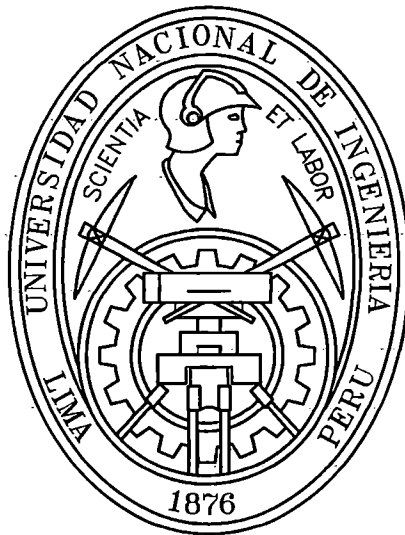


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA SAYÁN-
ACOTAMA CON DATOS DE CAMPO TOMADOS CON GPS”**

TESIS

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

CARLOS ENRIQUE TARAZONA LÓPEZ

Lima – Perú

2008

Digitalizado por:

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

*A la memoria de mi padre,
que siempre me acompaña.
A mi madre y mi hermana
por su invaluable apoyo.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar en primer lugar mi más sincero agradecimiento al profesor Ing. Eddy Scipión Piñella, por su valiosa asesoría en la realización del presente trabajo de investigación. De igual forma al Jefe de Departamento de Topografía y Vías de Transporte de la Facultad de Ingeniería Civil, Ing. Ralfo Herrera Rosado por su apoyo para este proyecto.

A Provías Descentralizado y a todas las personas que laboran en la Subgerencia de Estudios, por darme acceso a la información requerida.

Finalmente, a todas las personas que me han apoyado incondicionalmente durante la realización de este estudio.

Muy agradecido

EL AUTOR

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	5
1.1 ANTECEDENTES	5
1.2 OBJETIVO	5
1.3 CLASIFICACION DEL TERRENO	5
1.3.1 Según su Relieve	5
1.3.2 Según su Altitud	6
1.4 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	6
1.4.1 Estudios Realizados	6
1.4.2 Puntos y Cartas	6
1.4.3 Documentos Normativos	6
1.5 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO	7
1.5.1 Localización	7
1.5.2 Descripción de la Carretera	7
1.6 EVALUACIÓN DE LA VÍA EXISTENTE	8
1.6.1 Alineamiento Horizontal	8
1.6.2 Pendientes Longitudinales	8
1.6.3 Ancho de la Superficie de Rodadura	8
1.6.4 Cortes y Terraplenes	8
1.6.5 Obras de Drenaje	8
1.6.6 Pavimentos	8
CAPITULO II: PARÁMETROS Y ELEMENTOS BÁSICOS DE DISEÑO	9
2.1 CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL	11
2.1.1 Clasificación de las Carreteras Según su Función	11
2.1.2 Clasificación de Según la Demanda	11
2.1.3 Clasificación según Condiciones Orográficas	12
2.1.4 Relación entre Clasificaciones	13
2.2 CRITERIOS Y CONTROLES BÁSICOS PARA EL DISEÑO	13
2.2.1 Generalidades	13
2.2.2 Vehículos de Diseño	14

2.2.3 Características de Tránsito	15
2.2.4 Velocidad del Diseño	17
2.3 SECCIÓN TRANSVERSAL	18
2.3.1 Introducción	18
2.3.2 Elementos	18
2.3.3 Derecho de Vía o Faja de Dominio	19
2.3.4 Sección Transversal	20
2.4 DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA Y PERFIL	32
2.4.1 Alineamiento Horizontal	32
2.4.2 Diseño Geométrico del Perfil Longitudinal	39
2.4.3 Coordinación entre Alineamiento Horizontal y Perfil Longitudinal	44
2.5 DIAGRAMA DE MASAS	45
2.5.1 Generalidades	45
2.5.2 Procedimiento	45
2.5.3 Dibujo de la Curva Masa	46
2.5.4 Propiedades del Diagrama de Masas	49
2.5.5 Procedimiento para el Cálculo de la Curva Masa	50
CAPITULO III: SISTEMAS DE REFERENCIA Y PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS	52
3.1 SISTEMAS DE REFERENCIA	52
3.1.1 Forma de la Tierra	53
3.1.2 Sistemas y Marcos	49
3.1.3 Sistemas de Coordenadas	61
3.2 SISTEMAS DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS	62
3.2.1 Generalidades	62
3.2.2 Latitud	62
3.2.3 Longitud	63
3.2.4 Ventajas e Inconvenientes	64
3.3 PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS	64
3.3.1 Principios Básicos de la Cartografía	64
3.3.2 Propiedades de las Proyecciones Cartográficas	65
3.3.3 Clasificación de Proyecciones Cartográficas	66
3.4 SISTEMA DE PROYECCIÓN UTM	72

3.4.1 Generalidades	72
3.4.2 Distribución de Husos y Zonas	72
3.4.3 Origen de Coordenadas	74
3.4.4 Factor de Escala y Distancia UTM	74
3.5 DATUM	74
3.5.1 Datum Universal WGS 84	76
3.5.2 Datum Vertical	77
CAPITULO IV: SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)	82
4.1 INTRODUCCIÓN	82
4.1.1 Ventajas	83
4.1.2 Inconvenientes	83
4.2 FUNDAMENTOS	83
4.2.1 Trilateración Satelital	83
4.2.2 Las Observables	85
4.2.3 Fase Portadora	87
4.2.4 Codificación	88
4.2.5 Cálculo de Coordenadas	89
4.2.6 Niveles de Servicio	90
4.3 COMPONENTES DEL SISTEMA	91
4.3.1 El segmento Espacial	91
4.3.2 El Segmento de Control	93
4.3.3 El Segmento de Usuarios	94
4.4 FUENTES DE ERROR	95
4.4.1 Errores Relativos del satélite	95
4.4.2 Errores Relativos a la Propagación de la Señal	95
4.4.3 Errores Relativos al Receptor	100
4.4.4 Dilución de la Precisión (DOP)	101
4.5 MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO	103
4.5.1 Autónomo	103
4.5.2 Diferencial	103
4.6 TIPOS DE RECEPTORES GPS	112
4.6.1 Navegadores Convencionales	112
4.6.2 Receptores de C/A Avanzados	113
4.6.3 Receptores de Frecuencia Simple	114

4.6.4 Receptores de Doble Frecuencia	114
CAPITULO V: DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA	116
5.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	116
5.1.1 Posicionamiento Geodésico	116
5.1.2 Control Vertical	118
5.1.3 Plan de Observación	119
5.1.4 Topografía y Trazado	119
5.2 EQUIPO Y SOFTWARE UTILIZADO	121
5.2.1 Estación Base	121
5.2.2 Móvil o Rover	121
5.2.3 Radio Modem	122
5.2.4 Colectora de Datos	122
5.2.5 Software	123
5.3 TRAZADO	123
5.3.1 Georeferenciación	123
5.3.2 Puntos de Control Horizontal y Vertical	123
5.3.3 Puntos sobre la Plataforma	124
5.3.4 Seccionamiento de Puntos	124
5.4 CONFIGURACION DEL EQUIPO	127
5.4.1 Configuración de la Estación Base RTK	127
5.4.2 Configuración del Radio Módem UHF	126
5.4.3 Configuración del Móvil RTK	126
5.5 PROCEDIMIENTO DE CAMPO	124
5.5.1 Instalación de la Estación Base RTK	124
5.5.2 Instalación del Móvil RTK	131
5.5.3 Captura de Datos	133
5.6 PROCESAMIENTO DE DATOS	134
5.6.1 Transferencia de Datos a la PC	134
5.6.2 Análisis de Datos y Resultados Finales	135
CAPITULO VI: DISEÑO GEOMÉTRICO	139
6.1 CONTEO DE TRÁFICO	139
6.2 PARAMETROS Y ELEMENTOS BASICOS DEL DISEÑO	141
6.2.1 Clasificación de la Red Vial	141

6.2.2 Velocidad de Diseño	141
6.2.3 Sección Transversal	141
6.2.4 Diseño Geométrico en Planta y Perfil	144
6.3 DISEÑO GEOMÉTRICO	146
6.3.1 Construcción del MDT	146
6.3.2 Trazo en Planta (Método Indirecto)	150
6.3.3 Cálculo de Peraltes, Sobreechanos y Longitud de Transición	152
6.3.4 Trazo de la Subrasante y Curva Vertical	153
6.3.5 Secciones Transversales	153
6.3.6 Metrados de Explanaciones	154
6.4 DIAGRAMA DE MASAS	154
6.5 ANALISIS DE RESULTADOS	156
6.5.1 Análisis Comparativo entre Perfiles Longitudinales	156
6.5.2 Análisis Comparativo de PI's	159
6.5.3 Análisis Comparativo de BM's	159
6.5.4 Análisis de Movimiento de Tierras	160
6.5.5 Análisis de Costos	160
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	162
7.1 CONCLUSIONES	162
7.2 RECOMENDACIONES	164
GLOSARIO	166
BIBLIOGRAFÍA	171
ANEXOS	173

RESUMEN

El sistema GPS es una de los más importantes avances tecnológicos de las últimas décadas. En la topografía constituye una herramienta muy eficiente para realizar levantamientos topográficos, tiene ventajas respecto a la técnica clásica, tales como: se requiere menos personal, menos tiempo para el registro de puntos, no requiere intervisibilidad entre estaciones, el rango de distancias que ese pueden alcanzar es mucho mayor, y se puede trabajar en cualquier condición climática. Debido a estas ventajas se planteó la metodología propuesta, la cual servirá para la recolección de información topográfica mediante gps diferencial RTK, para generar un Modelo Digital del Terreno y finalmente realizar el Diseño Geométrico de la carretera.

