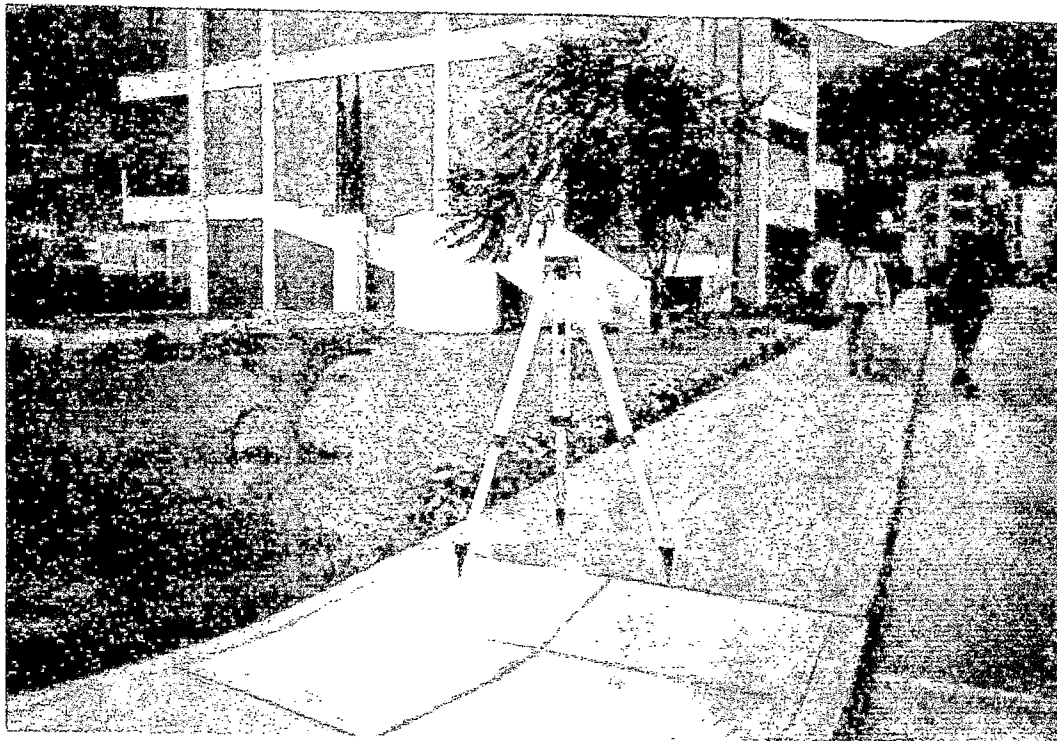
**ITINERARIO :**

**Ingresando a la UNI por la puerta 5. Seguir directamente hasta la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. El punto se encuentra en la vereda sur que bordea dicha facultad. Está monumentada con una placa. A 1.21 mts del borde exterior de la vereda y perpendicular a esta dirección se tiene una distancia de 4.03 mts. del borde exterior al punto, como se observa en la figura.**



Revision 1 :

PUNTO : ELEC-1  
FOTOGRAFÍA  
EL PUNTO SE ENCUENTRA DEBAJO DE EL TRÍPODE, ES UNA PLACA DE BRONCE.  
AL FONDO SE OBSERVAN LOS CERROS DE LA UNI.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

IDENTIFICACION :  <h2 style="text-align: center;">ESTAD-1</h2>	COORDENADAS DEL PUNTO  TECNICA DE MEDICIÓN : <b>GPS ESTATICA DIFERENCIAL</b>
--	---

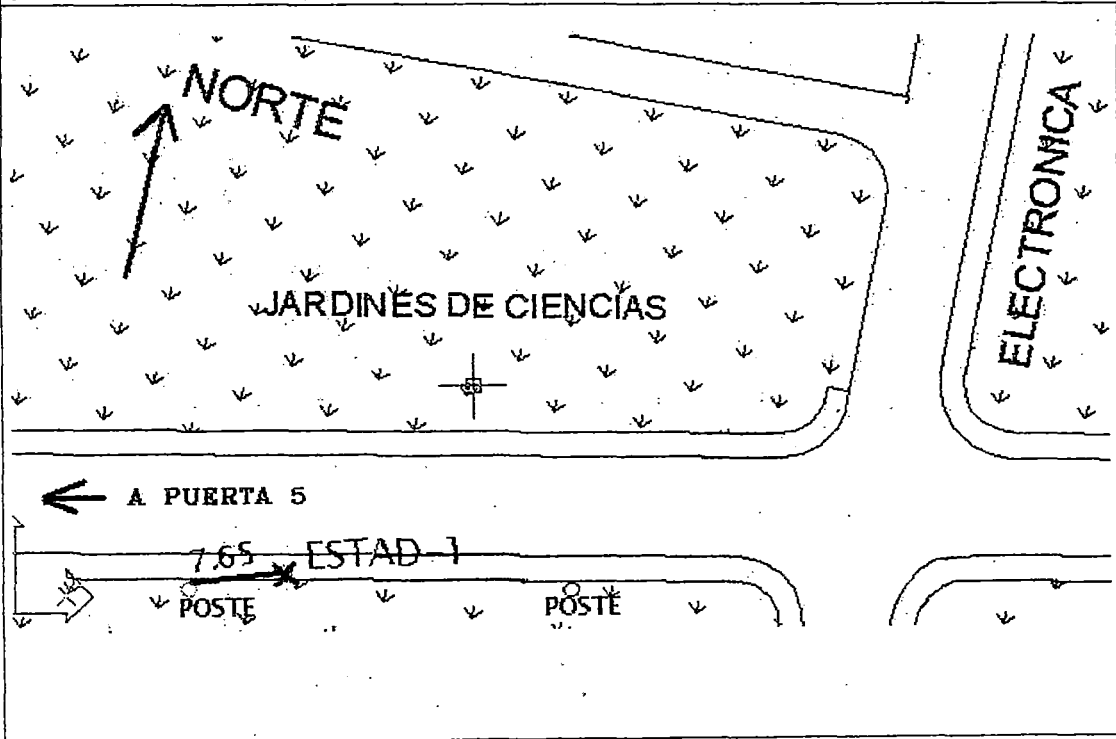
Coordenadas PSAD 56 : Geográficas Lat. 12° 00' 51.9707" W Lon. 77° 02' 52.2228" S	Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18) N 8 671 005.0888 m. E 277 033.3442 m. ZONA 18
---	--

Coordenadas WGS 84 : Geográficas Lat. 12° 01' 04.34452" S Lon. 77° 03' 00.01737" W	Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18) N 8 670 638.317 m. E 276 809.265 m. ZONA 18
--	--

Altura Elipsoidal (WGS84): <b>128.213 m.</b>	Fecha : <b>ENERO 2002</b>	Determinado Por : PABLO BARRETO RUIZ
---	------------------------------	---

Altura ortométrica (Aproximada) <b>104.260 m.</b>	ONDULACIÓN : (Aproximada) <b>23.953 m.</b>	AYUDANTES: BENDEZÚ ARROYO, GUSTAVO LEZAMA FIGUEROA, ALVARO SOPLOPUCO MONCADA, EMMA
--	---	---

**ITINERARIO :**  
 COMO SALIENDO HACIA LA PUERTA 5, EN LA VEREDA DERECHA SE ENCUENTRA ESTE PUNTO, REPRESENTADO CON UNA PLACA DE BRONCE. SE ENCUENTRA A 7.65 mts. DEL POSTE MAS CERCANO, Y A 0.15 cm. DEL JARDÍN. TAMBIÉN SE LE PUEDE UBICAR VINIENDO DEL GABINETE DE TOPOGRAFÍA POR LA PISTA QUE SE ENCUENTRA ENTRE EL ESTADIO Y EL COMEDOR, DOBLAMOS HACIA LA IZQUIERDA Y RECORREMOS 42.5 Mts. MÁS , ENCONTRAREMOS EL PUNTO.



Revisión 1 :

PUNTO : ESTAD-1  
FOTOGRAFÍA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**IDENTIFICACION :**

**GIMNAS-1**

**COORDENADAS DEL PUNTO**

**TECNICA DE MEDICION :**

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

**Coordenadas PSAD 56 : Geográficas**

**Lat. 12° 01' 06.6640" S**

**Lon. 77° 02' 41.3156" W**

**Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)**

**N 8670 555.9515 m.**

**E 277 366.7078 m.**

**ZONA 18**

**Coordenadas WGS 84 : Geográficas**

**Lat. 12° 01' 19.03813" S**

**Lon. 77° 02' 49.10989" W**

**Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)**

**N 8 670 189.1781 m.**

**E 277 142.6263 m.**

**ZONA 18**

**Altura Elipsooidal :**

**167.045**

**Fecha :**

**SEPTIEMBRE 2002**

**Determinado Por :**

**PABLO BARRETO RUIZ**

**Altura ortométrica**

**142.970 mts.**

**ONDULACION :**

**24.075 mts.**

**AYUDANTES:**

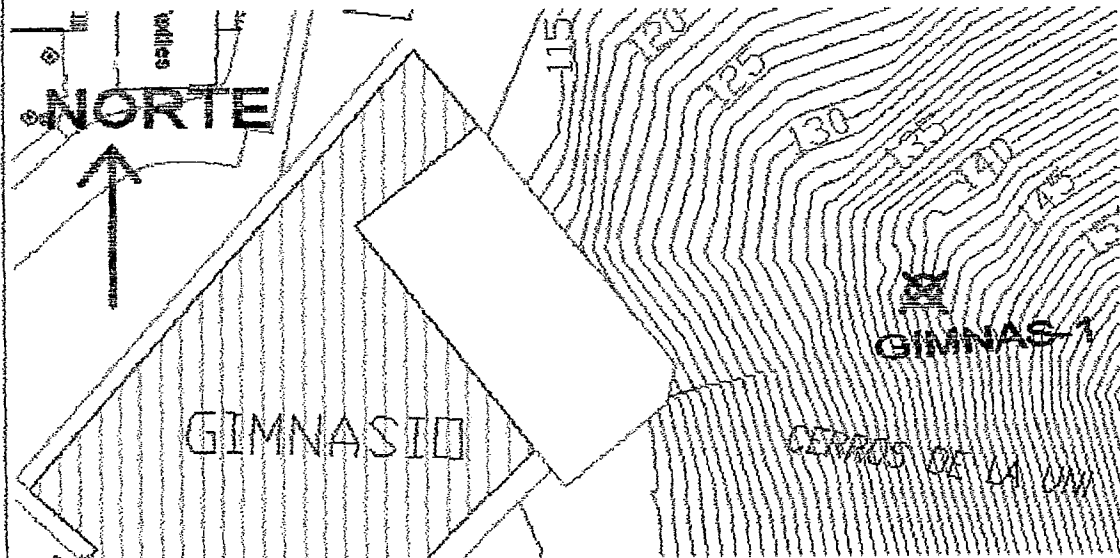
**LA ROSA ORBEZO, NOELIA**

**MOLINA BENAVENTE, ERIKA**

**AYAMAMANI JAIMES, MIGUEL ANGEL**

**ITINERARIO :**

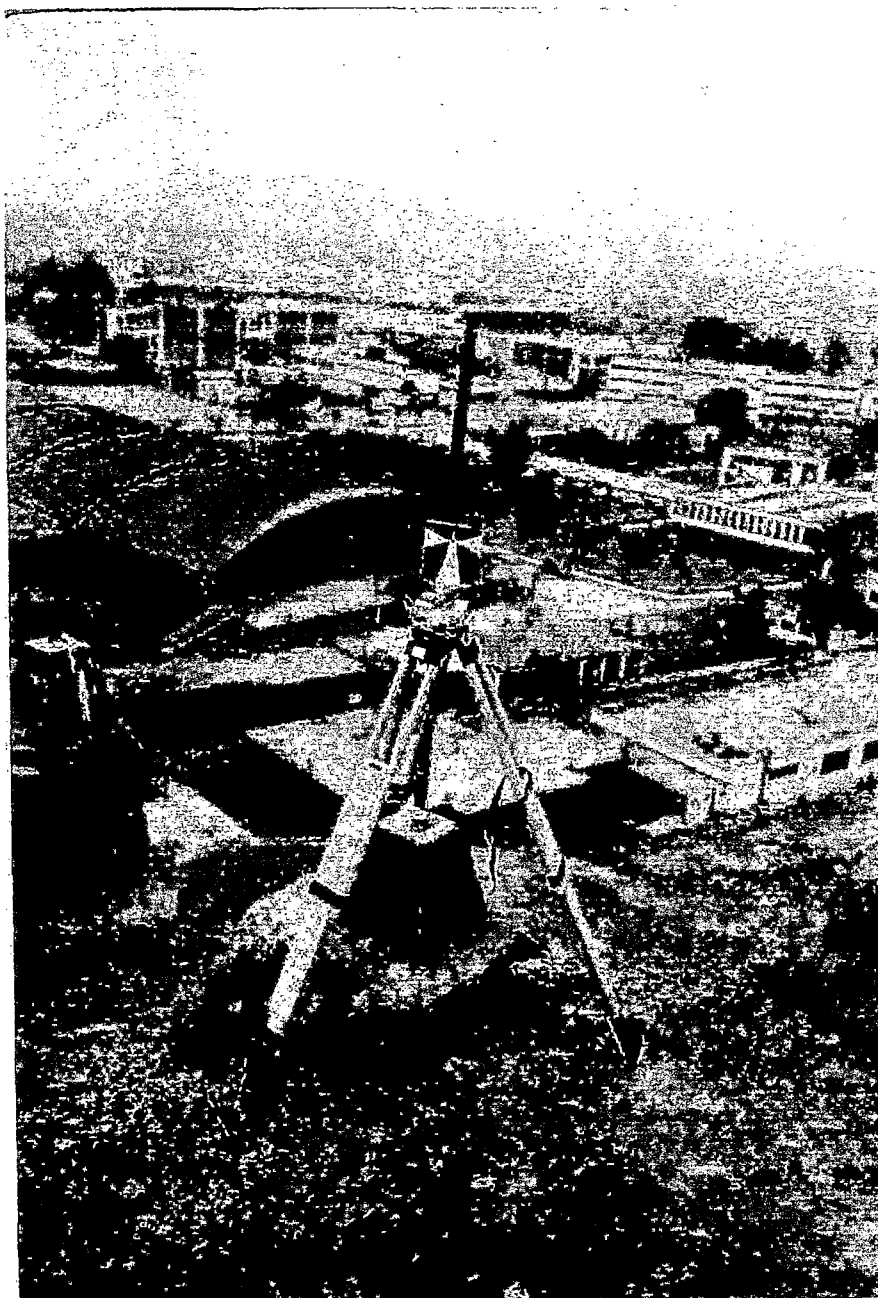
**SUBIENDO A LOS CERROS DE LA UNI POR EL GIMNASIO SE LLEGA A UN HITO DE CONCRETO TRAPEZOIDAL, EL PUNTO SE ENCUENTRA EN EL CENTRO DE LA PLACA SOBRESALIDA QUE SE ENCUENTRA SOBRE DICHO HITO. VER GRÁFICO Y FOTO.**



Revision 1 :

PUNTO : GIMNAS-1  
FOTOGRAFÍA

EL PUNTO SE ENCUENTRA DEBAJO DE EL TRÍPODE DE LA FOTO, ESTÁ EN UNA PLACA  
SOBRESALIDA, SOBRE UN HITO DE CONCRETO.  
AL FONDO SE EL COLISEO Y LA F.I.G.M.M.