El trabajo de campo se realizó en la carretera Sayán-Acotama, provincia de Huaura, departamento de Lima.

El trabajo de campo consiste en el levantamiento con GPS, de puntos de control horizontal y vertical, y puntos sobre la plataforma de la carretera en una longitud de 6 km. Además de badenes, alcantarillas, puentes, cruces de agua, etc.

La captura de datos se realizó con dos receptores GPS, marca Topcon, modelo HIPer+, de doble frecuencia y doble constelación; uno que operó como estación base ubicada en un punto geodésico IGN de orden C, ubicado en el poblado de Andahuasi, y el otro como receptor móvil, con el cual se realizó el levantamiento cinemático RTK. Además se utilizó un Radio Modem para el envío de las correcciones diferenciales en tiempo real y una colectora de datos para grabar el registro de puntos. El receptor móvil se desplaza por todos los puntos previamente ubicados sobre la plataforma de la carretera, los cuales a su vez son seccionados con wincha y eclímetro.

Con los datos obtenidos del levantamiento y seccionamiento se procede a construir el DTM para lo cual se empleó los programas AIDC y Autodesk Land.

Posteriormente se realizó el diseño geométrico, donde los criterios y parámetros de diseño fueron utilizados en su mayoría del Manual de Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo volumen de Transito, estos valores son mínimos normales, es decir representan el límite inferior de tolerancia de diseño. Mediante el trazo indirecto, se ubicó los PI's en gabinete, luego el trazo de la subrasante y finalmente ubicando las cajas propuestas sobre las secciones de terreno, se procede a correr las secciones, que permite calcular las áreas de corte y de

relleno. Con esta información se efectúa el diagrama de masas con el cual se procede a diseñar las líneas de balance. Finalmente se realizó el cálculo de metrados de explanaciones.

Para el Análisis de Resultados se contó con información topográfica elaborada con el método clásico (estación total) realizado por el MTC en el año 2006. Del análisis comparativo de perfiles longitudinales del terreno, resultando una diferencia de cotas de 0.17 m en promedio. Además, se comparó de volúmenes de explanaciones obteniéndose una diferencia de 13% en volumen de corte y -32% en volumen de relleno. Finalmente un análisis de costos obteniéndose una incidencia del 9.08% en las partidas de excavación y terraplenes.

Cabe destacar que la principal limitación y fuente de equivocaciones en la aplicación de esta tecnología por parte de los profesionales, radica en el insuficiente manejo de los conceptos geodésicos y cartográficos. Además los alcances de esta investigación son limitados, para lo cual se propone realizar estudios con esta metodología en zonas con mayor vegetación y en valles angostos, es decir en condiciones mas desfavorables para la recepción de la señal del GPS.

Finalmente, este método de trabajo no pretende sustituir al método clásico, sino ser una herramienta más para realizar trabajos topográficos. La elección de ésta metodología dependerá factores como: precisión de los trabajos topográficos, relieve de la zona, plazos de entrega del trabajo, entre otros.

EL AUTOR

INTRODUCCIÓN

Los trabajos topográficos utilizando equipos convencionales, como estación total y nivel, han demostrado su eficiencia en cuanto a precisión, dicha metodología es aplicada para Estudios de Definitivos de una Carretera. No obstante, muchas veces se requiere realizar Estudios a nivel de Perfil, Prefactibilidad, y Mantenimiento, para los cuales no se requiere una topografía con gran precisión, para la realización de este tipo de trabajos está orientado la metodología propuesta, que tiene por finalidad el levantamiento topográfico mediante receptor GPS diferencial, pues reduce el tiempo de trabajo de campo y aumenta los rendimientos en la recolecciones de datos, con el GPS se pueden registrar el triple de puntos que una moderna estación total.

El trabajo de campo se realizó en la Carretera Sayán – Acotama (6 km), ubicada en la provincia de Huaura, departamento de Lima, y se utilizó el GPS diferencial RTK, el cual consta de un receptor base y uno móvil, la metodología empleada se basa en el registro de datos de puntos a lo largo de plataforma de la carretera. Durante el trabajo de gabinete se realizó el procesamiento de datos de campo, con los cuales se obtiene el modelo digital del terreno. Posteriormente, se procedió a realizar el diseño geométrico de la carretera, con elementos y parámetros tomados de la Norma DG-2001 y el Manual de Diseño para Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito. Para el diseño geométrico se utilizó el software AIDC y Autodesk Land.

En el Capítulo I, se presentan aspectos generales de la zona del estudio, así como el estado actual de la carretera.

En el Capítulo II, aquí se presenta la normatividad referente al Diseño Geométrico de Carreteras. Para la investigación se utilizó la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2001 y el Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito (2005). Finalmente se presenta el procedimiento a seguir para el trazo de la curva masa.

En el Capítulo III, se presentan los conceptos geodésicos, proyección UTM, Datum WGS-84; que son de interés para comprender el sistema GPS. La principal limitación y fuente de equivocaciones en la aplicación de la tecnología GPS, radica en el insuficiente manejo de los conceptos geodésicos y cartográficos.

En el Capítulo IV, se presenta los fundamentos del funcionamiento del sistema GPS, segmentos del sistema, las fuentes de error, métodos de posicionamiento, tipos de receptores GPS. Por último se detalla el método diferencial RTK, utilizado en esta investigación.

En el Capítulo V, se describe la metodología empleada en campo para la recolección de datos. Además del procesamiento de datos y análisis de resultados obtenidos.

En el Capítulo VI, se realizó el diseño geométrico, las dimensiones de la caja de la sección transversal y el trazo de la subrasante. Además de un análisis comparativo entre los perfiles longitudinales, volúmenes de explanaciones y la incidencia en costo de las partidas de excavación y terraplenes.

En el Capítulo VII, se presenta las conclusiones y recomendaciones.

Se espera que este aporte para futuros proyectos de investigación, y de manera que no sean sólo informes técnicos que puedan ponerse en práctica y servir a la comunidad para su bienestar futuro.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

En mayo del 2006 se realizó el Estudio de Mantenimiento de la Carretera Sayán - Acotama, elaborado por Provías Departamental (MTC), en dicho estudio el Levantamiento Topográfico de la vía se realizó con el método clásico (estación total). La presente investigación plantea realizar un levantamiento realizado con técnicas GPS.

1.2 OBJETIVO

El objetivo de la presente investigación es contar con una nueva metodología alternativa de trabajo de campo mediante el uso del GPS diferencial, pues reduce el tiempo del trabajo de campo y aumenta los rendimientos en la recolección de datos.

1.3 CLASIFICACION DEL TERRENO

1.3.1 Según su Relieve

El área comprende la zona de valle parte de la cordillera occidental, está representada por una Cordillera angosta y abrupta.

En las áreas más bajas de las quebradas, existen amplias extensiones de depósitos aluviales, en los cuales hay terrenos de cultivo, donde se produce caña de azúcar, palta, chirimoya, papa, melocotón.

La zona presenta un clima con temperaturas que fluctúan entre 20° a 25° C, aparecen áreas cubiertas por vegetación.

1.3.2 Según su Altitud

La zona de estudio se encuentra entre 690 y 905 m.s.n.m.

1.4 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

1.4.1 Estudios Realizados

Para la realización de la presente investigación se utilizó como referencia el Estudio de Mantenimiento de la Carretera Sayán – Santo Domingo, Tramo I: Sayán - Acotama, elaborado por Provías Departamental-MTC (2006). Además se contó con información catastral de la Municipalidad Distrital de Sayán.

1.4.2 Puntos y Cartas

Para la Estación Base se adquirió un Punto perteneciente a la Red Geodésica Nacional del IGN, el cual es ubicado en la Plaza de Armas del poblado de Andahuasi, el cual se detalla a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN

Nombre:/Estación: Andahuasi		Localidad: Andahuasi	
Ubicación: Plaza de Armas		Características: Disco de Bronce de 0.09 m de diámetro	
Latitud (S): 11° 08' 50.08606"	Longitud (W): 77° 14' 3969459"	Altura Elipsoidal: 601.8541	Orden: C
Norte (Y): 8766810.9137	Este (X): 254881.6308	Zona UTM: 18	Datum: WGS-84

También se utilizó la Carta Nacional IGN, Hoja Huaral (23-i), Escala 1/100,000

1.4.3 Documentos Normativos

Esta investigación se realizó en base a la normatividad vigente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001-MTC), Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito (2005-MTC) y Normas Técnicas de Levantamientos Geodésicos (2005-IGN).

1.5 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO

1.5.1 Localización

La Carretera Sayán - Acotama se desarrolla en la margen derecha del río Huanangue, ubicada en el Distrito de Sayán, Provincia de Huaura, Departamento de Lima. Además la Carretera pertenece a la Red Vial Vecinal.