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

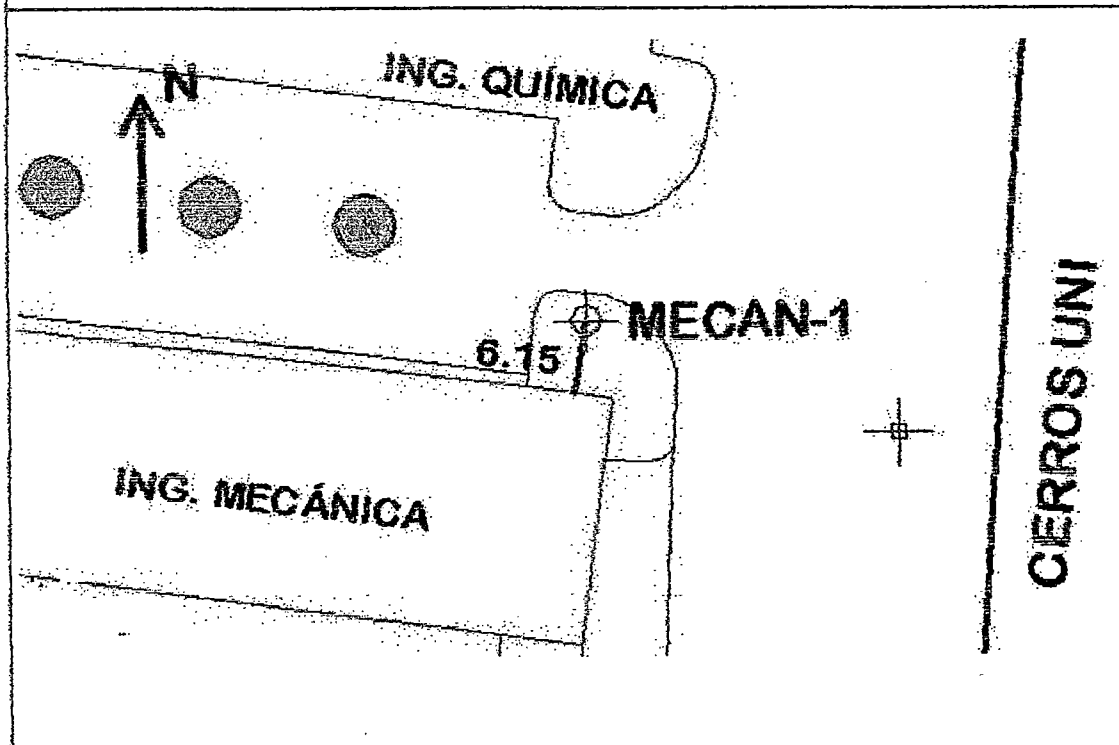
<b>IDENTIFICACION :</b>  <h2 style="text-align: center;">MECAN-1</h2>	<b>COORDENADAS DEL PUNTO</b>  <b>TECNICA DE MEDICIÓN :</b> <b>GPS ESTATICA DIFERENCIAL</b>
---	---

<b>Coordenadas PSAD 56 : Geográficas</b> <b>Lat. 12° 01' 12.4685" S</b> <b>Lon. 77° 2' 40.0932" W</b>	<b>Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)</b> <b>N 8 670 377.8299 m.</b> <b>E 277 405.0181 m.</b> <b>ZONA 18</b>
---	--

<b>Coordenadas WGS 84 : Geográficas</b> <b>Lat. 12° 01' 24.84276" S</b> <b>Lon. 77° 02' 47.86740" W</b>	<b>Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)</b> <b>N 8 670 011.053 m.</b> <b>E 277 180.939 m.</b> <b>ZONA 18</b>
---	--

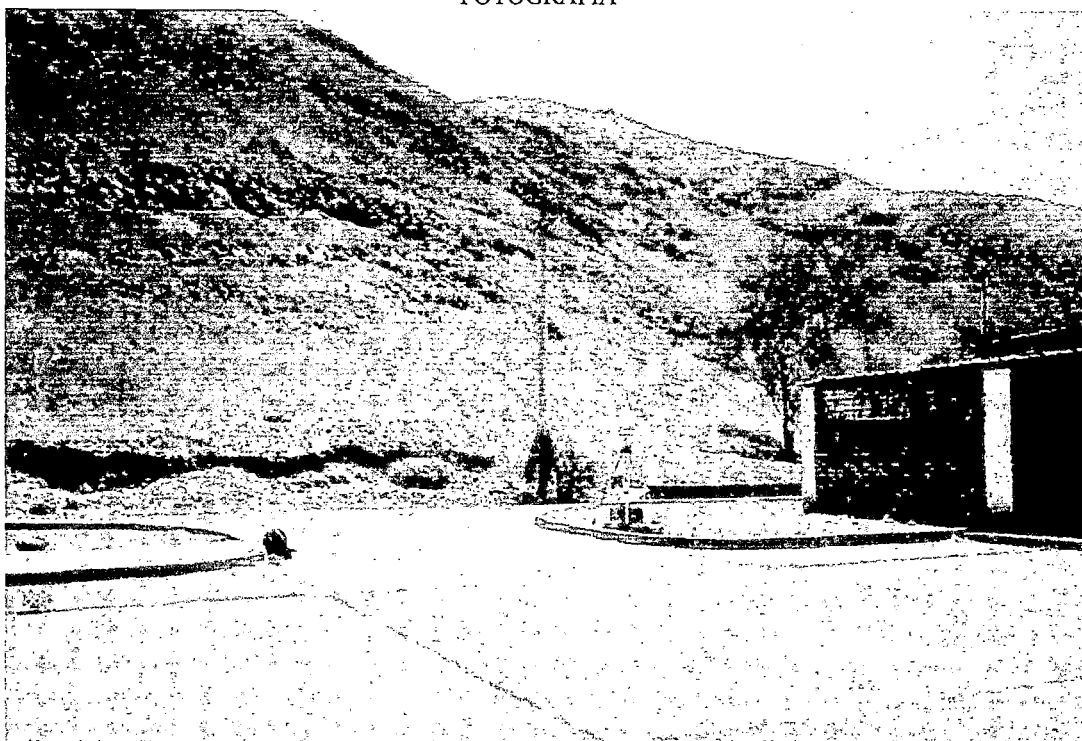
<b>Altura Elipsoidal :</b> <b>139.214 m.</b>	<b>Fecha :</b> <b>ENERO 2002</b>	<b>Determinado Por :</b> <b>PABLO BARRETO RUIZ</b>
<b>Altura ortométrica</b>  <b>115.141 m.</b>	<b>ONDULACIÓN :</b>  <b>24.073 m.</b>	<b>AYUDANTES:</b> <b>VIVANCO VASQUEZ, JUAN CARLOS</b> <b>RODRÍGUEZ CEVALLOS, CRISTIAN</b> <b>ARGANDONA SALCEDO, CÉSAR</b> <b>CAUTI AGREDA, RAUL</b>

**ITINERARIO :**  
 Este punto se puede reconocer fácilmente porque está representado mediante un bloque de concreto en forma de columna cuadrada de 50 cm. Se encuentra en la facultad de Ingeniería mecánica, cerca de la facultad de Ingeniería Química y los cerros de la UNI. Se puede acceder desde el ingreso de la puerta 3, entrando a la pista que separa las facultades de Ing. Química y Mecánica como yendo a los cerros. El croquis así como la foto adjunta puede ser de mucha ayuda.



Revisión 1 :

PUNTO : MECAN-1  
FOTOGRAFÍA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

IDENTIFICACION :

## MECAN-2

COORDENADAS DEL PUNTO

TECNICA DE MEDICIÓN :

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

Coordenadas PSAD 56 : Geográficas

Lat. 12° 01' 17.2446" S

Lon. 77° 02' 41.1360" S

Coordenadas PSAD 56 : Proy. UTM (18)

N 8 670 230.8036 m.

E 277 374.5578 m.

ZONA 18

Coordenadas WGS 84 : Geográficas

Lat. 12° 01' 29.61895" S

Lon. 77° 02' 48.93035" W

Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)

N 8 669 864.0255 m.

E 277 150.4793 m.

ZONA 18

Altura Elipsoidal  
WGS8):

139.975

Fecha :

AGOSTO 2002

Determinado Por :

PABLO BARRETO RUIZ

Altura ortométrica

115.913 m.

ONDULACIÓN :

24.062 m.

**AYUDANTES:**

.CRISTÓBAL CALDERON, MIGUEL

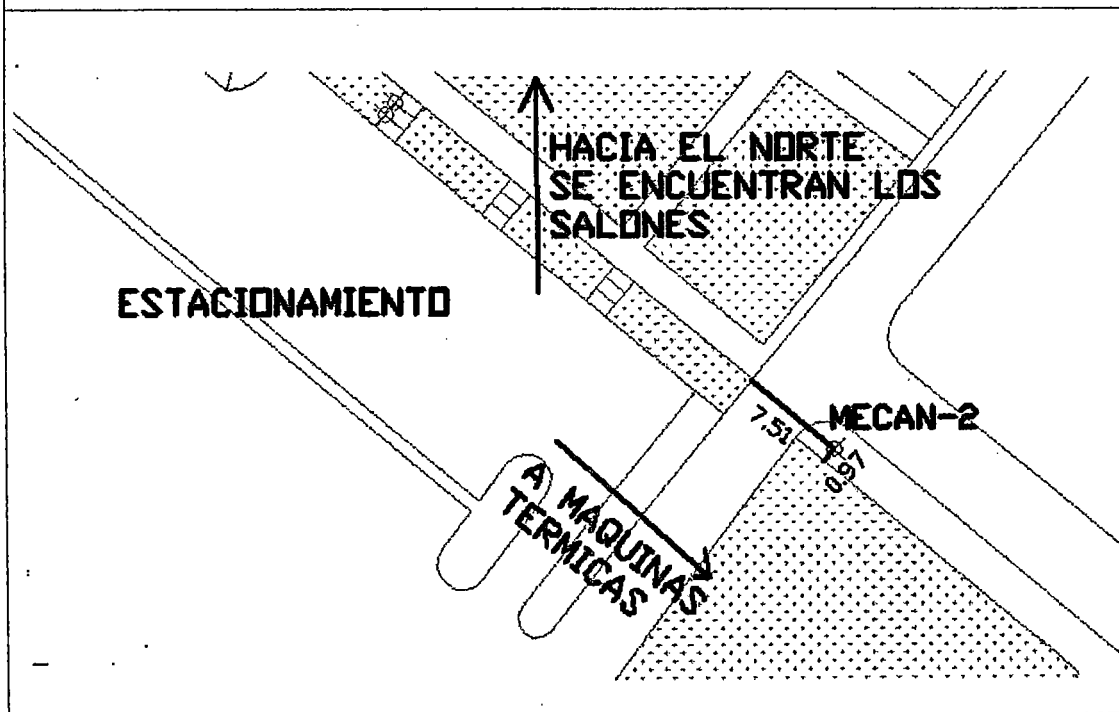
CARVAJAL LUCIANO, DAVID H

GARCÍA POMA, EDISON

DEXTRE LEÓN, WILDER

### ITINERARIO:

Ingresando por la puerta 3 de la UNI, se dobla a la derecha como quien se dirige a máquinas Térmicas por la pista izquierda de acceso hacia dichos laboratorios. El punto se encuentra sobre una vereda a 1.19 mts. del borde interior de la vereda y a 7.51 mts. del la vereda opuesta como se indica en el gráfico.



PUNTO : MECAN-2  
FOTOGRAFÍA

(la flecha roja indica donde se encuentra el punto.  
Al fondo a a izquierda se observa la puerta 3. La foto fue tomada de Este a Oeste.

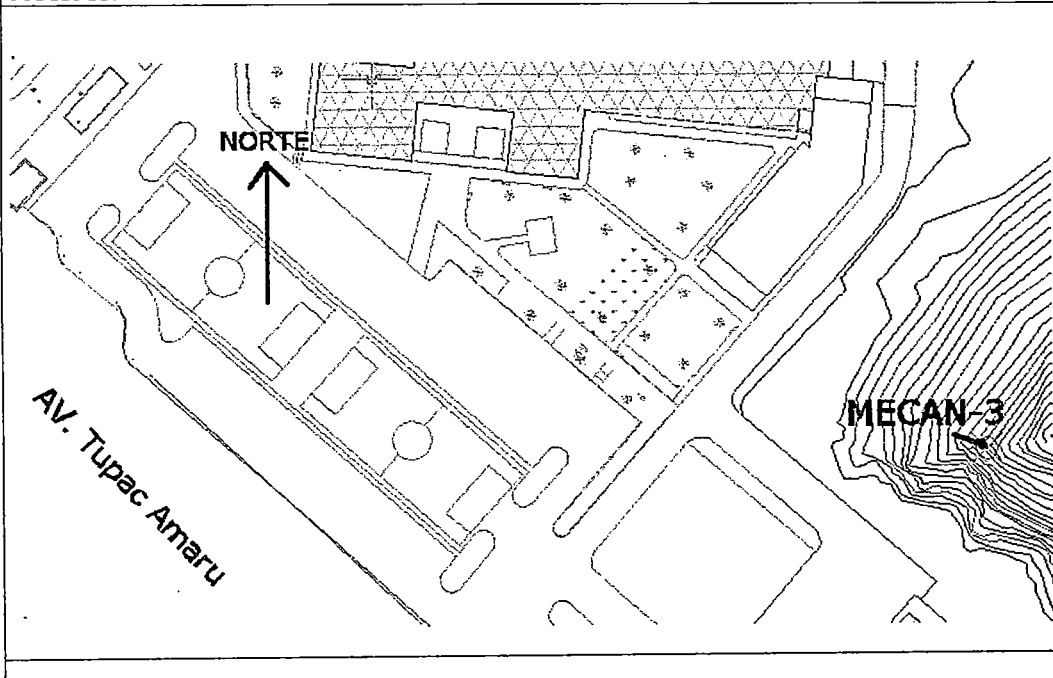


# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

<b>IDENTIFICACION :</b> <h2 style="margin: 0;">MECAN-3</h2>		<b>COORDENADAS DEL PUNTO</b>
		<b>TECNICA DE MEDICIÓN :</b> <b>GPS ESTATICA DIFERENCIAL</b>
<b>Coordenadas PSAD 56 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 17.3080" S Lon. 77° 02' 39.3536" W		<b>Coordenadas PSAD 56 : Proy. UTM (18)</b> N 8 670 229.2548 m. E 277 428.5015 m. ZONA 18
<b>Coordenadas WGS 84 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 29.68237 " S Lon. 77° 02' 47.14783" W		<b>Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)</b> N 8 669 862.4778 m. E 277 204.4214 m. ZONA 18
<b>Altura Elipsoidal WGS8):</b> 156.455	<b>Fecha :</b> OCTUBRE 2002	<b>Determinado Por :</b> PABLO BARRETO RUIZ
<b>Altura ortométrica</b>  132.372 m.	<b>ONDULACIÓN :</b>  24.083 m.	<b>AYUDANTES:</b> Alumnos del Centro de Formación Técnica y Minera de la UNI.

**ITINERARIO:**

Ingresando por la puerta 3 de la UNI, se dobla hacia la izquierda hasta llegar a los cerros. El punto se encuentra en una placa de bronce sobre un hito de concreto perteneciente a un antiguo punto permanente referenciado mediante un trípode metálico. Actualmente de dicho trípode solo quedan las 3 mechas que se encuentran rodeando al punto. En el croquis una flecha indica el punto y se puede observar que además que está sobre una línea divisoria de aguas, donde a un lado se encuentran los salones y la biblioteca de Mecánica y al otro lado el Instituto de Motores.



PUNTO : MECAN-3  
FOTOGRAFÍAS

Esta foto fue tomada de Norte a Sur, subiendo al cerro de mecánica.



El punto se encuentra en una placa sobre un hito de concreto. En la foto, debajo del trípode amarillo, mas abajo se observa el pabellón de Ingeniería Mecánica.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**IDENTIFICACION :**

## MINA-1

**COORDENADAS DEL PUNTO**

**TECNICA DE MEDICIÓN :**

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

**Coordenadas PSAD 56 : Geográficas**

**Lat. 12° 00' 59.4574" W**

**Lon. 77° 02' 44.1755" S**

**Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)**

**N 8 670 776.8015 m.**

**E 277 278.5330 m.**

**ZONA 18**

**Coordenadas WGS 84 : Geográficas**

**Lat. 12° 01' 11.83139" S**

**Lon. 77° 02' 51.95977" W**

**Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)**

**N 8 670 410.027 m.**

**E 277 054.454 m.**

**ZONA 18**

**Altura Elipsoidal  
(WGS84):**

**133.006 m.**

**Fecha :**

**AGOSTO 2002**

**Determinado Por :**

**PABLO BARRETO RUIZ**

**Altura ortométrica**

**108.909 m.**

**ONDULACIÓN :**

**24.097 m.**

**AYUDANTES:**

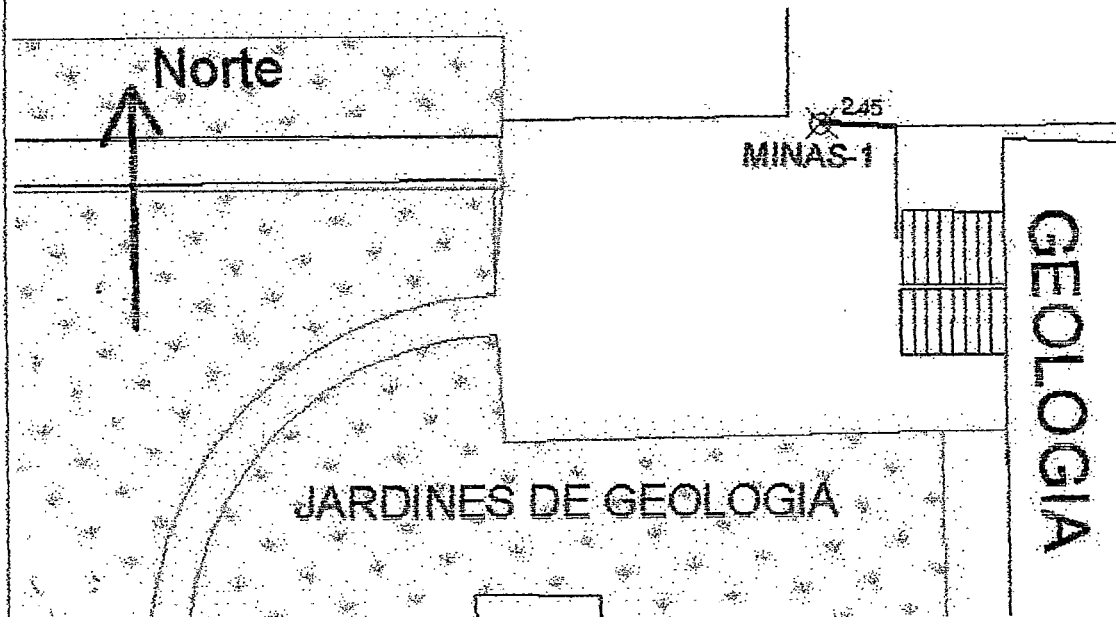
**SORIANO ALAYA, HORACIO**

**CÁCERES FIGUEROA, DAVID**

**URBINA ROJAS, HERNAN**

**ITINERARIO :**

**Cerca de la Escuela de Minas y por la esquina NOROESTE del Pabellón de Geología se encuentra el punto MINAS-1 como se indica en el croquis. Está representado por una placa de bronce donde dice: ING RALFO Y BARRETO F.I.C.**



**Revision 1 :**

PUNTO : MINA-1  
FOTOGRAFÍA

En la fotografia se encuentra debajo del trípode





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

IDENTIFICACION :

## MINA-2

COORDENADAS DEL PUNTO

TECNICA DE MEDICIÓN :

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

Coordenadas PSAD 56 : Geográficas

Lat. 12° 01' 01.6651" W

Lon. 77° 02' 45.0949" S

Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)

N 8 670 708.7415 m.

E 277 251.2194 m.

ZONA 18

Coordenadas WGS 84 : Geográficas

Lat. 12° 01' 14.03913" S

Lon. 77° 02' 52.88928" W

Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)

N 8 670 341.967 m.

E 277 027.141 m.

ZONA 18

Altura Elipsoidal  
(WGS84):

134.754 m.

Fecha :

ENERO 2002

Determinado Por :

PABLO BARRETO RUIZ

Altura ortométrica

110.660 m.

ONDULACIÓN :

24.094 m.

**AYUDANTES:**

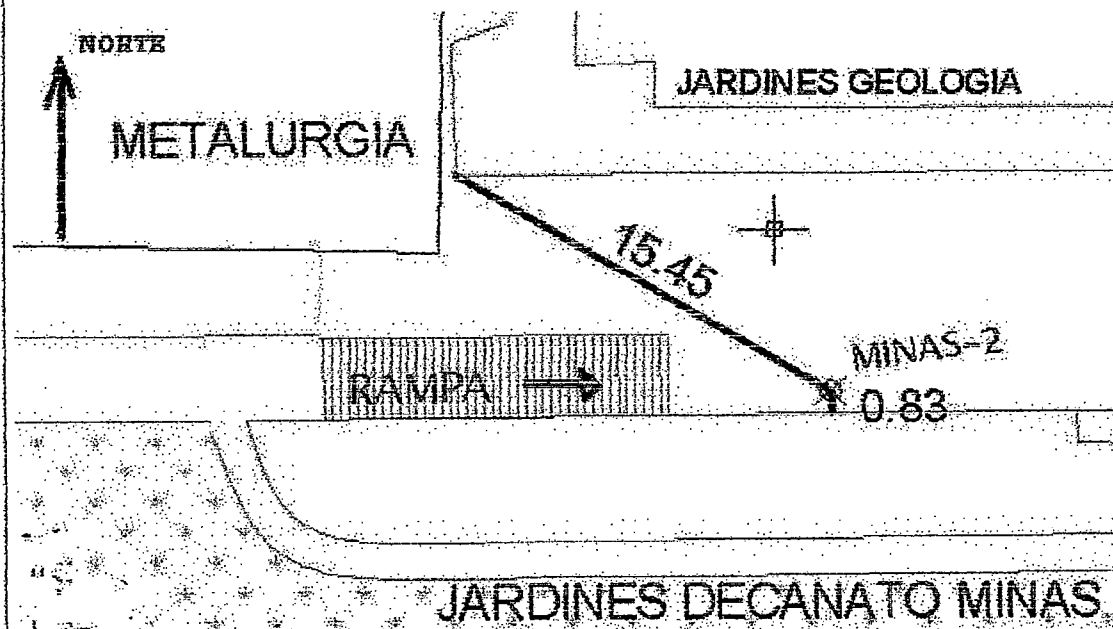
SORIANO ALAYA, HORACIO

CÁCERES FIGUEROA, DAVID

URBINA ROJAS, HERNAN

**ITINERARIO :**

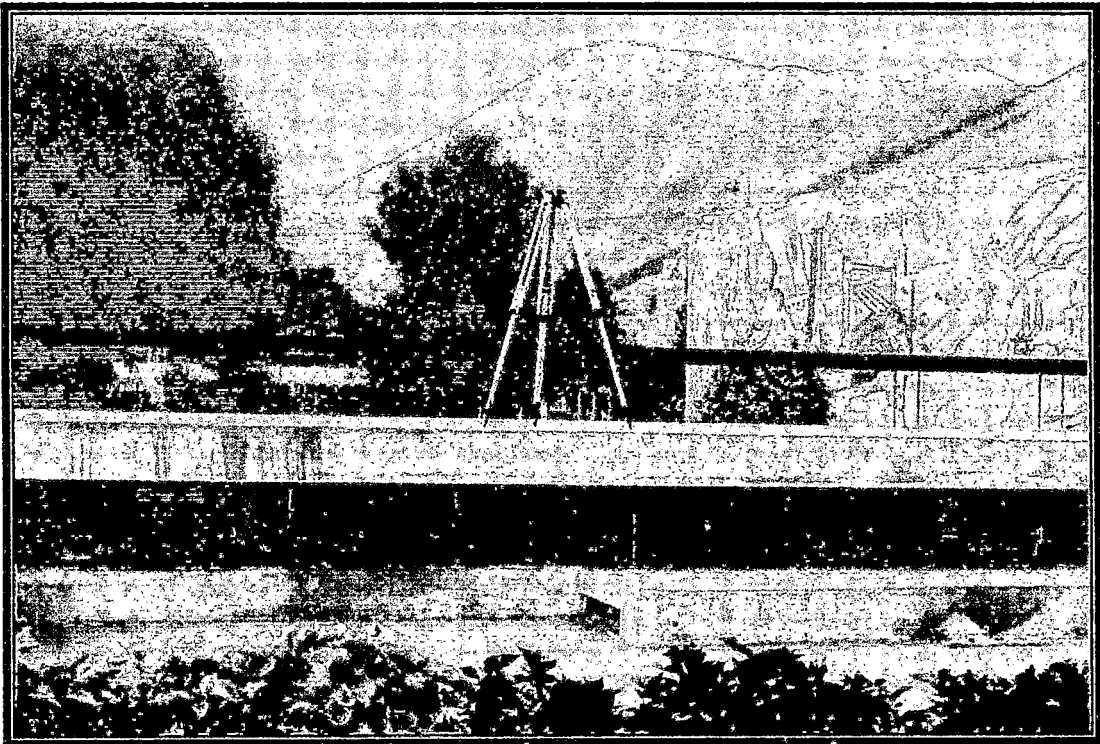
Yendo por la pista que separa la facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Civil. Ingresar a pie a la FIGMM y subir por una rampa que se encuentra entre el pabellón de Metalurgia y los Jardines del Decanato de Minas. El punto MINAS-2 está representado mediante una placa de bronce donde se puede leer fácilmente: ING. RALFO Y BARRETO F.I.C. Se encuentra a 0.83 mts. del borde mas cercano de la vereda.



Revision 1 :

PUNTO : MINA-2  
FOTOGRAFÍA

En la fotografia se encuentra debajo del trípode



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

IDENTIFICACION :

## QUIMI-1

COORDENADAS DEL PUNTO

TECNICA DE MEDICIÓN :

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

Coordenadas PSAD 56 : Geográficas

Lat. 12° 01' 10.2254" W

Lon. 77° 2' 40.7861" S

Coordenadas PSAD 56 : Proy. UTM (18)

N 8 670 446.6139 m.

E 277 383.5429m m.

ZONA 18

Coordenadas WGS 84 : Geográficas

Lat. 12° 01' 22.59964" S

Lon. 77° 02' 48.58027" W

Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)

N 8 670 079.837 m.

E 277 159.464 m.

ZONA 18

Altura Elipsoidal  
WGS84):

138.247 m.

Fecha :

**ENERO 2002**

Determinado Por :

PABLO BARRETO RUIZ

Altura ortométrica

114.227 m.

ONDULACIÓN :

(Aproximada)

24.020 m.

**AYUDANTES:**

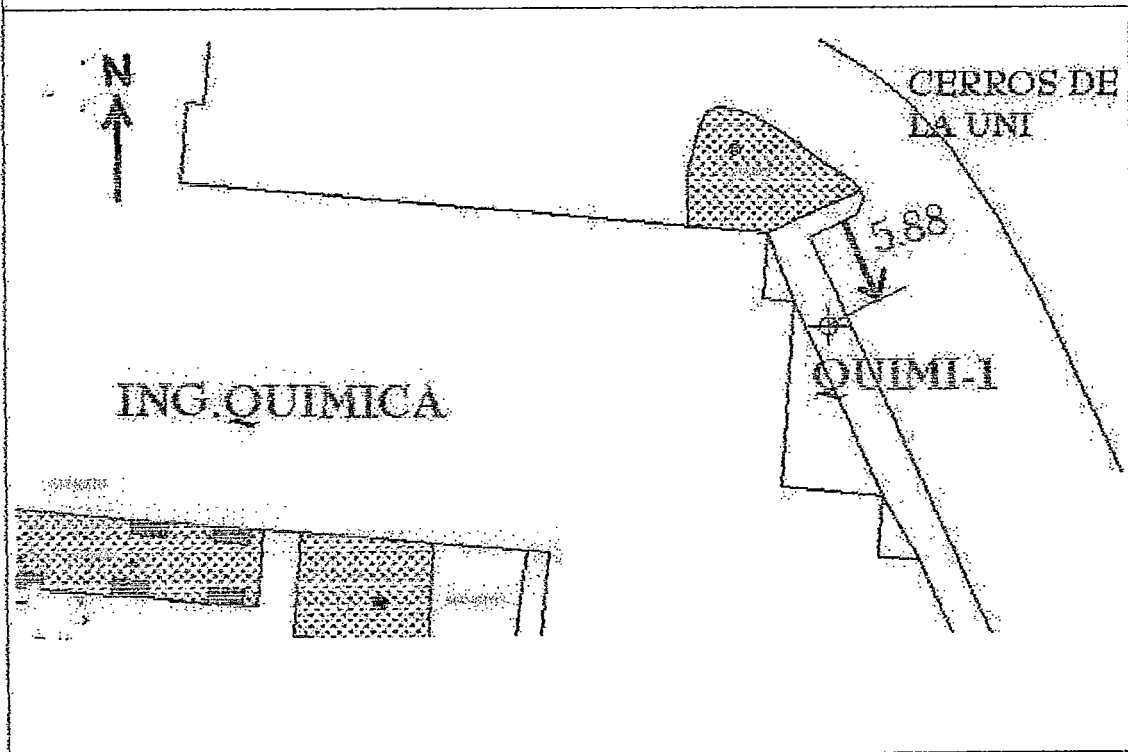
VIVANCO VASQUEZ, JUAN CARLOS

RODRIGUEZ CEVALLOS, CRISTIAN

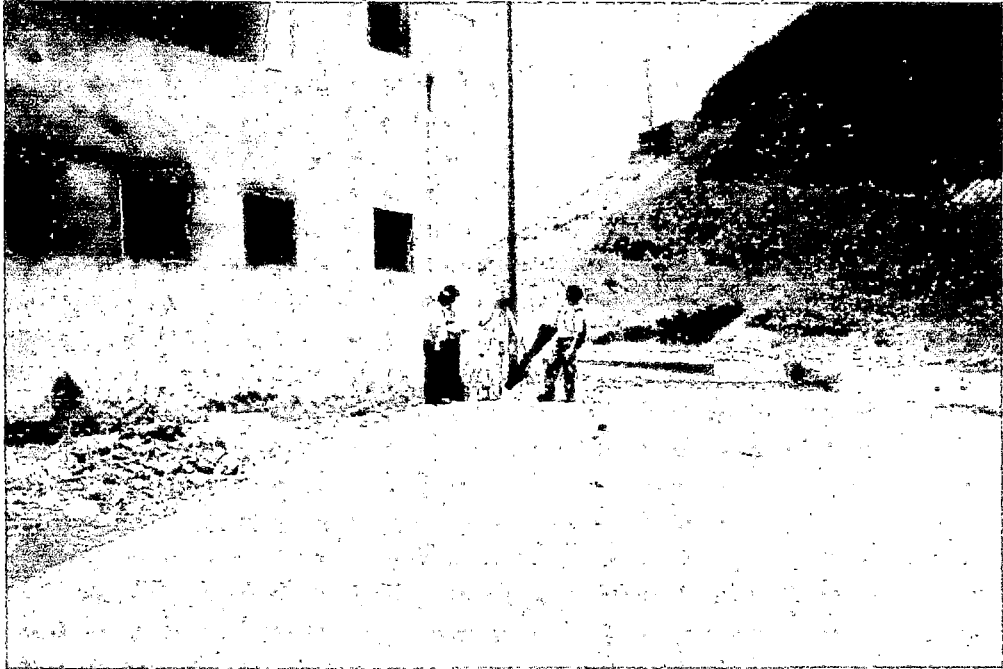
CAUTI AGREDA, RAUL

**ITINERARIO :**

ESTE PUNTO SE ENCUENTRA SOBRE LA VEREDA QUE ESTÁ ENTRE EL PABELLÓN DE ING. QUÍMICA Y LOS CERROS DE LA UNI. ES UNA PLACA METÁLICA CUYA UBICACIÓN REFERENCIA ESTÁ INDICADO EN EL CROQUIS.



PUNTO : QUIMI-1  
FOTOGRAFÍA  
(la flecha roja indica donde se encuentra el punto)



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

IDENTIFICACION :

## SISTEM-1

COORDENADAS DEL PUNTO

TECNICA DE MEDICIÓN :

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

Coordenadas PSAD 56 : Geográficas  
 Lat. 12° 00' 42.0723" S  
 Lon. 77° 02' 55.9740" W

Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)  
 N 8 671 308.4692 m.  
 E 276 917.5813 m.  
 ZONA 18

Coordenadas WGS 84 : Geográficas  
 Lat. 12° 00' 54.44583" S  
 Lon. 77° 03' 03.76871" W

Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)  
 N 8 670 941.6996 m.  
 E 276 693.5024 m.  
 ZONA 18

Altura Elipsoidal :  
**123.751**

Fecha :  
**AGOSTO 2002**

Determinado Por :  
**PABLO BARRETO RUIZ**

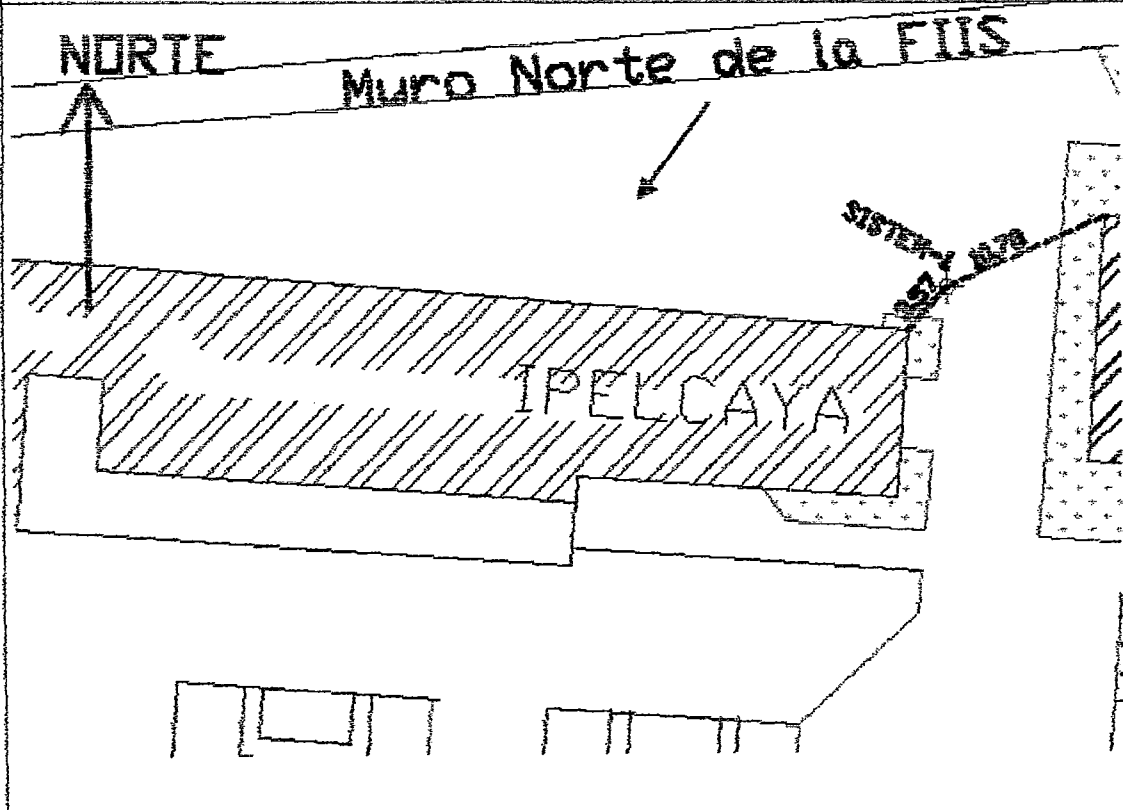
Altura ortométrica  
 99.816 m.