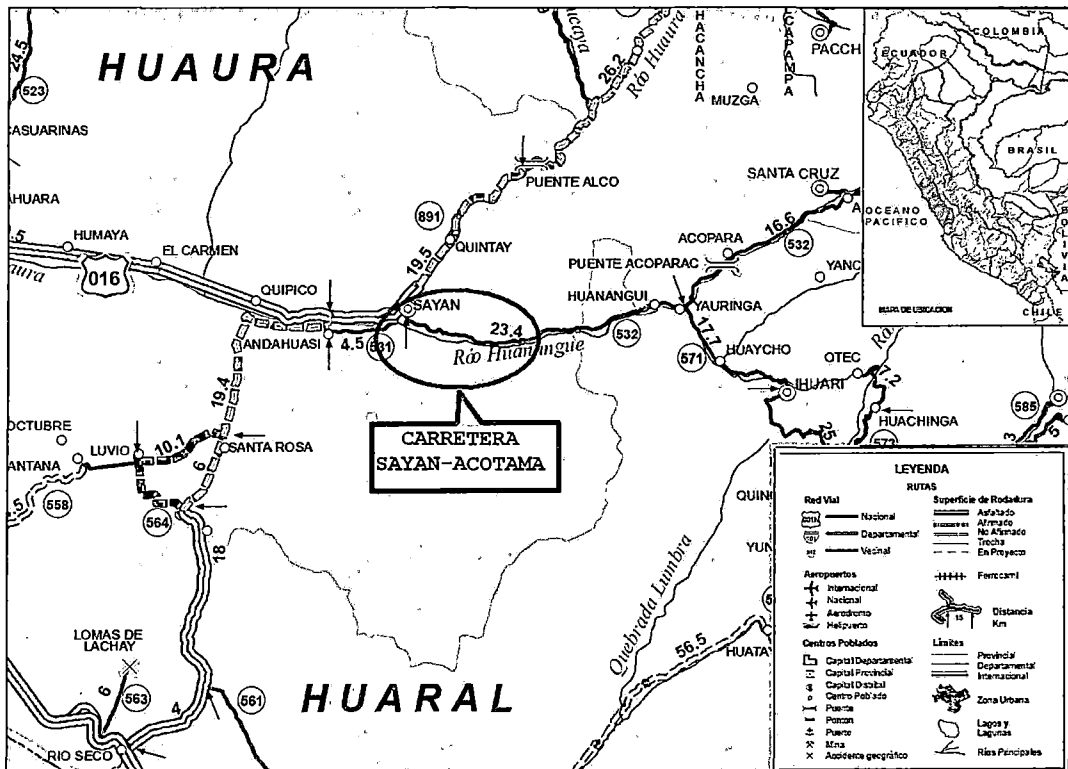


Fig. 1-1 Ubicación de la Carretera Sayán-Acotama

Fuente: Mapa Vial Departamento de Lima

1.5.2 Descripción de la Carretera

El punto inicial (Km 0+000) de la carretera se encuentra a la salida de la ciudad de Sayán. El punto final (Km 16+000) de la carretera se encuentra al ingreso del poblado de Acotama.

El estado actual de carretera corresponde a una vía afirmada, que se encuentra en servicio y en mal estado de conservación, pues en la vía no se ha realizado Mantenimiento Periódico ni Rutinario.

1.6 EVALUACIÓN DE LA VÍA EXISTENTE

1.6.1 Alineamiento Horizontal

La carretera se desarrolla en terreno ondulado, por lo que el alineamiento horizontal de la vía existente es sinuoso.

1.6.2 Pendientes Longitudinales

Las pendiente en promedio es de 4.4%, en zonas críticas alcanza hasta 15%.

1.6.3 Ancho de la Superficie de Rodadura

Tiene un ancho que oscila entre 5 y 6 m.

1.6.4 Cortes y Terraplenes

La carretera en este tramo se localiza en terrenos de media ladera parcialmente ondulados o accidentados, con afloraciones rocosas. En zonas puntuales hay derrumbes y desprendimientos de rocas.

1.6.5 Obras de Drenaje

En el tramo existen obras de drenaje principalmente de mampostería de piedra, en mal estado, con cunetas de tierra parcialmente obstruidas por derrumbes y la vegetación.

1.6.6 Pavimentos

La superficie de rodadura presenta deterioro, deformaciones apreciables, hundimientos y baches. Cabe destacar que en gran parte del tramo existen canales de riego y constantemente inundan la plataforma, deteriorando prematuramente el pavimento.

CAPITULO II

PARÁMETROS Y ELEMENTOS BÁSICOS DE DISEÑO

En este capítulo se presenta la normativa respecto al Diseño Geométrico de Carreteras, El MTC a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, dentro de su rol normativo, ha elaborado el Manual de Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, teniendo en consideración que estos caminos son de gran importancia en el desarrollo local, regional y nacional, por cuanto el 87% de la vialidad se encuentra en esta categoría. Esta Norma es de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional para los proyectos de vialidad de uso público. Por razones de seguridad vial, todos los proyectos viales de carácter privado deberán en lo aplicable ceñirse como mínimo a esta Norma. Complementariamente el Manual MTC de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001) rige en todo aquello, aplicable, que no éste considerado en el Manual para Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito. Los valores de diseño que se indican en Manual de Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito son mínimos normales es decir representan el límite inferior de tolerancia en el diseño. ⁽¹⁾

⁽¹⁾ PROVIAS RURAL-MTC. Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de bajo Volumen de Transito-2005. Pág. 2.

**TABLA 2.1
RED VIAL DEL PERÚ**

Tipo de Superficie de Rodadura	Red Vial Nacional	Red Vial Departamental	Red Vial Vecinal	TOTAL	% de Red total
Asfaltado	8,320	1,136	940	10,396	13%
Afirmado	6,622	6,015	5,871	18,508	24%
Sin Afirmar	2,038	4,291	7,656	13,985	18%
Trocha	--	2,826	32,503	35,329	45%
TOTAL	16,980	14,268	46,970	78,218	100%

Fuente: Plan Sectorial de Transferencia 2003- MTC

El diseño de un camino responde a una necesidad justificada social y económicamente. Ambos conceptos se correlacionan para establecer las características técnicas y físicas que debe tener el camino que se proyecta.

**TABLA 2.2
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS PARA LA SUPERFICIE DE RODADURA DE LOS CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO**

Camino de BVT.	IMD PROYECTADO	ANCHO CALZADA (M)	ESTRUCTURA Y SUPERFICIE DE RODADURA – ALTERNATIVAS (**)
T4	201 - 400	2 carriles 6.00 – 7.00	Afirmado (material granular, grava, homogenizado natural o por chancado tamaño máximo 5 cm) con superficie de rodadura (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T3	101 - 200	2 carriles 5.50 – 6.60	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T2	51 - 100	2 carriles 5.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T1	16 - 50	1 carril(*) ó 2 carriles 3.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o a mano, tamaño máximo 5 cm), perfilada y compactada, min. 15 cm.
T0	< 15	1 carril (*) 3.50 – 4.50	Afirmado (tierra). En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm.
Trocha carrozable	IMD Indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

- (*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.
- (**) En caso de no disponer gravas en distancia cercana los caminos puede ser estabilizado mediante técnicas de estabilización suelo-cemento ó cal ó productos químicos u otros.

Fuente: Manual CBVT-2005-MTC. Cuadro 1

Para alcanzar los objetivos deben evaluarse y seleccionarse parámetros como el Estudio de la Demanda, la Velocidad de Diseño en relación al costo del camino, la Sección Transversal, La Superficie de Rodadura.

2.1 CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL

2.1.1 Clasificación de las Carreteras Según su Función.

TABLA 2.3
CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS SEGÚN SU FUNCIÓN

Genérica	Denominación
1. RED VIAL PRIMARIA	1. SISTEMA NACIONAL Conformado por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras.
2. RED VIAL SECUNDARIA	2. SISTEMA DEPARTAMENTAL Constituyen la red vial circunscrita a la zona de un departamento, o en zonas de influencia económica; constituyen las carreteras troncales departamentales.
3. RED VIAL TERCIARIA O LOCAL	3. SISTEMA VECINAL Compuesta por: <ul style="list-style-type: none"> • Caminos vecinales, unen pequeñas poblaciones. • Caminos rurales alimentadores, unen aldeas y pequeños asentamientos.

Fuente: Manual DG-2001-MTC

2.1.2 Clasificación de Según la Demanda

a) Autopistas

Carretera de IMDA mayor de 4000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles, con control total de los accesos (ingresos y salidas) que proporciona flujo vehicular completamente continuo. Se le denomina AP.

b) Carreteras Duales o Multicarril

De IMDA mayor de 4000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles; con control parcial de accesos. Se le denomina MC.

c) Carreteras de 1ra. Clase

Son aquellas con un IMDA entre 2001-4000 veh/día de una calzada de dos carriles (DC).

d) Carreteras de 2da. Clase

Son aquellas de una calzada de dos carriles (DC) que soportan entre 400-2000 veh/día.

e) Carreteras de 3ra. Clase

Son aquellas de una calzada que soportan menos de 400 veh/día, se rigen por el Manual de Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito (2005).

2.1.3 Clasificación según Condiciones Orográficas

a) Carreteras Tipo 1

Permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos ligeros. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es menor o igual a 10%.

b) Carreteras Tipo 2

Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades en comparación a los vehículos de pasajeros. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 10 y 50%.

c) Carreteras Tipo 3

Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir a velocidad sostenida en rampa durante distancias considerables o a intervalos frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 50 y 100%.

d) Carreteras Tipo 4

Es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es mayor de 100%.


Los criterios utilizados para el diseño se basan fundamentalmente en los volúmenes futuros de tráfico a soportar.

2.1.4 Relación entre Clasificaciones

La **Tabla 2.4**, muestra la relación entre clasificación de la Red Vial con la Velocidad de Diseño.

TABLA 2.4
CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL Y SU RELACIÓN CON LA VELOCIDAD DEL DISEÑO

CLASIFICACIÓN	SUPERIOR				PRIMERA CLASE				SEGUNDA CLASE				TERCERA CLASE							
	> 4000								4000 - 2001				2000-400				< 400			
TRAFICO VEH/DIA (1)																				
CARACTERÍSTICAS	AP (2)				MC				DC				DC				DC			
OROGRAFIA TIPO	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
VELOCIDAD DE DISEÑO:																				
30 KPH																				
40 KPH																				
50 KPH																				
60 KPH																				
70 KPH																				
80 KPH																				
90 KPH																				
100 KPH																				
110 KPH																				
120 KPH																				
130 KPH																				
140 KPH																				
150 KPH																				

- P : Autopista
- MC : Carretera Multicarril o Dual (dos calzadas)
- DC : Carretera De Dos Carriles
-  Rango de Selección de Velocidad

Fuente: *Manual DG-2001-MTC, Tabla 101.01*

2.2 CRITERIOS Y CONTROLES BÁSICOS PARA EL DISEÑO

2.2.1 Generalidades

Para el diseño de una carretera deben evaluarse y seleccionarse los siguientes parámetros que definirán las características del proyecto:

1. Estudio de la Demanda;
2. La velocidad de diseño en relación al costo del camino;
3. La sección transversal de diseño; y
4. El tipo de superficie de rodadura.

2.2.2 Vehículos de Diseño

a) Características Generales

Las características de los vehículos de diseño condicionan los distintos aspectos del dimensionamiento geométrico y estructural de una carretera. Debido a que:

- El ancho del vehículo adoptado incide en el ancho del carril de las bermas y de los ramales.
- La distancia entre los ejes influyen en el ancho y los radios mínimos internos y externos de los carriles en los ramales.

b) Dimensiones

La longitud y el ancho de los vehículos ligeros no controlan el diseño, salvo que se trate de una vía en que no circulan camiones, situación poco probable en el diseño de carreteras rurales.

Para el cálculo de distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento, se requiere definir diversas alturas, asociadas a los vehículos ligeros, que cubran las situaciones más favorables en cuanto a visibilidad.

- h** : Altura faros delanteros: 0,60 m.
- h1** : Altura ojos del conductor: 1,07 m.
- h2** : Altura obstáculo fijo en la carretera: 0,15 m.
- h3** : Corresponde a altura de ojos de un conductor de camión o bus, necesaria para verificación de visibilidad en curvas verticales cóncavas bajo estructuras (2,50 m).
- h4** : Altura luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería: 0,45 m.
- h5** : Altura del techo de un automóvil : 1,30 m.

En la **Tabla 2.5** se resumen los datos básicos de los vehículos de diseño.

TABLA 2.5
DATOS BÁSICOS DE LOS VEHÍCULOS EN DISEÑO
(metros)

TIPO DE VEHÍCULO	NOMENCLATURA	ALTO TOTAL	ANCHO TOTAL	LARGO TOTAL	LONGITUD ENTRE EJES	RADIO MÍNIMO RUEDA EXTERNA DELANTERA	RADIO MÍNIMO RUEDA INTERNA TRASERA
VEHÍCULO LIGERO	VL	1,30	2,10	5,80	3,40	7,30	4,20
OMNIBUS DE DOS EJES	B2	4,10	2,60	9,10	6,10	12,80	8,50
OMNIBUS DE TRES EJES	B3	4,10	2,60	12,10	7,60	12,80	7,40
CAMION SIMPLE 2 EJES	C2	4,10	2,60	9,10	6,10	12,80	8,50
CAMION SIMPLE 3 EJES O MAS	C3 / C4	4,10	2,60	12,20	7.6	12,80	7,40
COMBINACION DE CAMIONES							
SEMIREMOLQUE TANDEM	T2S1 / 2 / 3	4,10 *	2,60	15,20	4,00 / 7,00	12,20	5,80
SEMIREMOLQUE TANDEM	T3S1 / 2 / 3	4,10	2,60	16,70	4,90 / 7,90	13,70	5,90
REMOLQUE 2 EJES + 1 DOBLE (TANDEM)	C2 – R2 / 3	4,10	2,60	19,90	3,80 / 6,10 / 6,40	13,70	6,80
REMOLQUE 3 EJES + 1 DOBLE (TANDEM)	C3 – R2 / 3 / 4	4,10	2,60	19,90	3,80 / 6,10 / 6,40	13,70	6,80

* Altura máxima para contenedores 4.65

Fuente: *Manual DG-2001-MTC. Tabla 201.01*

2.2.3 Características de Tránsito

a) Generalidades

El camino se diseña para un volumen de tránsito que se determina como demanda diaria promedio a servir, al final del periodo de diseño, calculado como el número de vehículos promedio que utilizan la vía actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual. ⁽²⁾

b) Índice Medio Diario Anual (IMDA)

Es el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la vía en la sección considerada y permite realizar los cálculos de factibilidad económica.

En los estudios del tránsito se puede tratar de dos situaciones: el caso de los estudios para caminos existentes, y el caso para caminos nuevos, es decir que no existen actualmente.

En el primer caso, el tránsito existente podrá proyectarse mediante los sistemas convencionales que se indican a continuación. El segundo caso requiere de un

⁽²⁾ PROVIAS RURAL-MTC. Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de bajo Volumen de Tránsito-2005. Pág. 22.

estudio de desarrollo económico zonal o regional que lo justifique.

c) Clasificación por Tipo de Vehículo

Expresa en porcentaje la participación que le corresponde en el IMD a las diferentes categorías de vehículos, debiendo diferenciarse por lo menos las siguientes:

- Vehículos Ligeros: Automóviles, Camionetas hasta 1,500 Kgs.
- Transporte Colectivo: Buses Rurales e Interurbanos.
- Camiones: Unidad Simple para Transporte de Carga.
- Semirremolques y Remolques: Unidad Compuesta para Transporte de Carga.

Según sea la función del camino la composición del tránsito varía en forma importante de una a otra vía.

d) Demanda Horaria

Cuando se trata de caminos de alto tránsito, es el volumen horario de diseño (VHD), y no el IMDA, lo que determina las características que deben otorgarse al proyecto para evitar problemas de congestión y determinar condiciones de servicio aceptables. Se establece las variaciones horarios de la demanda por sentido de tránsito y también de la suma de ambos sentidos. También se establece la hora de máxima demanda.

Se realizan conteos para las 24 horas corridas. Pero si se conoce la hora de mayor demanda, puede contarse por un período menor.

A falta de información estadística que permita elaborar el análisis detallado del comportamiento horario actual de una ruta existente o para estimar el VHD, de una nueva ruta, se podrá utilizar la relación empírica extensamente comprobada en caminos de tránsito mixto, que relaciona el IMDA con el VHD:

$$\text{VHD}_{\text{año 1}} = 0.12 \sim 0.18 \text{ IMDA}_{\text{año 1}}$$

Coefficientes del orden de **0.12** corresponden por lo general a carreteras de tránsito mixto con variaciones estacionales moderadas.

Coefficientes del orden **0.18** se asocian a carreteras con variaciones estacionales marcadas, causadas normalmente por componentes de tipo turístico.

e) Crecimiento del Tránsito

El crecimiento del tránsito se calcula utilizando la fórmula:

$$T_n = T_o (1+i)^{n-1}$$

Donde:

- T_n** : Tránsito proyectado al año "n" en veh/día
- T_o** : Tránsito actual (año base o) en veh/día
- n** : Años del período de diseño
- i** : Tasa anual de crecimiento del tránsito. Definida en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico ⁽³⁾ normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La proyección puede también dividirse en dos partes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa de crecimiento de la población; y una proyección de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos índices de crecimiento correspondientes a la Región, que normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias.

2.2.4 Velocidad del Diseño

a) Definición

La velocidad directriz o de diseño es la escogida para el diseño, entendiéndose que será la máxima para mantener con seguridad sobre una sección determinada de la carretera, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño.

La selección de la velocidad de diseño es una consecuencia de un análisis técnico-económico de alternativas de trazado, que deberán tener en cuenta la orografía del territorio para mantener un trazo seguro.

Para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito, el diseño se adapta en lo posible a las inflexiones del territorio y particularmente la velocidad de diseño deberá ser bastante baja cuando se trate de sectores o tramos de orografía más accidentada.

⁽³⁾ PROVIAS RURAL-MTC. Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de bajo Volumen de Tránsito-2005. Pág. 22.

Social: Tasa Anual de Crecimiento de la Población.

Económico: Tasa Anual de Crecimiento de la Economía (PBI)

La velocidad de diseño es muy importante para establecer las características del trazado en planta, elevación y sección transversal del camino.

Se admite una diferencia máxima de 20 km/h entre velocidades directrices de tramos contiguos, y cada tramo debe tener longitud mínima de 2 km.

b) Velocidad de Circulación

La velocidad de circulación corresponde a la norma que se dicte para señalar el camino y limitar la velocidad máxima a la que debe circular el usuario, que deberá indicarse mediante la señalización correspondiente.

2.3 SECCIÓN TRANSVERSAL

2.3.1 Introducción

La sección transversal influye fundamentalmente en la capacidad de la vía, en su costo de expropiación, construcción y conservación, y la seguridad de la circulación. El elemento mas importante es la calzada, sus dimensiones deben permitir mantener un nivel de servicio adecuado, para el tráfico proyectado.

Para dimensionar la sección transversal, se tendrá en cuenta que los caminos de Bajo Volumen de Tránsito, solo requerirán: a) Una calzada de circulación vehicular con dos carriles, una para cada sentido; y b) Para los caminos de menor volumen, un solo carril de circulación, con plazoletas de cruce y/o de volteo cada cierta distancia, según se estipula más adelante.

2.3.2 Elementos

Los elementos que integran y definen la sección transversal son: ancho de zona o derecho de vía, calzada ó superficie de rodadura, bermas, carriles, cunetas, taludes y elementos complementarios, tal como se ilustra en la **Figura 2-1**, donde se muestra una sección en media ladera para una vía en curva.