ONDULACIÓN :  
 23.933 m.

**AYUDANTES:**  
 NÚÑEZ VILELA, LUIS  
 CCORISE CCAPATINTA, RÓMULO  
 VARGAS HILARIO, CARLOS

**ITINERARIO :**

Este punto está representado por una placa de bronce de 2" de diámetro. Se encuentra en la FIIS, detrás del Instituto IPECALYA, cercano a la pared Norte de dicha facultad. Se encuentra a 3.57 mts de la esquina NorOeste de IPECALYA Y a 10.78 de la esquina norEste de una edificación vecina como se muestra en la figura.



Revision 1 :

PUNTO : SISTEM-1  
FOTOGRAFÍA

El punto está sobre un registro de bronce .La foto está tomada de Norte a Sur.  
La flecha indica la posición del punto. A la derecha se observa el Instituto IPECALYA.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**IDENTIFICACION :**

## SISTEM-2

**COORDENADAS DEL PUNTO**

**TECNICA DE MEDICIÓN :**

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

**Coordenadas PSAD 56 : Geográficas**  
 Lat. 12° 00' 46.5940" S  
 Lon. 77° 02' 50.4449" W

**Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)**  
 N 8 671 170.7396 m.  
 E 277 085.9048 m.  
 ZONA 18

**Coordenadas WGS 84 : Geográficas**  
 Lat. 12° 00' 58.96775" S  
 Lon. 77° 02' 58.23939" W

**Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)**  
 N 8670803.9685 m.  
 E 276861.8260 m.  
 ZONA 18

**Altura Elipsoidal :**  
 126.088

**Fecha :**  
 AGOSTO 2002

**Determinado Por :**  
 PABLO BARRETO RUIZ

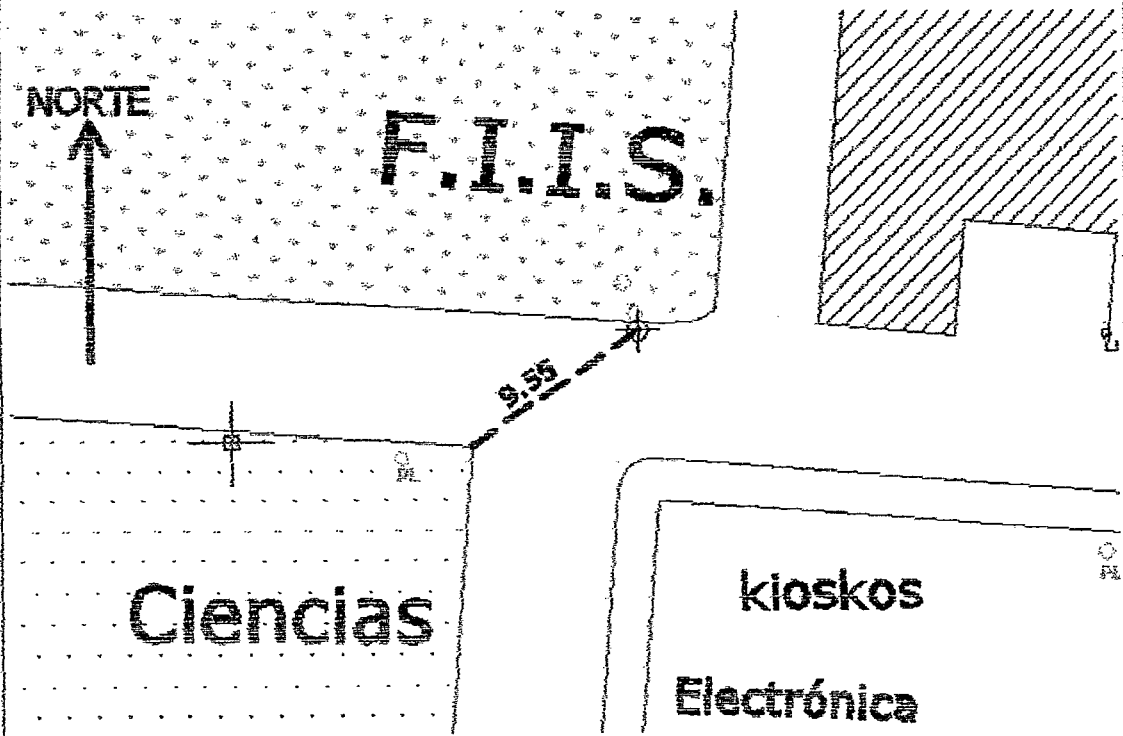
**Altura ortométrica**  
 102.112

**ONDULACIÓN :**  
 23.976

**AYUDANTES:**

**ITINERARIO :**

Este punto está representado por una placa de bronce de 2" de diámetro que se encuentra al sur de la FIIS. Esta sobre la pista que separa las facultades de Sistemas y Electrónica. Se encuentra a 9.55 mts. del vértice NorOeste de los jardines de la facultad de Ciencias y a 0.43 mts. del borde de la pista.



Revision 1 :

PUNTO : SISTEM-2  
FOTOGRAFÍA

EL PUNTO ES UNA PLACA DE BRONCE QUE SE ENCUENTRA DEBAJO DEL TRÍPODE.  
LA FOTO HA SIDO TOMADO DE SUR A NORTE.





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**IDENTIFICACION :**

## TEATRO-1

**COORDENADAS DEL PUNTO**

TECNICA DE MEDICIÓN :

**GPS ESTATICA DIFERENCIAL**

12° 01' 10.6252"

**Coordenadas PSAD 56 : Geográficas**  
**Lat. 12° 01' 10.6252" S**  
**Lon. 77° 02' 47.8075" W**

**Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)**  
**N 8 670 432.7458 m.**  
**E 277 171.1978 m.**  
**ZONA 18**

**Coordenadas WGS 84 : Geográficas**  
**Lat. 12° 01' 22.99937" S**  
**Lon. 77° 02' 55.60208" W**

**Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)**  
**N 8 670 065.9696 m.**  
**E 276 947.1191 m.**  
**ZONA 18**

**Altura Elipsoidal :**  
**136.724 m.**

**Fecha :**  
**ENERO 2002**

**Determinado Por :**  
**PABLO BARRETO RUIZ**

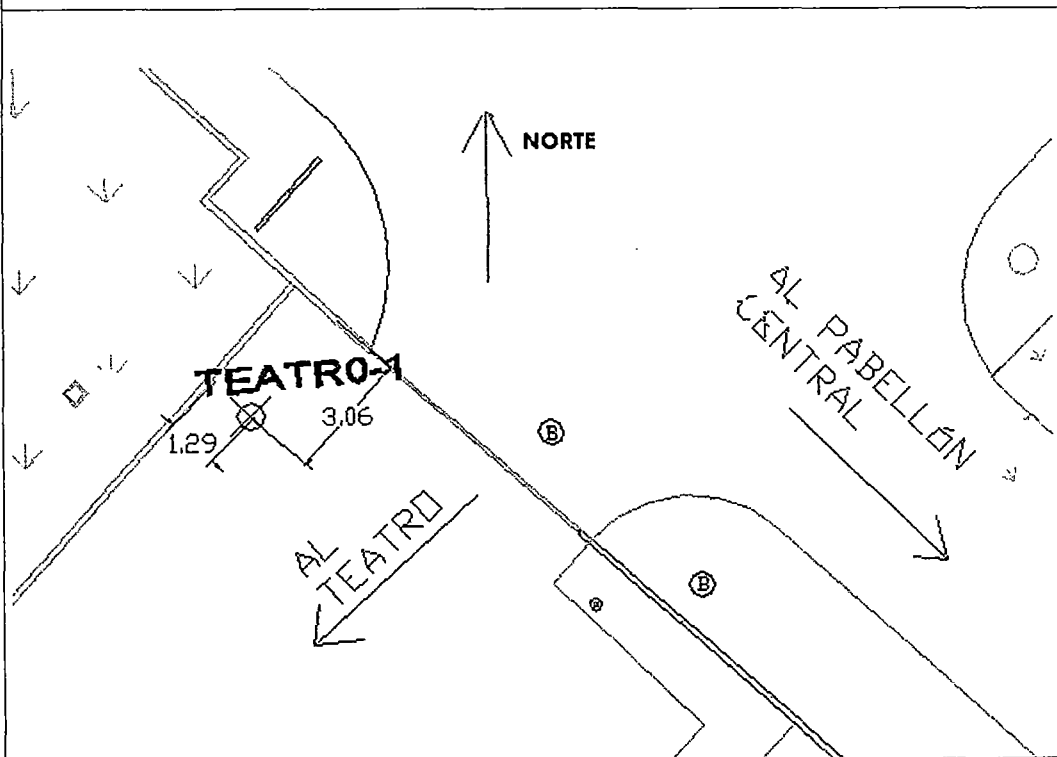
**Altura ortométrica**  
  
**112.655 m.**

**ONDULACIÓN :**  
  
**24.069 m.**

**AYUDANTES:**  
**QUILLAS QUISPE, JORGE**  
**PEREZ ENRIQUEZ**  
**PALACIOS BANDAN**

**ITINERARIO :**

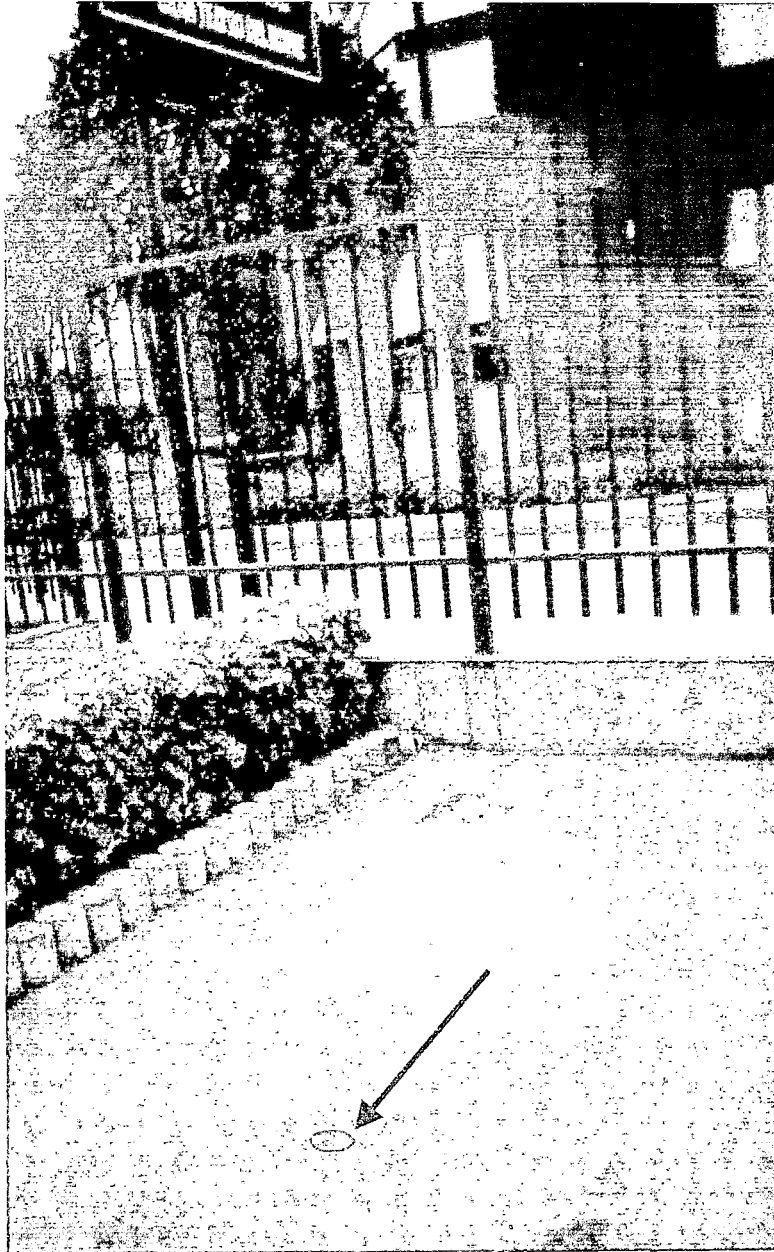
ENCONTRÁNDOSE DENTRO DE LA UNI Y ENTRANDO POR LA PUERTA DE INGRESO A LAS INSTALACIONES DEL TEATRO UNI, HACIA LA IZQUIERDA SE ENCUENTRA EL PUNTO EN MENCIÓN. A 3.06 mts. DEL CERCO QUE RODEA AL TEATRO Y A 1.29 mts. DEL JARDÍN DE LAS INSTALACIONES DEL TEATRO. AL FRENTE ESTÁ LA FACULTAD DE ING. AMBIENTAL.



Revision 1 :

PUNTO : TEATRO-1  
FOTOGRAFÍA

El punto está sobre una placa de bronce. Al fondo se observa el pabellón de ingeniería ambiental.  
En la fotografía se indica su posición mediante una flecha.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

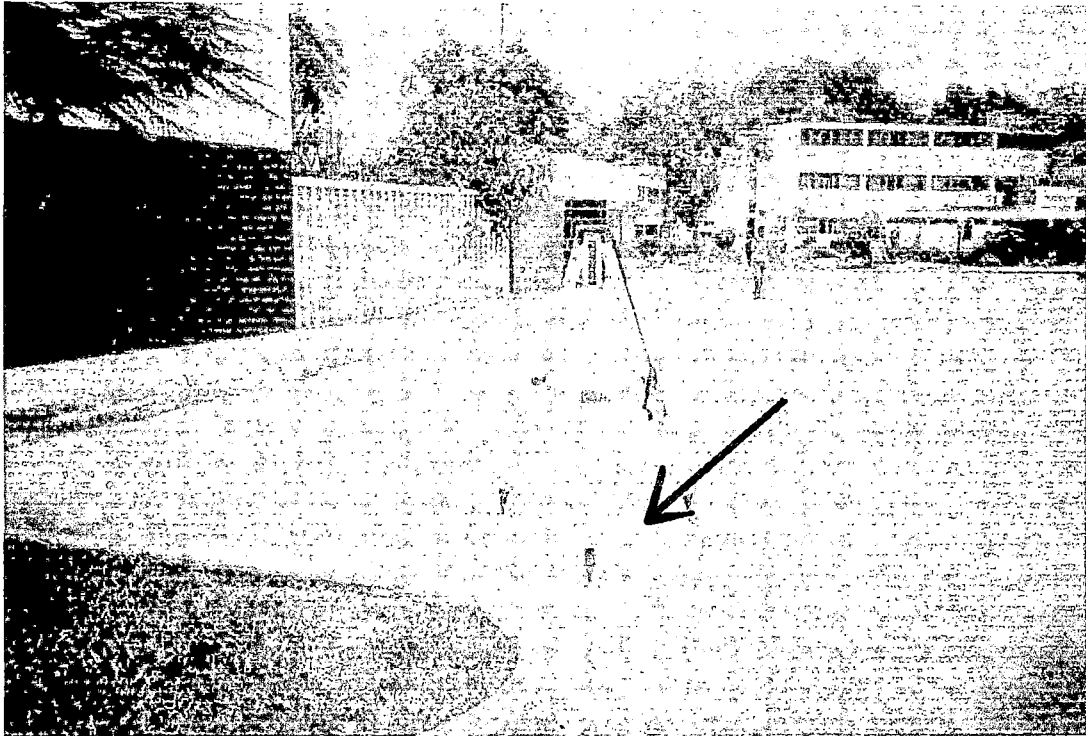
<b>IDENTIFICACION :</b>		<b>COORDENADAS DEL PUNTO</b>
<b>TOPO-1</b>		TECNICA DE MEDICIÓN : <b>GPS ESTATICA DIFERENCIAL</b>
<b>Coordenadas PSAD 56 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 0.5466" S Lon. 77° 02' 47.0539" W		<b>Coordenadas PSA 56 : Proy. UTM (18)</b> N 8 670 742.676 m. E 277 191.693 m. ZONA 18
<b>Coordenadas WGS 84 : Geográficas</b> Lat. 12° 01' 12.92063" S Lon. 77° 02' 54.84836" W		<b>Coordenadas WGS 84 : Proy. UTM (18)</b> N 8 670 375.902 m. E 276 967.614 m. ZONA 18
<b>Altura Elipsoidal :</b> 132.777 m.	<b>Fecha :</b> ENERO 2002	<b>Determinado Por :</b> PABLO BARRETO RUIZ
<b>Altura ortométrica</b>  108.685 m.	<b>ONDULACIÓN :</b>  24.092 m.	<b>AYUDANTES:</b> QUILLAS QUISPE, JORGE PEREZ ENRIQUEZ PALACIOS BANDAN

**ITINERARIO :**  
Es una placa de bronce sobre una playa de estacionamiento. Se encuentra frente de la esquina sur-este del gabinete de topografía, desde donde hay 7.25 mts. de distancia. Observar el croquis.