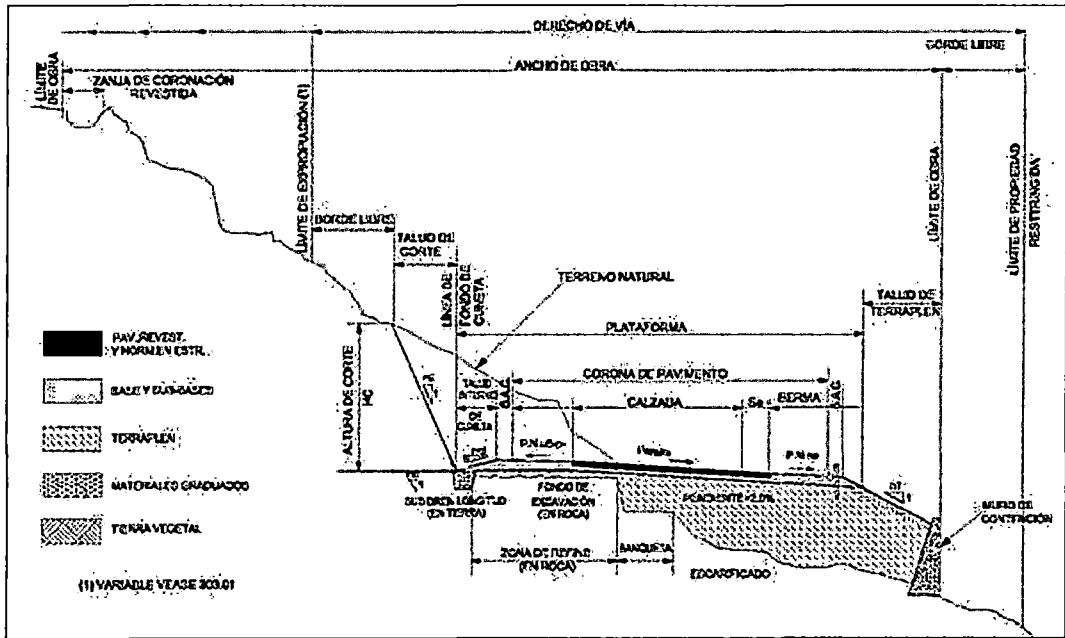


Fig. 2-1 Sección Transversal en Curva

Fuente: *Manual DG-2001-MTC Fig. 302.02*

2.3.3 Derecho de Vía o Faja de Dominio

a) Naturaleza del Derecho de Vía

El Derecho de Vía, es la franja de terreno de dominio público, definida a lo largo y a ambos lados del eje de la vía. En el derecho de la vía se ubican las calzadas de circulación vehicular, las bermas, las estructuras complementarias de las vías, las zonas de seguridad para los usuarios de las vías, las áreas necesarias para las intersecciones viales, estacionamientos vehiculares en las vías públicas, las estructuras de drenaje y de estabilización de la plataforma del camino y de los taludes del camino, la señalización vial del tránsito, los paraderos de transporte público, las áreas que permiten tener distancias de visibilidad segura para la circulación de las personas y vehículos, etc.

TABLA 2.6
 ANCHO MÍNIMO DE DERECHO DE VIA

Tipo de Carretera	Mínimo Deseable (m)	Mínimo Absoluto* (m)
Autopistas	50	30
Multicarriles o Duales	30	24
Dos Carriles (1ra. y 2da.)	24	20
Dos Carriles (3ra. clase)	20	15

Fuente: *Manual DG-2001-MTC. Tabla 303.03*

Para Caminos de Bajo Volumen de Transito, la faja de dominio dentro de la que se encuentra la carretera y sus obras complementarias, se extenderá como mínimo, para carreteras de bajo volumen de tránsito a 1 m, más allá del borde de los cortes, del pie de los terraplenes o del borde más alejado de las obras de drenaje que eventualmente se construyan.

La distancia mínima absoluta entre pie de taludes o de obras de contención y un elemento exterior es 2.00 m. La mínima deseable es 5.00 m

b) Faja de Propiedad Restringida

A cada lado del Derecho de Vía habrá una faja de Propiedad Restringida. La restricción se refiere a la prohibición de ejecutar construcciones permanentes que afecten la seguridad o visibilidad, y que dificulten ensanches futuros.

La Norma DG-2001, fija esta zona restringida para Carreteras de 3era. Clase en 10 m a cada lado del Derecho de Vía.

TABLA 2.7
ZONA DE PROPIEDAD RESTRINGIDA A CADA LADO DEL DERECHO DE VÍA

Clasificación	Zona de Propiedad Restringida (m)
Autopistas	35
Multicarril o Duales	25
Dos Carriles (1ra. y 2da. clase)	15
Dos Carriles (3ra. clase)	10

Fuente: *Manual DG-2001-MTC. Tabla 303.04*

2.3.4 Sección Transversal

a) Número de Carriles de la Sección Tipo

El número de carriles de cada calzada se fija de acuerdo con las previsiones de la intensidad y composición del tráfico previsible en la hora de diseño del año horizonte, así como del nivel de servicio deseado, y en su caso, de los estudios económicos pertinentes.

El diseño de caminos de muy bajo volumen de tráfico $IMDA < 50$, la calzada esta dimensionada para un solo carril, en los demás casos la calzada se dimensiona para 2 carriles. (Ver Tabla 2.8)

b) Calzada

En la **Tabla 2.8**, se indica los valores apropiados del ancho de la calzada en tramos rectos para cada velocidad directriz en relación al tráfico previsto y a la importancia de la carretera.

TABLA 2.8
ANCHO MÍNIMO DE LA CALZADA EN TANGENTE
(metros)

Tráfico IMDA	< 15		15 á 50		50 á 100		100 á 200		200 á 400	
Velocidad km/h	*	*	**	*	**	*	**	*	**	
25	3.50*	3.50*	5.00	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	
30	3.50*	4.00*	5.50	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	
40	3.50*	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.60	
50	3.50*	5.50	6.00	5.50	6.00	6.00	6.00	6.60	6.60	
60		5.50	6.00	5.50	6.00	6.00	6.00	6.60	6.60	
70		5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.60	7.00	
80		5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.60	7.00	7.00	

- * Caminos del Sistema Vecinal y Caminos del Sistema Departamental y Nacional sin pavimentar.
- ** Carreteras del Sistema Nacional y Carreteras importantes del Sistema Departamental; predominio de tráfico pesado.
- ♦ Calzada de un solo carril, con plazoleta de cruce y/o adelantamiento.

Fuente: *Manual CBVT-2005-MTC. Cuadro 3.5.1a*

c) Bermas

A cada lado de la calzada se proveerán bermas con un ancho mínimo de 0.50 m. En la **Tabla 2.9**, se indican los valores apropiados del ancho de las bermas, para cada velocidad directriz se diseña teniendo en cuenta los volúmenes de tráfico.

TABLA 2.9
ANCHO DE BERMAS (metros)

CLASIFICACIÓN	SUPERIOR								PRIMERA CLASE				SEGUNDA CLASE				TERCERA CLASE			
	> 4000								4000 - 2001				2000-400				< 400			
IMPORTANCIA (1)																				
CARACTERÍSTICAS	AP ⁽²⁾				MC				DC				DC				DC			
OROGRAFÍA TIPO	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
VELOCIDAD DE DISEÑO:																				
30 KPH																			0,50	0,50
40 KPH															1,20	0,90	0,90	0,50		
50 KPH											1,20	1,20			1,20	1,20	0,90	0,90	0,90	
60 KPH					1,80	1,80	1,50	1,50	1,50	1,50	1,20	1,20	1,50	1,50	1,20	1,20	0,90	0,90		
70 KPH			1,80	1,80	1,80	1,80	1,50	1,50	1,50	1,50	1,20	1,20	1,50	1,50	1,50		1,20	1,20		
80 KPH	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,50		1,50	1,50			1,20			
90 KPH	1,80	1,80			1,80	1,80	1,80		1,80	1,80			1,50							
100 KPH	2,00	2,00			2,00	2,00	1,80		1,80				1,50							
110 KPH	2,00	2,00			2,00	2,00														
120 KPH	2,50	2,50			2,00															
130 KPH	2,50																			
140 KPH	2,50																			

AP : Autopista
MC : Carretera Multicarril
DC : Carretera Doble Carril

Fuente: Manual DG-2001-MTC. Tabla 304.02

En los tramos en tangentes las bermas tendrán una pendiente de 4% hacia el exterior de la plataforma.

La berma situada en el lado inferior del peralte seguirá la inclinación de este cuando su valor sea superior a 4%. En caso contrario la inclinación de la berma será igual al 4%.

La berma situada en la parte superior del peralte deberá tener una inclinación en sentido contrario al peralte igual a 4%, de modo que escurra hacia la cuneta.

La diferencia algebraica entre las pendientes transversales de la berma superior y la calzada será siempre igual o menor a 7%.⁽⁴⁾

d) Ancho de la Plataforma

El ancho de la plataforma a rasante terminada resulta de la suma del ancho en calzada y del ancho de las bermas.

La plataforma a nivel de la subrasante tendrá un ancho necesario para recibir sobre ella la capa o capas integrantes del afirmado, y la cuneta de drenaje.

En caminos de un solo carril con dos sentidos de tránsito, se construyen plazoletas de cruce que son ensanches en la plataforma, cada 500 m como mínimo.

La ubicación de las plazoletas se fijan de preferencia en los puntos que combinen mejor la visibilidad a lo largo del camino, con la facilidad de ensanchar la plataforma.

e) Bombeos

En los tramos rectos, la sección transversal de la calzada presentan inclinación transversal (bombeo) desde el centro hacia cada uno de los bordes, para facilitar el drenaje superficial. El bombeo depende del tipo de superficie de rodadura y los niveles de precipitación de la zona.

Las carreteras no pavimentadas tendrán bombeo entre 2% y 3%. En los tramos en curva, el bombeo será sustituido por el peralte.