Revisión 1 :

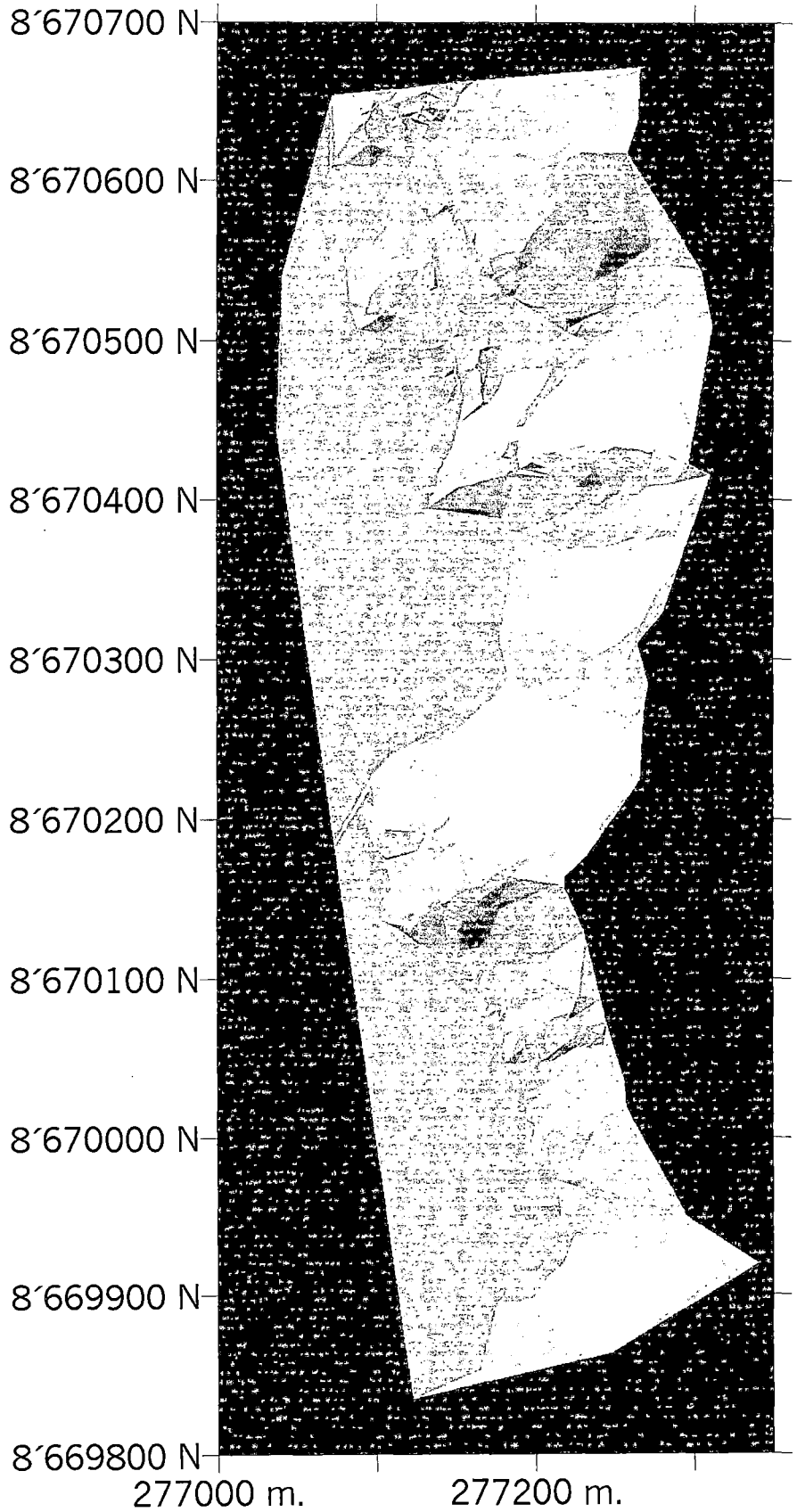
PUNTO : TOPO-1  
FOTOGRAFÍA



## **ANEXO 2**

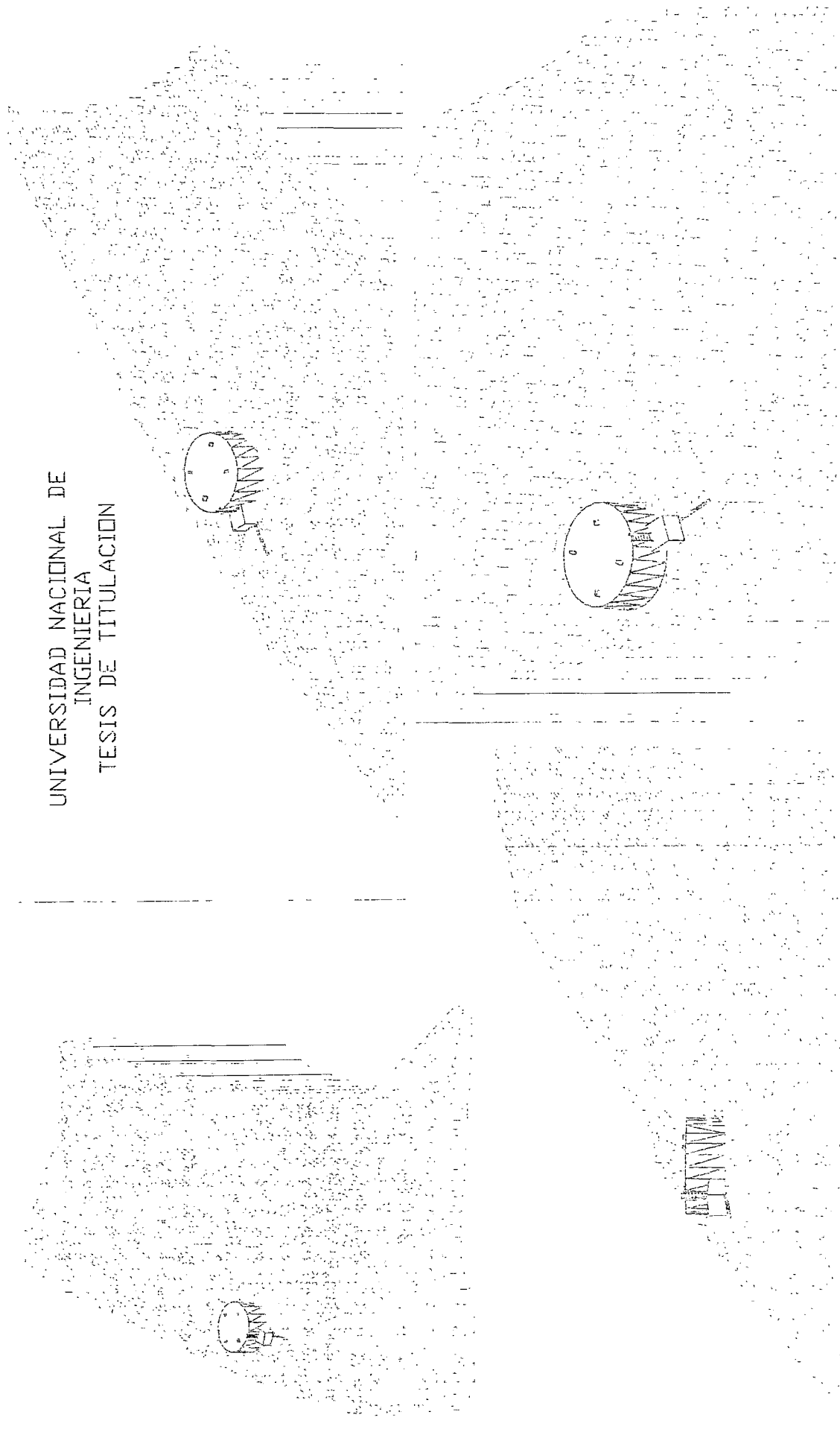
### **VISUALIZACIÓN EN 3D**

**SIMULACIÓN DE VISTA AÉREA, CERROS DE LA UNI**

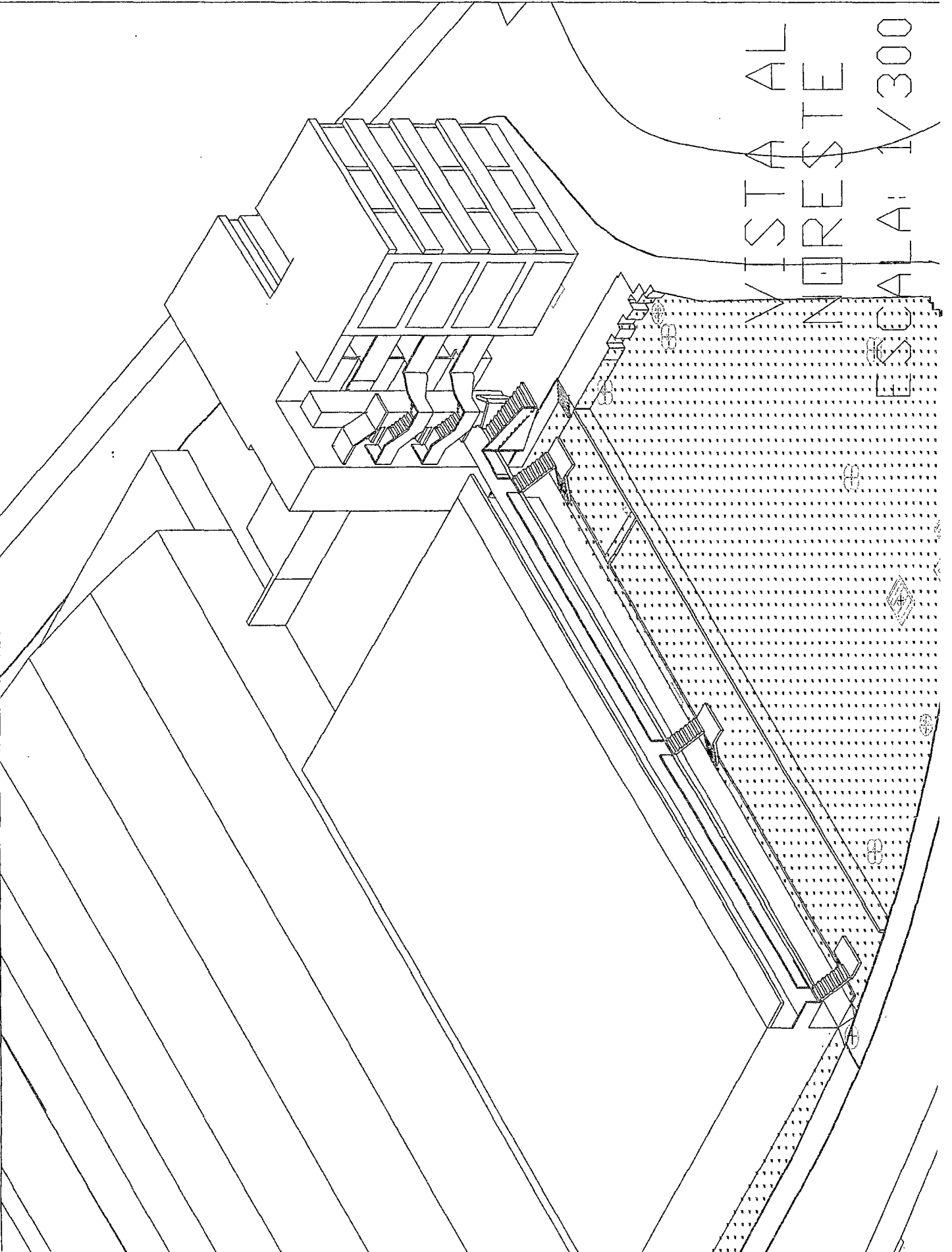


ESCALA 0 50 100 150 200

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
INGENIERIA  
TESIS DE TITULACION