⁽⁴⁾ PROVIAS RURAL-MTC. Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de bajo Volumen de Tránsito-2005. Pág. 53.

f) Peralte

f.1) Valores del Peralte

Se denomina peralte a la sobre elevación de la parte exterior de un tramo del camino en curva con relación a la parte interior del mismo, con el fin de contrarrestar la acción de la fuerza centrífuga, las curvas horizontales deben ser peraltadas.

Los valores máximos del peralte, son controlados por algunos factores como: condiciones climáticas, orografía, zona (rural ó urbana) y frecuencia de vehículos pesados de bajo movimiento, en términos generales se utilizan como valores máximos los siguientes:

TABLA 2.10
VALORES DE PERALTE MÁXIMO

	Peralte Máximo (%)	
	Absoluto	Normal
Cruce de Áreas Urbanas	6,0	4,0
Zona rural (Tipo 1, 2 ó 3)*	8,0	6,0
Zona rural (Tipo 3 ó 4)	12,0	8,0
Zona rural con peligro de hielo	8,0	6,0

(*) El tipo corresponde a la clasificación vial según condiciones orográficas
Fuente: *Manual DG-2001-MTC. Tabla 304.02*

El peralte máximo tendrá como valor máximo normal 8% y como valor excepcional 10%. En carreteras afirmadas bien drenadas en casos extremos podría justificarse un peralte máximo alrededor de 12%.

El valor del peralte, bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, está dado por la expresión:

$$p = \frac{V^2}{127 \cdot R} - f$$

Donde:

- p** : Peralte máximo asociado a V
- V** : Velocidad directriz o de diseño (km/h)
- R** : Radio mínimo absoluto (m)
- f** : Coeficiente de fricción lateral máximo asociado a V

Los valores máximos de la fricción lateral a emplearse son los que se señalan a continuación:

TABLA 2.11
FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMA EN CURVAS

Velocidad Directriz Km/h	f
20	0.18
30	0.17
40	0.17
50	0.16
60	0.15
70	0.14
80	0.14

Fuente: *Manual CBVT-2005-MTC. Cuadro 3.2.6.1a*

En caminos cuyo IMDA de diseño sea inferior a 200 Veh/día y la velocidad directriz igual o menor a 30 km/h, el peralte de todas las curvas podrá ser igual a 2.5%.

En la **Tabla 2.12** se muestran los valores de radios mínimos y peraltes máximos elegibles para cada velocidad directriz. En esta misma tabla se muestran los valores de la fricción transversal máxima.

TABLA 2.12
RADIOS MÍNIMOS Y PERALTES MÁXIMOS

Velocidad Directriz (km/h)	Peralte Máximo e(%)	Valor Límite de fricción f_{max}	Calculado Radio mínimo (m)	Redondeo Radio mínimo (m)
20	4.0	0.18	14.3	15
30	4.0	0.17	33.7	35
40	4.0	0.17	60.0	60
50	4.0	0.16	98.4	100
60	4.0	0.15	149.1	150
70	4.0	0.14	214.2	215
80	4.0	0.14	279.8	280
20	6.0	0.18	13.1	15
30	6.0	0.17	30.8	30
40	6.0	0.17	54.7	55
50	6.0	0.16	89.4	90
60	6.0	0.15	134.9	135
70	6.0	0.14	192.8	195
80	6.0	0.14	251.8	250
20	8.0	0.18	12.1	10
30	8.0	0.17	28.3	30
40	8.0	0.17	50.4	50
50	8.0	0.16	82.0	80
60	8.0	0.15	123.2	125
70	8.0	0.14	175.3	175
80	8.0	0.14	228.9	230
20	10.0	0.18	11.2	10
30	10.0	0.17	26.2	25
40	10.0	0.17	46.6	45

50	10.0	0.16	75.7	75
60	10.0	0.15	113.3	115
70	10.0	0.14	160.7	160
80	10.0	0.14	209.9	210
20	12.0	0.18	10.5	10
30	12.0	0.17	24.4	25
40	12.0	0.17	43.4	45
50	12.0	0.16	70.3	70
60	12.0	0.15	104.9	105
70	12.0	0.14	148.3	150
80	12.0	0.14	193.7	195

Fuente: *Manual CBVT-2005-MTC. Cuadro 3.2.6.1b*

En caminos cuyo IMDA de diseño sea inferior a 200 veh/día y la velocidad directriz igual o menor a 30 Km/h, el peralte de todas las curvas podrá ser igual al 2.5%.

La variación de la inclinación de la sección transversal desde la sección con bombeo normal en el tramo recto hasta la sección con el peralte pleno, se desarrolla en una longitud de vía denominada transición.

f.2) Longitud de Transición de Peralte.

Longitud de Transición de Peralte a aquella longitud en la que la inclinación de la sección gradualmente varía desde el punto en que se ha desvanecido totalmente el bombeo adverso hasta que la inclinación corresponde a la del peralte.

La transición del peralte se efectúa sobre las tangentes contiguas a la curva, dando parte de la transición en las tangentes y parte sobre la curva circular. Las transiciones se introducen dentro de la curva circular hasta en un 50%, siempre que por lo menos la tercera parte de la longitud de la curva quede con peralte completo ($L_c/3$).

Esta consideración limita la longitud mínima de la tangente entre dos curvas circulares consecutivas de sentido contrario que no tengan espirales de transición. Esa longitud debe ser igual a la semisuma de las longitudes de transición de las dos curvas.

De la Norma DG-2001, la longitud mínima de transición de peralte esta definida por la ecuación:

$$L_{\min} = \frac{p_f - p_i}{1.8 - 0.01 \cdot V} \cdot B$$

Donde:

- L_{\min} : Longitud mínima del tramo de transición del peralte
- p_f : Peralte final con su signo (%)

- p_i : Peralte inicial con su signo (%)
B : Distancia del borde de la calzada al eje de giro del peralte.

f.3) Peraltes Mínimos

Las curvas con radios mayores que los indicados en la **Tabla 2.13** para cada velocidad directriz mantendrá el peralte de 2.5%.

TABLA 2.13
VALORES DE RADIOS CON PERALTE MÍNIMO

Velocidad Directriz (Km/h)	Peralte 2% para curvas con radio mayor de m.
30	330
40	450
50	650
60	850
70	1150
80	1400
90	1700
100	2000
110	2400
> 120	3000

Fuente: *DG-2001-MTC. Tabla 304.07*

TABLA 2.14
VALORES DE RADIO POR ENCIMA DE LOS CUALES NO ES INDISPENSABLE PERALTE

V (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	> 100
R (m)	1000	1400	1800	2300	2800	3400	4100	5000

Fuente: *Manual DG-2001-MTC. Tabla 304.08*

g) Sobreancho

La necesidad de proporcionar sobreancho en una calzada se debe a que el vehículo de diseño ocupa un mayor ancho en las curvas, así mismo, el conductor tiene mayor dificultad en mantener el vehículo dentro del carril. El sobreancho se distribuye en el lado interno de la curva.

Los valores calculados son redondeados a múltiplos de 0,10 metros. El valor mínimo de sobreancho es 0.30 m

Para velocidades de diseño menores a 50 km/h no se requerirá sobreebanco cuando el radio de curvatura sea, mayor a 500 m., tampoco se requerirá sobreebanco cuando las velocidades de diseño estén comprendidas entre 50 y 70 km/h y el radio de curvatura sea mayor a 800 m.

En la **Tabla 2.15**, se presentan los sobreebanco requeridos para calzadas de doble carril.

**TABLA 2.15
 VALORES DEL SOBREEBANCO**

$$S_a = e \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + V / 10 \sqrt{R}$$

L (EJE POSTERIOR. - PARTE FRONTAL) : 7,30 m (C2)
 N° DE CARRILES : 2

R	V = 30 KPH		V = 40 KPH		V = 50 KPH		V = 60 KPH		V = 70 KPH		V = 80 KPH	
	Calculo (m)	Redondeado (m)	Calculo (m)	Redondeado (m)	Calculo (m)	Redondeado (m)	Calculo (m)	Redondeado (m)	Calculo (m)	Redondeado (m)	Calculo (m)	Redondeado (m)
25	2.78	2.8										
28	2.5	2.5										
30	2.35	2.4										
35	2.05	2.1										
37	1.95	2										
40	1.82	1.9										
45	1.64	1.7	1.79	1.8								
50	1.5	1.5	1.64	1.7								
55	1.38	1.4	1.51	1.5								
60	1.28	1.3	1.41	1.4								
70	1.12	1.2	1.24	1.3	1.36	1.4						
80	1	1	1.11	1.1	1.23	1.2						
90	0.91	0.9	1.01	1	1.12	1.1						
100	0.83	0.9	0.93	0.9	1.03	1	1.13	1.1				
120	0.72	0.8	0.81	0.8	0.9	0.9	0.99	1				
130	0.67	0.7	0.76	0.8	0.85	0.9	0.94	1				
150	0.6	0.6	0.68	0.7	0.76	0.8	0.85	0.9	0.93	0.9		
200	0.48	0.5	0.55	0.6	0.62	0.6	0.69	0.7	0.76	0.8	0.83	0.8
250	0.4	0.4	0.47	0.5	0.53	0.5	0.59	0.6	0.66	0.7	0.72	0.7
300	0.35	0.4	0.41	0.4	0.47	0.55	0.52	0.5	0.58	0.6	0.64	0.6
350	0.31	0.3	0.37	0.4	0.42	0.4	0.47	0.5	0.53	0.5	0.58	0.6
400	0.28	0.3	0.33	0.4	0.38	0.4	0.43	0.4	0.48	0.5	0.53	0.5
450			0.31	0.3	0.35	0.4	0.4	0.4	0.45	0.4	0.5	0.5
500					0.33	0.3	0.37	0.4	0.42	0.4	0.46	0.5
550							0.35	0.4	0.4	0.4	0.44	0.4
600							0.33	0.3	0.37	0.4	0.42	0.4
650									0.36	0.4	0.4	0.4
700									0.34	0.3	0.38	0.4
800											0.35	0.4
900											0.33	0.3

Fuente: *Manual DG-2001-MTC, Tabla 402.05*

La repartición del sobreebanco se hace en forma lineal empleando para ello, la longitud de transición de peralte de esta forma se puede conocer el sobreebanco deseado en cualquier punto, usando la siguiente relación matemática.

$$S_{a_n} = \frac{S_a}{L} \times L_n$$

Donde:

- Sa_n : Sobreebanco deseado en cualquier punto (m)
 Sa : Sobreebanco calculado para la curva (m)
 L_n : Longitud arbitraria, a la cual se desea determinar el sobreebanco (m)
 L : Longitud de transición de peralte (m).

h) Taludes

Para determinar la inclinación de los taludes se realiza una evaluación general de la estabilidad de taludes existentes, identificación de los taludes críticos o susceptibles a inestabilidad. Esta labor la realiza el Ingeniero Especialista en Geología-Geotecnia, el cual elaborará el Cuadro de Clasificación de Materiales.

h.1) Taludes en Corte

Los taludes de corte dependerán de la naturaleza del terreno, calidad, estratificación y estabilidad, se puede utilizar las relaciones de corte que son apropiados para los tipos de materiales (rocas y suelos) indicados en la **Tabla 2.16**.

Se debe analizar las condiciones específicas del lugar, incluidos muy especialmente las geológico-geotécnicas, facilidades de mantenimiento, perfilado y estética.

**TABLA 2.16
TALUDES DE CORTE**

CLASE DE TERRENO	TALUD (V : H)		
	H < 5.00	5 < H > 10	H < 10
Roca Fija	10 : 1	(*)	(*)
Roca Suelta	6 : 1 - 4 : 1	(*)	(*)
Conglomerados Cementados	4 : 1	(*)	(*)
Suelos Consolidados Compactos	4 : 1	(*)	(*)
Conglomerados Comunes	3 : 1	(*)	(*)
Tierra Compacta	2 : 1 - 1 : 1	(*)	(*)
Tierra Suelta	1 : 1	(*)	(*)
Arenas Sueltas	2 : 1	(*)	(*)
Zonas blandas con abundante arcillas o zonas humedecidas por filtraciones	1 : 2 hasta 1 : 3	(*)	(*)

(*) Requiere Banqueta o análisis de estabilidad

Fuente: *Manual CBVT- 2005-MTC. Cuadro 5.2.1*

h.2) Taludes de Relleno

También llamado talud de terraplén, igualmente está en función de los materiales con el cual está formado el terraplén, pudiendo utilizar a modo referencial los taludes indicados en la **Tabla 2.17**.

**TABLA 2.17
TALUDES DE RELLENO**

MATERIALES	TALUD (V : H)		
	H < 5	5 < H > 10	H < 10
Enrocado	1 : 1	(*)	(*)
Suelos diversos compactados	1 : 1.5	(*)	(*)
Arena Compactada	1 : 2	(*)	(*)

(*) Requiere Banqueta o análisis de estabilidad

Fuente: *Manual CBVT- 2005-MTC. Cuadro 5.2.2*

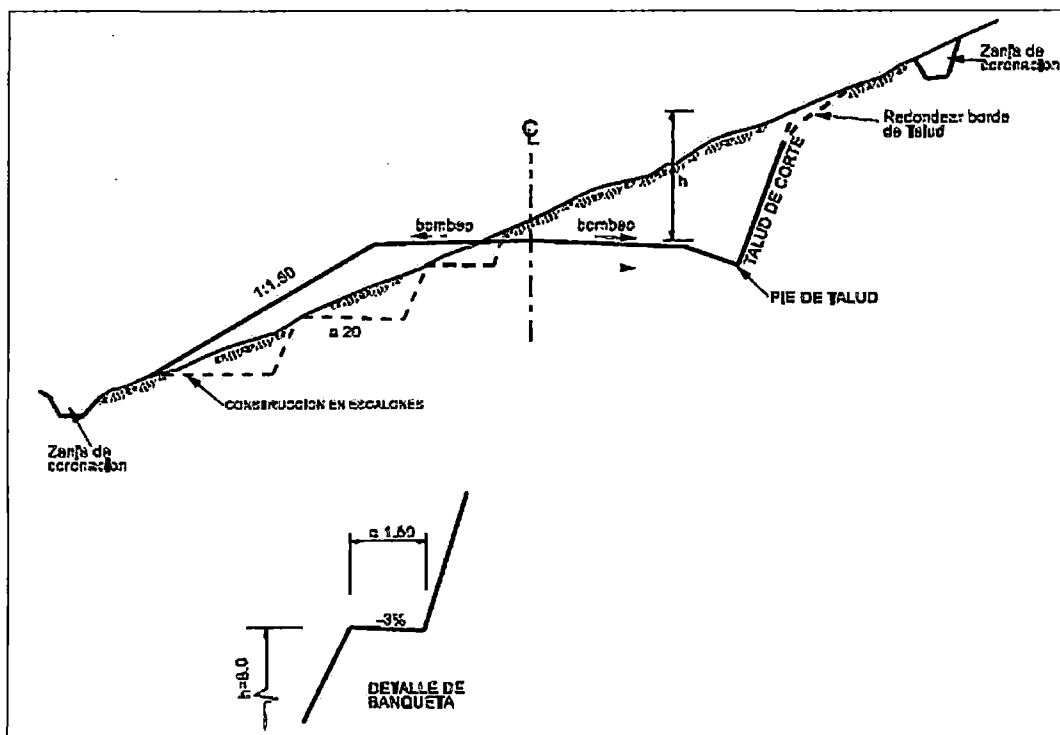


Fig. 2-2 Sección Típica en Media Ladera

Fuente: *Manual CBVT-2005, Fig. 5.2.6*

i) Cunetas

Es parte del drenaje superficial y tiene como finalidad proteger la estructura de pavimento y evitar el impacto negativo de las mismas sobre su estabilidad,

durabilidad y transitabilidad. El adecuado drenaje es esencial para evitar la destrucción total o parcial de la carretera y comprende:

- La recolección de las aguas procedentes de la plataforma, taludes y zonas adyacentes.
- La evacuación de las aguas recolectadas hacia cauces naturales o hacia una alcantarilla.

Las cunetas tienen en general sección triangular y se proyectan para todos los tramos al pie de los taludes de corte.

Sus dimensiones serán fijadas de acuerdo a las condiciones pluviométricas, siendo las dimensiones mínimas aquellas indicadas en la **Tabla 2.18**.

El ancho es medido desde el borde de la subrasante hasta la vertical que pasa por el vértice inferior. La profundidad es medida verticalmente desde el nivel del borde de la subrasante el fondo o vértice de la cuneta.

TABLA 2.18
DIMENSIONES MÍNIMAS DE LAS CUNETAS

Región	Profundidad (m)	Ancho (m)
Seca	0.20	0.50
Lluviosa	0.30	0.75
Muy lluviosa	0.50	1.00

Fuente: *Manual CBVT- 2005-MTC. Cuadro 4.1.3a*

De modo general la rasante es proyectada con pendiente longitudinal mínima de 0,2%, para cunetas revestidas y 0.5% para cunetas sin revestir, evitándose los tramos horizontales, con el fin de facilitar el movimiento del agua de las cunetas hacia sus aliviaderos o alcantarillas.

En caminos no pavimentados debe evitarse en lo posible para precaver la erosión por el agua de lluvias, pendientes mayores al 10%.

Cuando cuneta es de material fácilmente erosionable y se proyecta con una pendiente tal que le infiere al flujo una velocidad mayor a la máxima permisible del material constituyente, se protege con un revestimiento resistente a la erosión.

La velocidad de las aguas debe limitarse para evitar la erosión, sin reducirla tanto que pueda dar lugar a sedimentación. La velocidad mínima aconsejada es de 0.25 m/s, las máximas admisibles se indican en la **Tabla 2.19**.

Tabla 2.19
VELOCIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES

Material de Cauce	Velocidad Admisible (m/s)
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0,60 – 1,20
Arena fina o limo (Poca o ninguna arcilla)	0,30 – 0,60 m
Arcillas Grava gruesa	1,20
Pizarra blanda	1,20
Mampostería	1,50
Concreto	4,50