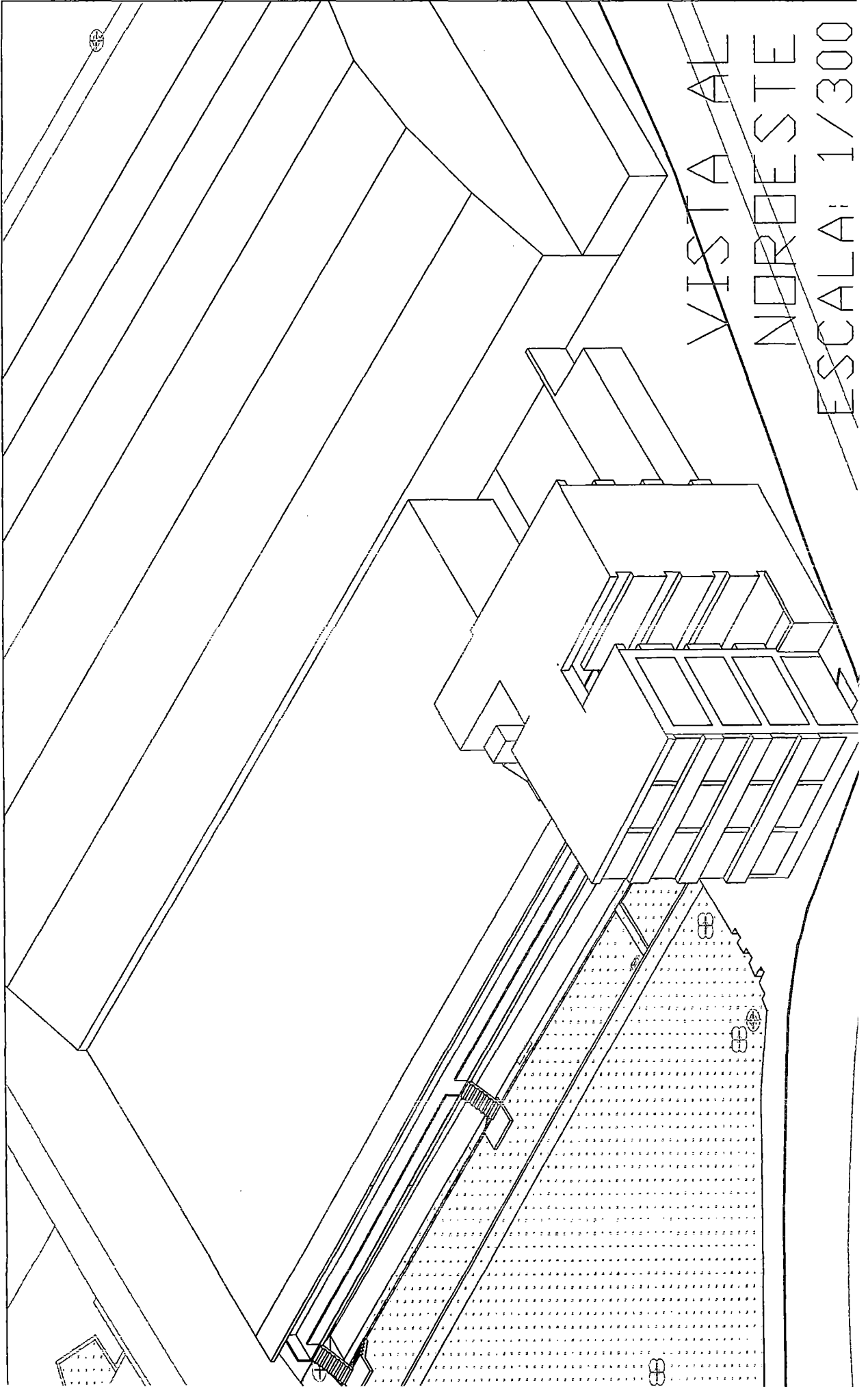
PLANO DEL TANQUE EN 3D  
ZONA DEL CERRO ARRASTRE

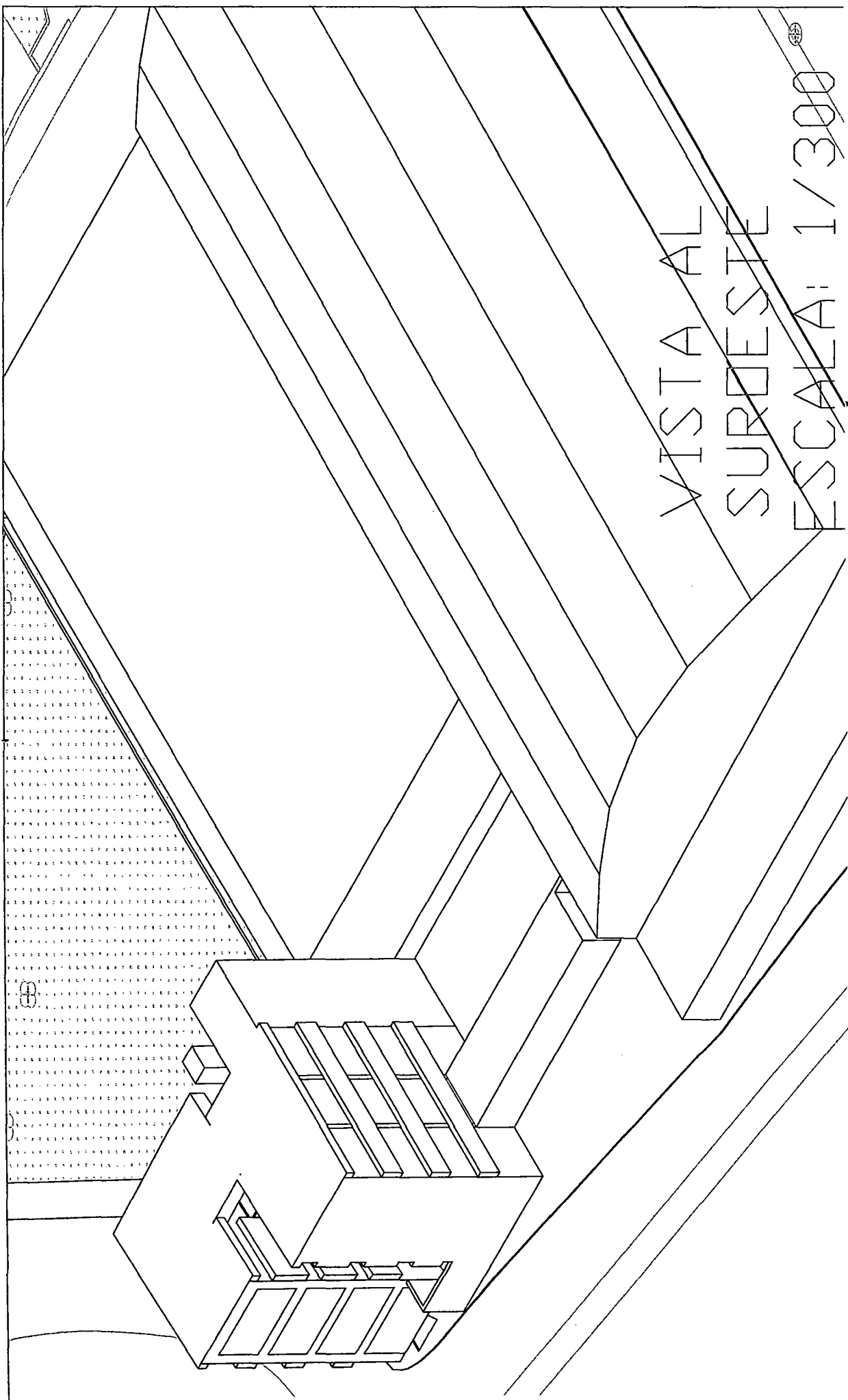


VISTA AL  
NORESTE  
SCALA: 1/300



VISTA AL  
NORDESTE  
ESCALA: 1/300





VISTA AL  
SURDESTE  
ESCALA: 1/300



## ANEXO 3

LISTADOS EN JAVA DE LA  
TRIANGULACIÓN DELAUNAY

Los listados de los programas mostrados en el Capítulo 6, tiene que ver directamente con los cálculos Topográficos o Geodésicos. Se ha preferido no incluir el listado de la triangulación Delaunay dentro de la tesis, sino en el presente anexo, debido a que muchas de sus rutinas no tienen que ver directamente con la elaboración del Modelo digital del terreno, sino con la presentación del programa en la Web. Pero también se decidió incluir el listado debido a la casi nula información que se tiene en el medio sobre la elaboración del modelo digital del terreno T.I.N. , entonces se incluye este listado como medio de consulta para futuras investigaciones.

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.0 Transitional//EN">
<!-- saved from
url=(0065)http://goanna.cs.rmit.edu.au/~gl/classes/TriangulationApplet.
java -->
<HTML><HEAD>
<META content="text/html; charset=windows-1252" http-equiv=Content-
Type>
<META content="MSHTML 5.00.2314.1000" name=GENERATOR></HEAD>
      <BODY><XMP>/*
* Este es un applet sobre la triangulación delaunay
*
*
*
* Autor: Geoff Leach.  gl@cs.rmit.edu.au
* Fecha de elaboración: 29/3/96
* Revisado por Pablo Barreto para la tesis en mención
* Autorizada la copia y el uso, siempre que se indique el origen
*
*
* Este applet es de uso educativo y:
*
* (a) Ilustra la importancia de la complejidad en el cálculo.
* Muestra tres algoritmos de triangulación delaunay de acuerdo
* a la complejidad del cómputo en  $O(n^2)$ ,  $O(n^3)$  y  $O(n^4)$ .
* El usuario puede ver simultáneamente la ejecución
* de los tres algoritmos.
*
* (b) Muestra la triangulación que se está efectuando así como
* el diagrama Voronoi respectivo, para cada tipo algoritmo de
* de triangulación Delaunay.
*
*
*
*/
```

```

* (c) Provee comentarios útiles que indican que hace cada
* rutina. Util para los principiantes de JAVA. Las rutinas mas
* importantes estan en castellano, las secundarias se han dejado
* en ingles ya que muchos comentarios tienen que ver directamente
* con el nombre de las variables y de las clases.
*
* El código puede ser mejorado ...
*
*/

```

```

import java.applet.*;
import java.awt.*;
import java.lang.Math;
import java.io.PrintStream;

```

```

/*
 *
 */

```

```

class Panic {
    static public void panic(String m) {
        System.err.println(m);
        System.exit(1);
    }
}

```

```

/*
 * clase envolvente.
 * Wrapper class for basic int type for pass by reference
 */

```

```

class Int {
    int i;

    public void Int() {
        i = 0;
    }

    public void Int(int i) {
        this.i = i;
    }

    public void setValue(int i) {
        this.i = i;
    }

    public int getValue() {
        return i;
    }
}

```

```

/*
 * Point class.
 */

```

```

class RealPoint {
    float x, y;

    RealPoint() { x = y = 0.0f; }
    RealPoint(float x, float y) { this.x = x; this.y = y; }
    RealPoint(RealPoint p) { x = p.x; y = p.y; }
    public float x() { return this.x; }
    public float y() { return this.y; }
    public void set(float x, float y) { this.x = x; this.y = y; }
}

```

```

public float distance(RealPoint p) {
    float dx, dy;

    dx = p.x - x;
    dy = p.y - y;
    return (float)Math.sqrt((double)(dx * dx + dy * dy));
}

public float distanceSq(RealPoint p) {
    float dx, dy;

    dx = p.x - x;
    dy = p.y - y;
    return (float)(dx * dx + dy * dy);
}
}

/*
 * Edge class. Edges (lados) tienen two vertices, s and t, y dos caras,
 * l (izquierda) and r (derecha). La representacion triangular y
 * el algoritmo de delaunay requiere de Lados.
 */
class Edge {
    int s, t;
    int l, r;

    Edge() { s = t = 0; }
    Edge(int s, int t) { this.s = s; this.t = t; }
    int s() { return this.s; }
    int t() { return this.t; }
    int l() { return this.l; }
    int r() { return this.r; }
}

/*
 * Vector class. Operaciones elementales del vector.
 */
class Vector {
    float u, v;

    Vector() { u = v = 0.0f; }
    Vector(RealPoint p1, RealPoint p2) {
        u = p2.x() - p1.x();
        v = p2.y() - p1.y();
    }
    Vector(float u, float v) { this.u = u; this.v = v; }

    float dotProduct(Vector v) { return u * v.u + this.v * v.v; }

    static float dotProduct(RealPoint p1, RealPoint p2, RealPoint p3) {
        float u1, v1, u2, v2;

        u1 = p2.x() - p1.x();
        v1 = p2.y() - p1.y();
        u2 = p3.x() - p1.x();
        v2 = p3.y() - p1.y();

        return u1 * u2 + v1 * v2;
    }

    float crossProduct(Vector v) { return u * v.v - this.v * v.u; }
}

```

```

static float crossProduct(RealPoint p1, RealPoint p2, RealPoint p3) {
    float u1, v1, u2, v2;

    u1 = p2.x() - p1.x();
    v1 = p2.y() - p1.y();
    u2 = p3.x() - p1.x();
    v2 = p3.y() - p1.y();

    return u1 * v2 - v1 * u2;
}

void setRealPoints(RealPoint p1, RealPoint p2) {
    u = p2.x() - p1.x();
    v = p2.y() - p1.y();
}
}

/*
 * Circle class. Circulos son fundamentales para el cálculo de la
 * triangulacion. En particular, cuando los círculos son definidos
 * por tres puntos.
 */
class Circle {
    RealPoint c;
    float r;

    Circle() { c = new RealPoint(); r = 0.0f; }
    Circle(RealPoint c, float r) { this.c = c; this.r = r; }
    public RealPoint center() { return c; }
    public float radius() { return r; }
    public void set(RealPoint c, float r) { this.c = c; this.r = r; }

    /*
     * Verifica si el punto se encuentra dentro del círculo.
     */
    public boolean inside(RealPoint p) {
        if (c.distanceSq(p) < r * r)
            return true;
        else
            return false;
    }

    /*
     * Calcula el círculo definido por tres puntos (circumcircle).
     */
    public void circumCircle(RealPoint p1, RealPoint p2, RealPoint p3) {
        float cp;

        cp = Vector.crossProduct(p1, p2, p3);
        if (cp != 0.0)
        {
            float p1Sq, p2Sq, p3Sq;
            float num, den;
            float cx, cy;

            p1Sq = p1.x() * p1.x() + p1.y() * p1.y();
            p2Sq = p2.x() * p2.x() + p2.y() * p2.y();
            p3Sq = p3.x() * p3.x() + p3.y() * p3.y();
            num = p1Sq*(p2.y() - p3.y()) + p2Sq*(p3.y() - p1.y()) +
p3Sq*(p1.y() - p2.y());
            cx = num / (2.0f * cp);

```

```

        num = p1Sq*(p3.x() - p2.x()) + p2Sq*(p1.x() - p3.x()) +
p3Sq*(p2.x() - p1.x());
        cy = num / (2.0f * cp);

        c.set(cx, cy);
    }

    // Radius
    r = c.distance(p1);
}

/*
 * Triangulation class. La triangulación es representada como un conjunto
de
 * puntos y los caras que forman la triangulación.
 */
class Triangulation {
    static final int Undefined = -1;
    static final int Universe = 0;
    int nPoints;
    RealPoint point[];
    int nEdges;
    int maxEdges;
    Edge edge[];

    Triangulation(int nPoints) {

        // Allocate points.
        this.nPoints = nPoints;
        this.point = new RealPoint[nPoints];
        for (int i = 0; i < nPoints; i++)
            point[i] = new RealPoint();

        // Allocate edges.
        maxEdges = 3 * nPoints - 6; // Max number of edges.
        edge = new Edge[maxEdges];
        for (int i = 0; i < maxEdges; i++)
            edge[i] = new Edge();
        nEdges = 0;
    }

    /*
     * Coloca el número de puntos en la triangulación.
     */
    public void setNPoints(int nPoints) {
        // Fix edge array.
        Edge tmpEdge[] = edge;
        int tmpMaxEdges = maxEdges;
        maxEdges = 3 * nPoints - 6; // Max number of edges.
        edge = new Edge[maxEdges];

        // Which is smaller?
        int minMaxEdges;
        if (tmpMaxEdges < maxEdges)
            minMaxEdges = tmpMaxEdges;
        else
            minMaxEdges = maxEdges;

        // Reuse allocated edges.
        for (int i = 0; i < minMaxEdges; i++)

```



```

        this.edge[i] = tmpEdge[i];

// Get new edges.
for (int i = minMaxEdges; i < maxEdges; i++)
    this.edge[i] = new Edge();

// Fix point array.
RealPoint tmpPoint[] = point;
point = new RealPoint[nPoints];

// Which is smaller?
int minPoints;
if (nPoints < this.nPoints)
    minPoints = nPoints;
else
    minPoints = this.nPoints;

// Reuse allocated points.
for (int i = 0; i < minPoints; i++)
    this.point[i] = tmpPoint[i];

// Get new points.
for (int i = minPoints; i < nPoints; i++)
    this.point[i] = new RealPoint();

this.nPoints = nPoints;
}

/*
 * Genera un punto de conjuntos aleatorios.
 */
public void randomPoints(RealWindow w) {
    for (int i = 0; i < nPoints; i++)
    {
        point[i].x = (float)Math.random() * w.xMax();
        point[i].y = (float)Math.random() * w.yMax();
    }
    nEdges = 0;
}

/*
 * Copia un conjunto de puntos.
 */
public void copyPoints(Triangulation t) {
    int n;

    if (t.nPoints < nPoints)
        n = t.nPoints;
    else
        n = nPoints;

    for (int i = 0; i < n; i++) {
        point[i].x = t.point[i].x;
        point[i].y = t.point[i].y;
    }

    nEdges = 0;
}

void addTriangle(int s, int t, int u) {
    addEdge(s, t);
    addEdge(t, u);
}

```

```

    addEdge(u, s);
}

public int addEdge(int s, int t) {
    return addEdge(s, t, Undefined, Undefined);
}

/*
 * Adiciona un lado a la triangulación.
 */
public int addEdge(int s, int t, int l, int r) {
    int e;

    // Add edge if not already in the triangulation.
    e = findEdge(s, t);
    if (e == Undefined)
        if (s < t)
            {
                edge[nEdges].s = s;
                edge[nEdges].t = t;
                edge[nEdges].l = l;
                edge[nEdges].r = r;
                return nEdges++;
            }
        else
            {
                edge[nEdges].s = t;
                edge[nEdges].t = s;
                edge[nEdges].l = r;
                edge[nEdges].r = l;
                return nEdges++;
            }
        else
            return Undefined;
}

public int findEdge(int s, int t) {
    boolean edgeExists = false;
    int i;

    for (i = 0; i < nEdges; i++)
        if (edge[i].s == s && edge[i].t == t ||
            edge[i].s == t && edge[i].t == s) {
            edgeExists = true;
            break;
        }

    if (edgeExists)
        return i;
    else
        return Undefined;
}

/*
 * Actualiza la cara izquierda de un lado
 */
public void updateLeftFace(int eI, int s, int t, int f) {
    if (!((edge[eI].s == s && edge[eI].t == t) ||
        (edge[eI].s == t && edge[eI].t == s)))
        Panic.panic("updateLeftFace: adj. matrix and edge table
mismatch");
}

```

```

    if (edge[eI].s == s && edge[eI].l == Triangulation.Undefined)
        edge[eI].l = f;
    else if (edge[eI].t == s && edge[eI].r == Triangulation.Undefined)
        edge[eI].r = f;
    else
        Panic.panic("updateLeftFace: attempt to overwrite edge info");
}

public void draw(RealWindowGraphics rWG, Color pC, Color eC) {
    drawPoints(rWG, pC);
    drawEdges(rWG, eC);
}

public void drawPoints(RealWindowGraphics rWG, Color c) {
    for (int i = 0; i < nPoints; i++)
        rWG.drawPoint(point[i], c);
}

public void drawEdges(RealWindowGraphics rWG, Color c) {
    for (int i = 0; i < nEdges; i++)
        drawEdge(rWG, edge[i], c);
}

public void drawEdge(RealWindowGraphics rWG, Edge e, Color c) {
    rWG.drawLine(point[e.s], point[e.t], c);
}

public void print(PrintStream p) {
    printPoints(p);
    printEdges(p);
}

public void printPoints(PrintStream p) {
    for (int i = 0; i < nPoints; i++)
        p.println(String.valueOf(point[i].x) + " " +
String.valueOf(point[i].y));
}

public void printEdges(PrintStream p) {
    for (int i = 0; i < nEdges; i++)
        p.println(String.valueOf(edge[i].s) + " " +
String.valueOf(edge[i].t));
}
}

/*
 * Rectangle class. Rectángulos necesarios para mostrar los gráficos.
 */
class RealRectangle {
    RealPoint ll;
    RealPoint ur;

    RealRectangle() { }

    RealRectangle (RealRectangle r) {
        this.ll = new RealPoint(r.ll);
        this.ur = new RealPoint(r.ur);
    }

    RealRectangle (RealPoint ll, RealPoint ur) {
        this.ll = new RealPoint(ll);
        this.ur = new RealPoint(ur);
    }
}

```

```

}

RealRectangle(float xMin, float yMin, float xMax, float yMax) {
    this.ll = new RealPoint(xMin, yMin);
    this.ur = new RealPoint(xMax, yMax);
}

public float width() { return ur.x() - ll.x(); }
public float height() { return ur.y() - ll.y(); }

public RealPoint ll() { return ll; }
public RealPoint ur() { return ur; }

public float xMin() { return ll.x; }
public float yMin() { return ll.y; }

public float xMax() { return ur.x; }
public float yMax() { return ur.y; }
}

/*
 * La ventana es un rectángulo.
 */
class RealWindow extends RealRectangle {
    RealWindow() {}
    RealWindow(float xMin, float yMin, float xMax, float yMax) {
        super(xMin, yMin, xMax, yMax);
    }
    RealWindow(RealWindow w) { super(w.ll(), w.ur()); }
}

/*
 * RealWindowGraphics class. La ventana donde se muestran
 * los gráficos. Esta ventana no tienen que ver con el
 * método delaunay , sino con la presentación de los resultados.
 *
 */
class RealWindowGraphics {
    RealWindow w = null; // window
    Dimension v = null; // viewport
    Graphics g = null;
    float scale = 1.0f;

    static final float realPointRadius = 0.04f;
    static final int pixelPointRadius = 4;
    static final int halfPixelPointRadius = 2;

    RealWindowGraphics(RealWindow w) {
        this.w = new RealWindow(w);
    }

    RealWindowGraphics(RealWindow w, Dimension d, Graphics g) {
        this.w = new RealWindow(w);
        this.v = new Dimension(d.width, d.height);
        this.g = g;
        calculateScale();
    }

    public void setWindow(RealWindow w) {
        this.w = new RealWindow(w);
        calculateScale();
    }
}

```

```

}

public void setViewport(Dimension d) {
    this.v = new Dimension(d.width, d.height);
    calculateScale();
}

public void setGraphics(Graphics g) {
    this.g = g;
}

public Graphics getGraphics(Graphics g) {
    return g;
}

public void calculateScale() {
    float sx, sy;

    sx = v.width / w.width();
    sy = v.height / w.height();

    if (sx < sy)
        scale = sx;
    else
        scale = sy;
}

public void drawTriangle(RealPoint p1,
                        RealPoint p2,
                        RealPoint p3,
                        Color c) {
    drawLine(p1, p2, c);
    drawLine(p2, p3, c);
    drawLine(p3, p1, c);
}

public void drawLine(RealPoint p1, RealPoint p2, Color c) {
    int x1, y1, x2, y2;

    g.setColor(c);
    x1 = (int)(p1.x() * scale);
    y1 = (int)(p1.y() * scale);
    x2 = (int)(p2.x() * scale);
    y2 = (int)(p2.y() * scale);
    g.drawLine(x1, y1, x2, y2);
}

public void drawPoint(RealPoint p, Color c) {
    g.setColor(c);

    g.fillOval((int)(scale * p.x()) - halfPixelPointRadius,
              (int)(scale * p.y()) - halfPixelPointRadius,
              pixelPointRadius, pixelPointRadius);
}

public void drawCircle(Circle circle, Color c) {
    drawCircle(circle.center().x(), circle.center().y(),
circle.radius(), c);
}

public void drawCircle(RealPoint p, float r, Color c) {
    drawCircle(p.x(), p.y(), r, c);
}

```

```

    }

    public void drawCircle(float x, float y, float r, Color c) {
        g.setColor(c);

        g.drawOval((int)(scale * (x - r)), (int)(scale * (y - r)),
            (int)(2.0f * r * scale), (int)(2.0f * r * scale));
    }

    public void fillCircle(float x, float y, float r, Color c) {
        g.setColor(c);

        g.fillOval((int)(scale * (x - r)), (int)(scale * (y - r)),
            (int)(2.0f * r * scale), (int)(2.0f * r * scale));
    }
}

/*
 * AlgorithmUIHeading class. Provee una interface para
 * la presentación de los datos.
 */
class AlgorithmUIHeading extends Panel {

    public AlgorithmUIHeading() {
        // Headings.
        setLayout(new GridLayout(0,7));
        add(new Label("Algorithm", Label.LEFT));
        add(new Label("Run", Label.LEFT));
        add(new Label("Points", Label.LEFT));
        add(new Label("Triangles", Label.LEFT));
        add(new Label("Circles", Label.LEFT));
        add(new Label("Points", Label.LEFT));
        add(new Label("Pause (mS)", Label.LEFT));
    }
}

/*
 * TriangulationCanvas class. Cada uno de los algoritmos de la
 * triangulación necesita de un "lienzo" para mostrarlo.
 */
class TriangulationCanvas extends Canvas {
    Triangulation t;
    RealWindowGraphics rWG; // El dibujo actual.
    boolean needToClear = false;
    boolean newPoints = false;
    TriangulationAlgorithm alg; // El algoritmo que usa este lienzo.

    TriangulationCanvas(Triangulation t,
        RealWindow w,
        TriangulationAlgorithm alg) {
        this.t = t;
        rWG = new RealWindowGraphics(w);
        this.alg = alg;
    }

    public Insets insets() {
        return new Insets(2,10,2,15);
    }

    public void paint(Graphics g) {
        if (needToClear) {
            g.clearRect(0, 0, size().width, size().height);
        }
    }
}

```

```

        needToClear = false;
    }
    g.drawRect(0, 0, size().width-1, size().height-1);
    rWG.setGraphics(g);
    rWG.setViewport(size());
    alg.draw(rWG, t);
}

public void update(Graphics g) {
    paint(g);
}
}

/*
 * AlgorithmUI class. Each algorithm has a set of user interface
 * controls. This class provides them.
 */
class AlgorithmUI extends Panel {
    TextField nPointsTextField;
    Checkbox animateCheckBox[];
    Checkbox runCheckBox;
    TextField pauseTextField;
    TriangulationAlgorithm algorithm; // Algorithm which uses this UI.

    public AlgorithmUI(TriangulationAlgorithm algorithm,
        String label, int nPoints, int pause) {

        this.algorithm = algorithm;

        // One set of controls per algorithm.
        setLayout(new GridLayout(0,7));
        add(new Label(label, Label.LEFT));
        add(runCheckBox = new Checkbox(null, null, true));
        add(nPointsTextField = new TextField(String.valueOf(nPoints), 5));
        animateCheckBox = new Checkbox[AnimateControl.nEntities];
        animateCheckBox[AnimateControl.triangles] = new Checkbox(null,
null, true);
        animateCheckBox[AnimateControl.triangles];
        animateCheckBox[AnimateControl.circles] = new Checkbox(null, null,
true);
        animateCheckBox[AnimateControl.circles];
        animateCheckBox[AnimateControl.points] = new Checkbox(null, null,
true);
        add(animateCheckBox[AnimateControl.points]);
        pauseTextField = new TextField(String.valueOf(pause), 5);
        add(pauseTextField);
    }

    public void setAlgorithm(TriangulationAlgorithm algorithm) {
        this.algorithm = algorithm;
    }

    // Gets the current value in a text field.
    int getValue(TextField tF) {
        int i;
        try {
            i = Integer.valueOf(tF.getText()).intValue();
        } catch (java.lang.NumberFormatException e) {
            i = 0;
        }
        return i;
    }
}

```

```

    }

    public boolean handleEvent(Event evt) {
        if (evt.id == Event.ACTION_EVENT) {
            if (evt.target == runCheckBox) {

                algorithm.control().setRun(((Boolean)evt.arg).booleanValue());
                return true;
            } else if (evt.target ==
animateCheckBox[AnimateControl.triangles]) {
                algorithm.control().setAnimate(AnimateControl.triangles,
                ((Boolean)evt.arg).booleanValue());

                return true;
            } else if (evt.target ==
animateCheckBox[AnimateControl.circles]) {
                algorithm.control().setAnimate(AnimateControl.circles,
                ((Boolean)evt.arg).booleanValue());

                return true;
            } else if (evt.target ==
animateCheckBox[AnimateControl.points]) {
                algorithm.control().setAnimate(AnimateControl.points,
                ((Boolean)evt.arg).booleanValue());

                return true;
            } else if (evt.target == pauseTextField) {
                algorithm.control().setPause(getValue(pauseTextField));
                return true;
            } else if (evt.target == nPointsTextField) {
                algorithm.control().nPoints = getValue(nPointsTextField);
                return true;
            }
        }

        return false;
    }
}

```

```

/*
 * AnimateControl class. Cada algoritmo de animación tiene varias
entidades
 * que pueden ser mostradas. Esta clase servirá para indicar
 * que algoritmo de animación debe ser mostrada. Es manipulado por
AlgorithmUI y
 * accedido por las rutinas de animación en cada algoritmo.
 */

```

```

class AnimateControl {
    TriangulationAlgorithm triAlg;
    static final int automatic = 0;
    static final int manual = 1;
    int animateMode = automatic;
    int pause = 10;
    static final int algorithm = 0;
    static final int triangles = 1;
    static final int points = 2;
    static final int circles = 3;
    static final int nEntities = 4;
    boolean run;
    boolean animate[];
    int nPoints;

    AnimateControl(TriangulationAlgorithm algorithm) {
        triAlg = algorithm;
        animate = new boolean[nEntities];
    }
}

```



```

    for (int i = 0; i < nEntities; i++)
        animate[i] = true;
    run = true;
}

AnimateControl(TriangulationAlgorithm algorithm, int nPoints) {
    this(algorithm);
    this.nPoints = nPoints;
}

public void setAnimate(int entity, boolean v) {
    animate[entity] = v;
    if (!v)
        triAlg.canvas().needToClear = true;
}

public boolean animate(int entity) {
    return animate[entity];
}

public int mode() {
    return animateMode;
}

public void setManualAnimateMode() {
    animateMode = manual;
}

public void setAutomaticAnimateMode() {
    animateMode = automatic;
}

public int getPause() {
    return pause;
}

public void setPause(int p) {
    pause = p;
}

public int getNPoints() {
    return nPoints;
}

public void setNPoints(int n) {
    nPoints = n;
}

public void setRun(boolean v) {
    run = v;
}

public boolean getRun() {
    return run;
}
}

/*
 * TriangulationAlgorithm class. Abstract. Superclase para
 * los algoritmos actuales.
 *
 */

```

```

*/
abstract class TriangulationAlgorithm {
    String algName;
    TriangulationCanvas triCanvas;
    AnimateControl aniControl;
    AlgorithmUI algorithmUI;
    RealWindow w;
    RealWindowGraphics rWG;

    // Variables and constants for animation state.
    final int nStates = 5;
    boolean state[] = new boolean[nStates];
    static final int triangulationState = 0;
    static final int pointState = 1;
    static final int triangleState = 2;
    static final int insideState = 4;
    static final int edgeState = 5;

    public TriangulationAlgorithm(Triangulation t, RealWindow w,
        String name, int nPoints) {
        algName = name;
        aniControl = new AnimateControl(this, nPoints);
        algorithmUI = new AlgorithmUI(this, name, nPoints,
aniControl.getPause());
        triCanvas = new TriangulationCanvas(t, w, this);

        for (int s = 0; s < nStates; s++)
            state[s] = false;
        triCanvas.needToClear = true;
    }

    public void setCanvas(TriangulationCanvas tc) {
        triCanvas = tc;
    }

    public AnimateControl control() {
        return aniControl;
    }

    public AlgorithmUI algorithmUI() {
        return algorithmUI;
    }

    public TriangulationCanvas canvas() {
        return triCanvas;
    }

    public void setAlgorithmState(int stateVar, boolean value) {
        state[stateVar] = value;
    }

    public void pause() {
        if (aniControl.mode() == AnimateControl.automatic)
            try {
                wait(aniControl.getPause());
            } catch (InterruptedException e){}
        else
            try {wait();} catch (InterruptedException e){}
    }

    public void animate(int state) {
        if ((aniControl.animate(AnimateControl.triangles) ||

```

```

        aniControl.animate(AnimateControl.circles) &&
        state == triangulationState)
        triCanvas.needToClear = true;

        setAlgorithmState(state, true);

        triCanvas.repaint();

        pause();

        setAlgorithmState(state, false);
    }

    public void reset() {
        for (int s = 0; s < nStates; s++)
            state[s] = false;
        triCanvas.needToClear = true;
    }

    public synchronized void nextStep() { notify(); }
    abstract public synchronized void triangulate(Triangulation t);
    abstract public synchronized void
        draw(RealWindowGraphics rWG, Triangulation t);
}

/*
 * QuarticAlgorithm class. O(n^4) algorithm. El mas lento de
 * los algoritmos. La fuerza bruta.
 */
class QuarticAlgorithm extends TriangulationAlgorithm {
    int i, j, k, l;
    Circle c = new Circle();
    final static String algName = "O(n^4)";

    public QuarticAlgorithm(Triangulation t, RealWindow w, int nPoints) {
        super(t, w, algName, nPoints);
    }

    public void reset() {
        i = j = k = l = 0;
        super.reset();
    }

    public void draw(RealWindowGraphics rWG, Triangulation t) {
        if (state[triangleState]) {
            if (aniControl.animate(AnimateControl.triangles))
                rWG.drawTriangle(t.point[i], t.point[j], t.point[k],
Color.green);
            if (aniControl.animate(AnimateControl.circles))
                rWG.drawCircle(c, Color.green);
        } else if (state[pointState]) {
            if (aniControl.animate(AnimateControl.points))
                rWG.drawPoint(t.point[l], Color.orange);
        } else if (state[insideState]) {
            if (aniControl.animate(AnimateControl.triangles))
                rWG.drawTriangle(t.point[i], t.point[j], t.point[k],
Color.red);
            if (aniControl.animate(AnimateControl.circles))
                rWG.drawCircle(c, Color.red);
            if (aniControl.animate(AnimateControl.points))
                rWG.drawPoint(t.point[l], Color.red);
        } else if (state[triangulationState]) {

```

```

        t.draw(rWG, Color.black, Color.black);
    } else {
        t.draw(rWG, Color.black, Color.black);
    }
}

public synchronized void triangulate(Triangulation t) {
    boolean pointFree;
    int n = t.nPoints;
    RealPoint p[] = t.point;

    for (i = 0; i < n-2; i++)
        for (j = i + 1; j < n-1; j++)
            if (j != i)
                for (k = j + 1; k < n; k++)
                    if (k != i && k != j)
                        {
                            c.circumCircle(p[j], p[j], p[k]);
                            animate(triangleState);
                            pointFree = true;
                            for (l = 0; l < n; l++)
                                if (l != i && l != j && l != k) {
                                    animate(pointState);
                                    if (c.inside(p[l])) {
                                        animate(insideState);
                                        pointFree = false;
                                        break;
                                    }
                                }
                        }

                    if (pointFree)
                        t.addTriangle(i, j, k);

                    animate(triangulationState);
                }
    }
}

/*
 * CubicAlgorithm class. O(n^3) algorithm.
 */
class CubicAlgorithm extends TriangulationAlgorithm {
    int s, t, u, i;
    Circle bc = new Circle();
    final static String algName = "O(n^3)";
    int nFaces;

    public CubicAlgorithm(Triangulation t, RealWindow w, int nPoints) {
        super(t, w, algName, nPoints);
    }

    public void reset() {
        nFaces = 0;
        triCanvas.needToClear = true;
        super.reset();
    }

    public void draw(RealWindowGraphics rWG, Triangulation tri) {
        if (state[triangleState]) {
            if (aniControl.animate(AnimateControl.triangles)) {
                rWG.drawTriangle(tri.point[s], tri.point[t], tri.point[u],
                    Color.green);
            }
        }
    }
}

```

```

        rWG.drawLine(tri.point[s], tri.point[t], Color.blue);
    }
    if (aniControl.animate(AnimateControl.circles))
        rWG.drawCircle(bC, Color.green);
} else if (state[pointState]) {
    if (aniControl.animate(AnimateControl.points))
        rWG.drawPoint(tri.point[i], Color.orange);
} else if (state[insideState]) {
    if (aniControl.animate(AnimateControl.triangles)) {
        rWG.drawTriangle(tri.point[s], tri.point[t], tri.point[u],
Color.red);
        rWG.drawLine(tri.point[s], tri.point[t], Color.blue);
    }
    if (aniControl.animate(AnimateControl.circles))
        rWG.drawCircle(bC, Color.red);
    if (aniControl.animate(AnimateControl.points))
        rWG.drawPoint(tri.point[s], Color.red);
} else if (state[triangulationState]) {
    tri.draw(rWG, Color.black, Color.black);
} else {
    tri.draw(rWG, Color.black, Color.black);
}
}
}

public synchronized void triangulate(Triangulation tri) {
    int seedEdge, currentEdge;
    int nFaces;
    Int s, t;

    // Initialise.
    nFaces = 0;
    s = new Int();
    t = new Int();

    // Find closest neighbours and add edge to triangulation.
    findClosestNeighbours(tri.point, tri.nPoints, s, t);

    // Create seed edge and add it to the triangulation.
    seedEdge = tri.addEdge(s.getValue(), t.getValue(),
        Triangulation.Undefined,
        Triangulation.Undefined);

    currentEdge = 0;
    while (currentEdge < tri.nEdges)
    {
        if (tri.edge[currentEdge].l == Triangulation.Undefined) {
            completeFacet(currentEdge, tri, nFaces);
            animate(triangulationState);
        }
        if (tri.edge[currentEdge].r == Triangulation.Undefined) {
            completeFacet(currentEdge, tri, nFaces);
            animate(triangulationState);
        }
        currentEdge++;
    }
}

// Find the two closest points.
public void findClosestNeighbours(RealPoint p[], int nPoints,
    Int u, Int v) {
    int i, j;
    float d, min;

```

```

int s, t;

s = t = 0;
min = Float.MAX_VALUE;
for (i = 0; i < nPoints-1; i++)
    for (j = i+1; j < nPoints; j++)
        {
            d = p[i].distanceSq(p[j]);
            if (d < min)
                {
                    s = i;
                    t = j;
                    min = d;
                }
        }
u.setValue(s);
v.setValue(t);
}

/*
 * Complete a facet by looking for the circle free point to the left
 * of the edge "e_i". Add the facet to the triangulation.
 *
 * This function is a bit long and may be better split.
 */
public void completeFacet(int eI, Triangulation tri, int nFaces) {
    float cP;
    boolean pointFree;
    Edge e[] = tri.edge;
    RealPoint p[] = tri.point;

    // Cache s and t.
    if (e[eI].l == Triangulation.Undefined)
        {
            s = e[eI].s;
            t = e[eI].t;
        }
    else if (e[eI].r == Triangulation.Undefined)
        {
            s = e[eI].t;
            t = e[eI].s;
        }
    else
        // Edge already completed.
        return;

    // Find point free circumcircle to the left.
    for (u = 0; u < tri.nPoints; u++)
        if (u != s && u != t) {
            if (Vector.crossProduct(p[s], p[t], p[u]) > 0.0) {
                bC.circumCircle(p[s], p[t], p[u]);
                animate(triangleState);
                pointFree = true;
                for (i = 0; i < tri.nPoints; i++)
                    if (i != s && i != t && i != u) {
                        animate(pointState);
                        cP = Vector.crossProduct(p[s], p[t], p[i]);
                        if (cP > 0.0)
                            if (bC.inside(p[i])) {
                                animate(insideState);
                                pointFree = false;
                                break;
                            }
                    }
            }
        }
}

```

```

        }
        animate(triangulationState);
        if (pointFree)
            break;
    }
}

// Adicionar un nuevo triángulo o actualizar la información del
lado.
if (u < tri.nPoints) {
    int bP = u;

    // Update face information of edge being completed.
    tri.updateLeftFace(eI, s, t, nFaces);
    nFaces++;

    // Add new edge or update face info of old edge.
    eI = tri.findEdge(bP, s);
    if (eI == Triangulation.Undefined)
        // New edge.
        eI = tri.addEdge(bP, s, nFaces, Triangulation.Undefined);
    else
        // Old edge.
        tri.updateLeftFace(eI, bP, s, nFaces);

    // Add new edge or update face info of old edge.
    eI = tri.findEdge(t, bP);
    if (eI == Triangulation.Undefined)
        // New edge.
        eI = tri.addEdge(t, bP, nFaces, Triangulation.Undefined);
    else
        // Old edge.
        tri.updateLeftFace(eI, t, bP, nFaces);
} else
    tri.updateLeftFace(eI, s, t, Triangulation.Universe);
}
}

/*
 * QuadraticAlgorithm class. O(n^2) algorithm.
 */
class QuadraticAlgorithm extends TriangulationAlgorithm {
    int s, t, u, bP;
    Circle bC = new Circle();
    final static String algName = "O(n^2)";
    int nFaces;

    public QuadraticAlgorithm(Triangulation t, RealWindow w, int nPoints)
    {
        super(t, w, algName, nPoints);
    }

    public void reset() {
        nFaces = 0;
        triCanvas.needToClear = true;
        super.reset();
    }

    public void draw(RealWindowGraphics rWG, Triangulation tri) {
        if (state[triangleState]) {
            if (aniControl.animate(AnimateControl.triangles)) {

```

```

        rWG.drawTriangle(tri.point[s], tri.point[t], tri.point[bP],
            Color.green);
        rWG.drawLine(tri.point[s], tri.point[t], Color.blue);
    }
    if (aniControl.animate(AnimateControl.circles))
        rWG.drawCircle(bC, Color.green);
} else if (state[pointState]) {
    if (aniControl.animate(AnimateControl.points))
        rWG.drawPoint(tri.point[u], Color.orange);
} else if (state[insideState]) {
    if (aniControl.animate(AnimateControl.triangles)) {
        rWG.drawTriangle(tri.point[s], tri.point[t], tri.point[bP],
Color.red);
        rWG.drawLine(tri.point[s], tri.point[t], Color.blue);
    }
    if (aniControl.animate(AnimateControl.circles))
        rWG.drawCircle(bC, Color.red);
    if (aniControl.animate(AnimateControl.points))
        rWG.drawPoint(tri.point[s], Color.red);
} else if (state[triangulationState]) {
    tri.draw(rWG, Color.black, Color.black);
} else {
    tri.draw(rWG, Color.black, Color.black);
}
}
}

```

```

public synchronized void triangulate(Triangulation tri) {
    int seedEdge, currentEdge;
    int nFaces;
    Int s, t;

    // Initialise.
    nFaces = 0;
    s = new Int();
    t = new Int();

    // Find closest neighbours and add edge to triangulation.
    findClosestNeighbours(tri.point, tri.nPoints, s, t);

    // Create seed edge and add it to the triangulation.
    seedEdge = tri.addEdge(s.getValue(), t.getValue(),
        Triangulation.Undefined,
        Triangulation.Undefined);

    currentEdge = 0;
    while (currentEdge < tri.nEdges) {
        if (tri.edge[currentEdge].l == Triangulation.Undefined) {
            completeFacet(currentEdge, tri, nFaces);
            animate(triangulationState);
        }
        if (tri.edge[currentEdge].r == Triangulation.Undefined) {
            completeFacet(currentEdge, tri, nFaces);
            animate(triangulationState);
        }
        currentEdge++;
    }
}

```

```

// Find the two closest points.
public void findClosestNeighbours(RealPoint p[], int nPoints,
    Int u, Int v) {
    int i, j;

```



```

float d, min;
int s, t;

s = t = 0;
min = Float.MAX_VALUE;
for (i = 0; i < nPoints-1; i++)
    for (j = i+1; j < nPoints; j++)
        {
            d = p[i].distanceSq(p[j]);
            if (d < min)
                {
                    s = i;
                    t = j;
                    min = d;
                }
        }
u.setValue(s);
v.setValue(t);
}

/*
 * Complete a facet by looking for the circle free point to the left
 * of the edge "e_i". Add the facet to the triangulation.
 *
 * This function is a bit long and may be better split.
 */
public void completeFacet(int eI, Triangulation tri, int nFaces) {
    float cP;
    int i;
    Edge e[] = tri.edge;
    RealPoint p[] = tri.point;

    // Cache s and t.
    if (e[eI].l == Triangulation.Undefined)
        {
            s = e[eI].s;
            t = e[eI].t;
        }
    else if (e[eI].r == Triangulation.Undefined)
        {
            s = e[eI].t;
            t = e[eI].s;
        }
    else
        // Edge already completed.
        return;

    // Find a point on left of edge.
    for (u = 0; u < tri.nPoints; u++)
        {
            if (u == s || u == t)
                continue;
            if (Vector.crossProduct(p[s], p[t], p[u]) > 0.0)
                break;
        }

    // Find best point on left of edge.
    bP = u;
    if (bP < tri.nPoints)
        {
            bc.circumCircle(p[s], p[t], p[bP]);
        }
}

```

```

    animate(triangleState);

    for (u = bP+1; u < tri.nPoints; u++)
    {
        if (u == s || u == t)
            continue;

        animate(pointState);

        cP = Vector.crossProduct(p[s], p[t], p[u]);

        if (cP > 0.0)
            if (bC.inside(p[u]))
            {
                animate(insideState);
                bP = u;
                bC.circumCircle(p[s], p[t], p[u]);
                animate(triangleState);
            }
    }
}

// Add new triangle or update edge info if s-t is on hull.
if (bP < tri.nPoints)
{
    // Update face information of edge being completed.
    tri.updateLeftFace(eI, s, t, nFaces);
    nFaces++;

    // Add new edge or update face info of old edge.
    eI = tri.findEdge(bP, s);
    if (eI == Triangulation.Undefined)
        // New edge.
        eI = tri.addEdge(bP, s, nFaces, Triangulation.Undefined);
    else
        // Old edge.
        tri.updateLeftFace(eI, bP, s, nFaces);

    // Add new edge or update face info of old edge.
    eI = tri.findEdge(t, bP);
    if (eI == Triangulation.Undefined)
        // New edge.
        eI = tri.addEdge(t, bP, nFaces, Triangulation.Undefined);
    else
        // Old edge.
        tri.updateLeftFace(eI, t, bP, nFaces);
} else
    tri.updateLeftFace(eI, s, t, Triangulation.Universe);
}
}

/*
 * AppletUI class. Provides most of the user interface for the applet.
 */
class AppletUI extends Panel {
    AlgorithmUI AlgorithmUI[];

    public AppletUI(TriangulationAlgorithm algorithm[]) {
        Label l;
        Panel p;
    }
}

```

```

        setLayout(new BorderLayout());

        // Per algorithm controls.
        p = new Panel();
        p.setLayout(new GridLayout(0,1));

        // Headings for algorithm controls.
        p.add(new AlgorithmUIHeading());

        // One set of controls per algorithm.
        for (int i = 0; i < algorithm.length; i++)
            p.add(algorithm[i].algorithmUI());

        // Add panel to controls.
        add("Center", p);

        // Applet controls.
        p = new Panel();
        p.setLayout(new GridLayout(0,1));
        p.add(new Button("Start"));
        p.add(new Button("Stop"));
        p.add(new Button("New"));
        p.add(new Label("Step Mode", Label.CENTER));
        Choice c = new Choice();
        c.addItem("Auto");
        c.addItem("Manual");
        p.add(c);

        // Add panel to controls.
        add("East", p);
    }
}

/*
 * TriangulationApplet class. "Main Class"
 */
public class TriangulationApplet extends Applet implements Runnable {
    Thread triangulateThread[];
    int nPoints = 10;
    Triangulation triangulation[];
    TriangulationAlgorithm algorithm[];
    RealWindow w;
    RealWindowGraphics rWG;
    AppletUI appUI;
    public static final int On2 = 0;
    public static final int On3 = 1;
    public static final int On4 = 2;
    Panel canvases;
    static final int nAlgorithms = 3;

    public void init() {

        setBackground(Color.lightGray);
        resize(600,350);

        // Create a rectangle in the real plane for points.
        w = new RealWindow(0.0f, 0.0f, 1.0f, 1.0f);

        // Create array of triangulations, including random points.
        triangulation = new Triangulation[nAlgorithms];
        triangulation[0] = new Triangulation(nPoints);
        triangulation[0].randomPoints(w);
    }
}

```

```

    for (int i = 1; i < nAlgorithms; i++) {
        triangulation[i] = new Triangulation(nPoints);
        triangulation[i].copyPoints(triangulation[0]);
    }

    // Create an array of triangulation algorithms.
    algorithm = new TriangulationAlgorithm[nAlgorithms];
    algorithm[0] = new QuadraticAlgorithm(triangulation[0], w,
nPoints);
    algorithm[1] = new CubicAlgorithm(triangulation[1], w, nPoints);
    algorithm[2] = new QuarticAlgorithm(triangulation[2], w, nPoints);

    // Array of thread references (one for each algorithm).
    triangulateThread = new Thread[nAlgorithms];

    // Create user interface.
    Panel heading = new Panel();
    heading.setLayout(new BorderLayout());
    heading.add("Center", new Label("The Triangulator", Label.CENTER));
    Panel algHeadings = new Panel();
    algHeadings.setLayout(new GridLayout(0, nAlgorithms));
    for (int i = 0; i < nAlgorithms; i++)
        algHeadings.add(new Label(algorithm[i].algName, Label.CENTER));
    heading.add("South", algHeadings);
    canvases = new Panel();
    canvases.setLayout(new GridLayout(0, nAlgorithms));
    for (int i = 0; i < nAlgorithms; i++)
        canvases.add(algorithm[i].canvas());
    setLayout(new BorderLayout());
    add("North", heading);
    add("Center", canvases);
    appUI = new AppletUI(algorithm);
    add("South", appUI);
}

/*
 * Called for each algorithm thread when started.
 */
public void run() {
    int algNo;
    String threadName;

    // Work out which algorithm to run from the thread name.
    threadName = Thread.currentThread().getName();
    algNo = Integer.parseInt(threadName.substring(threadName.length()-
1));
    algorithm[algNo].triangulate(triangulation[algNo]);
}

public Insets insets() {
    // Right offset is more than left, due to Choice bug.
    return new Insets(5, 10, 5, 15);
}

/*
 * Actually start the triangulation algorithms running.
 */
private synchronized void startTriangulate() {
    for (int i = 0; i < triangulateThread.length; i++)
        if (triangulateThread[i] != null &&
triangulateThread[i].isAlive()) {
            stop();
        }
    }
}

```

```

    }
    for (int i = 0; i < triangulateThread.length; i++) {
        if (algorithm[i].control().getRun()) {
            triangulateThread[i] = new Thread(this, "Triangulation-" +
String.valueOf(i));
            triangulateThread[i].setPriority(Thread.MIN_PRIORITY);
            triangulateThread[i].start();
        }
    }
}

/*
 * Genera nuevos puntos para el algoritmo.
 */
private synchronized void newPoints() {
    int max, alg;

    stop();

    // Find algorithm with max points.
    max = 0;
    alg = -1;
    for (int i = 0; i < nAlgorithms; i++)
        if (algorithm[i].control().getRun() &&
            algorithm[i].control().getNPoints() > max) {
            max = algorithm[i].control().getNPoints();
            alg = i;
        }

    // Genera número de puntos máximos.
    if (alg != -1) {
triangulation[alg].setNPoints(algorithm[alg].control().getNPoints());
        triangulation[alg].randomPoints(w);
    }

    /* Ahora copia puntos hacia otro algoritmo. This has the effect
     * that algorithms with the same number of points wind up with
     * the same points.
     */
    for (int i = 0; i < nAlgorithms; i++)
        if (algorithm[i].control().getRun() && i != alg) {
triangulation[i].setNPoints(algorithm[i].control().getNPoints());
            triangulation[i].copyPoints(triangulation[alg]);
        }

    for (int i = 0; i < nAlgorithms; i++)
        if (algorithm[i].control().getRun()) {
            algorithm[i].reset();
            algorithm[i].canvas().repaint();
        }
}

/*
 * Para el applet. Acaba con el algoritmo de triangulación
 * si es que aún se encuentra triangulando.
 */

public synchronized void stop() {
    for (int i = 0; i < triangulateThread.length; i++) {
        if (triangulateThread[i] != null) {

```

```

        try {
            triangulateThread[i].stop();
        } catch (IllegalThreadStateException e) {}
        triangulateThread[i] = null;
    }
}

/*
 * Gets the current value in a text field.
 */
int getValue(TextField tF) {
    int i;
    try {
        i = Integer.valueOf(tF.getText()).intValue();
    } catch (java.lang.NumberFormatException e) {
        i = 0;
    }
    return i;
}

/*
 * Handle main level events.
 */
public boolean handleEvent(Event evt) {
    if (evt.id == Event.ACTION_EVENT) {
        if ("Start".equals(evt.arg)) {
            startTriangulate();
            return true;
        } else if ("Stop".equals(evt.arg)) {
            stop();
            return true;
        } else if ("New".equals(evt.arg)) {
            newPoints();
        } else if ("Manual".equals(evt.arg)) {
            for (int i = 0; i < nAlgorithms; i++)
                algorithm[i].control().setManualAnimateMode();
            return true;
        } else if ("Auto".equals(evt.arg)) {
            for (int i = 0; i < nAlgorithms; i++)
                algorithm[i].control().setAutomaticAnimateMode();
            return true;
        }
    } else if (evt.id == Event.MOUSE_DOWN) {
        // These events only occur in the canvases.
        for (int i = 0; i < nAlgorithms; i++)
            if (algorithm[i].control().mode() == AnimateControl.manual)
                algorithm[i].nextStep();
        return true;
    } else if (evt.id == Event.MOUSE_MOVE) {
        return true;
    }

    return false;
}
}
</XMP></BODY></HTML>

```