Fuente: Manual DG-2001-MTC. Tabla 304.13

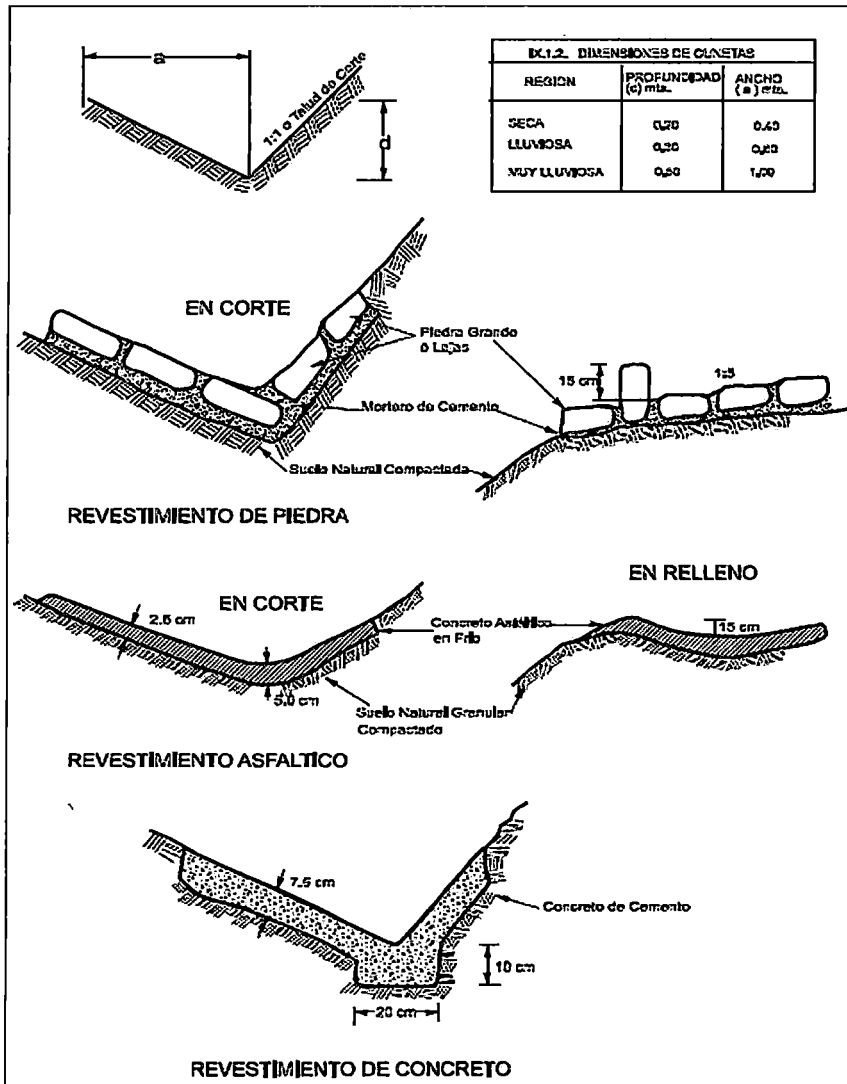


Fig. 2-3 Diseños Típicos de Cunetas

Fuente: Manual CBVT-2005. Fig. 4.1.3.9a

2.4 DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA Y PERFIL

2.4.1 Alineamiento Horizontal

a) Generalidades

El alineamiento horizontal permite la operación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar la misma velocidad directriz en la mayor longitud de carretera que sea posible.

En general, el relieve del terreno es el elemento de control del radio de las curvas horizontales y la velocidad directriz. Esta a su vez controla la distancia de visibilidad.

El trazado en planta se compone de una de la adecuada combinación de rectas y curvas.

b) Consideraciones de Diseño

Se presenta aquí algunos aspectos fundamentales que habrán de considerarse en el diseño del alineamiento, considerando su fluidez y apariencia general:

- No son deseables dos curvas sucesivas en el mismo sentido cuando entre ellas existe un tramo en tangente. Preferiblemente, deben ser sustituidas por una curva extensa única o, por lo menos, la tangente intermedia deberá sustituirse por un arco circular, constituyéndose entonces en curva compuesta.
- Los radios mínimos, calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento transversal del vehículo están dados en función a la velocidad directriz, a la fricción transversal y al peralte máximo aceptable.
- Debe buscarse un alineamiento horizontal homogéneo, en el cual tangentes y curvas se suceden armónicamente. Se restringe en lo posible el empleo de tangentes excesivamente largas, con el fin de evitar el encandilamiento nocturno prolongado, y la fatiga de los conductores durante el día.
- Al término de tangentes largas, donde es muy probable que las velocidades de aproximación de los vehículos sea mayor que la velocidad directriz, las curvas horizontales deben tener radios de curvatura razonablemente amplios.

- Debe evitarse pasar bruscamente de una zona de curvas de grandes radios a otra de radios marcadamente menores. Debe pasarse en forma gradual, intercalando entre una zona y otra, curvas de radio de valor decreciente, antes de alcanzar el radio mínimo.
- Los cambios repentinos en la velocidad de diseño a lo largo de una carretera deberán ser evitados. Estos cambios se efectuarán en decrementos o incrementos de 15 km/h.
- No se requiere curva horizontal para pequeños ángulos de deflexión. En la **Tabla 2.20** se muestran los ángulos de inflexión máximos para los cuales no es requerida la curva horizontal.

Tabla 2.20
ANGULOS DE DEFLEXIÓN MÁXIMOS
PARA LOS QUE NO REQUIERE CURVA HORIZONTAL

Velocidad Directriz Km/h	Deflexión Máxima aceptable sin curva circular
30	2° 30'
40	2° 15'
50	1° 50'
60	1° 30'
70	1° 20'
80	1° 10'

Fuente: *Manual CBVT- 2005-MTC. Cuadro 3.2.1*

- Para evitar la apariencia de alineamiento quebrado o irregular, es deseable que, para ángulos de deflexión mayores a los indicados en la **Tabla 2.20** la longitud de la curva sea por lo menos de 150 m. Si la velocidad directriz es menor a 50 km/h y el ángulo de deflexión es mayor que 5°, se considera como longitud de curva mínima deseada la longitud obtenida con la siguiente expresión $L = 3V$ (L = longitud de curva en metros y V = velocidad en km/hora). Deben evitarse longitudes de curvas horizontales mayores a 800 metros. ⁽¹⁰⁾
- Deben evitarse los alineamientos reversos abruptos. Estos cambios de dirección en el alineamiento hacen que sea difícil para los conductores mantenerse en su carril. También es difícil peraltar adecuadamente las curvas. La distancia entre dos curvas reversas deberá ser por lo menos la necesaria para el desarrollo de las transiciones de peralte.

- Evitar el empleo de curvas compuesta, en lo posible sustituir por una sola curva
- El alineamiento en planta deberá satisfacer, las condiciones necesarias de visibilidad de adelantamiento, en tramos suficientemente largos y con una frecuencia razonable a fin de dar oportunidad a que un vehículo adelante a otro.

c) Tramos en Tangente

La Norma DG-2001, dispone en caso de disponerse el elemento tangente, las longitudes mínima admisible y máxima deseable, en función de la velocidad directriz, serán las dadas en la **Tabla 2.21**.

**TABLA 2.21
 LONGITUD DE TRAMOS EN TANGENTE**

V_d (Km/h)	$L_{min.s}$ (m)	$L_{min.o}$ (m)	$L_{máx}$ (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171
140	195	390	2338
150	210	420	2510

Siendo:

$L_{min.s}$ = Longitud mínima (m) para trazados en "S" (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura de sentido contrario).

$L_{min.o}$ = Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura del mismo sentido).

$L_{máx}$ = Longitud máxima (m).

V_d = Velocidad de diseño (Km/h)

Fuente: Manual DG-2001-MTC. Tabla 402.01

d) Curvas Circulares

d.1) Elementos de la Curva Circular.

En la **Figura 2.4** se ilustran los diversos elementos asociados a una curva circular.

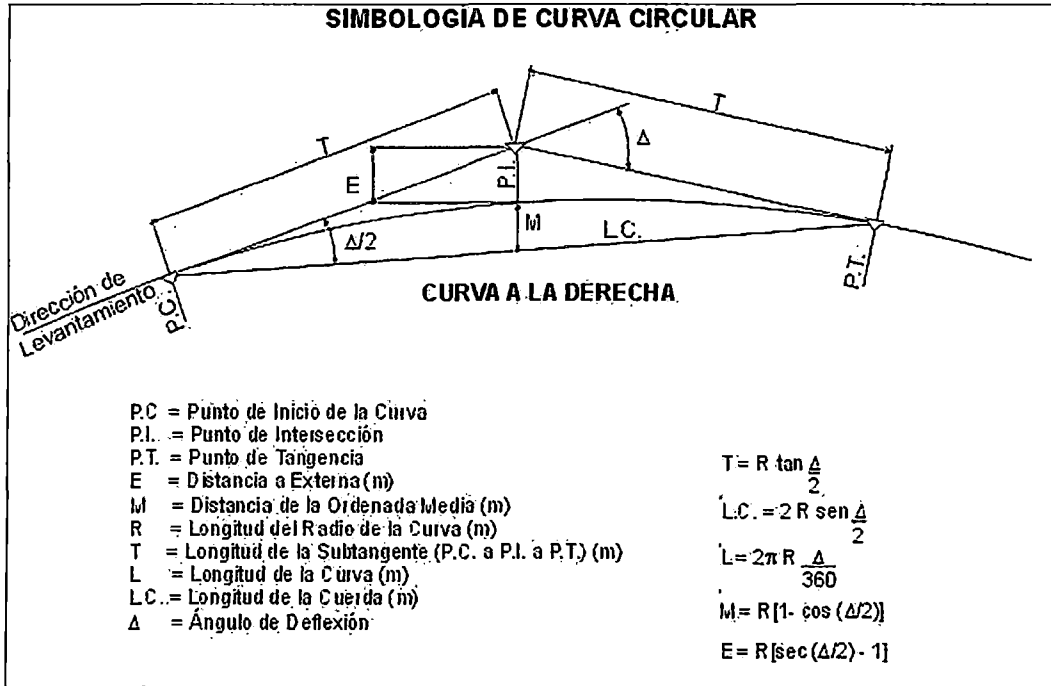


Fig. 2-4 Simbología de Curva Circular

Fuente: *Manual DG-2001. Fig. 402.01*

d.2) Radios Mínimos Absolutos

Los radios mínimos que se usan en las diferentes carreteras es función de la velocidad directriz y del peralte, de acuerdo a los valores que se indican en la

Tabla 2.22

TABLA 2.22
RADIOS MÍNIMOS Y PERALTES MÁXIMOS PARA DISEÑO DE CARRETERAS

Ubicación de la Vía	Velocidad de diseño (Km/h)	P máx%	Radio Mínimo (m)
Área Rural(Tipo 1,2 ó 3)	30	8,00	30
	40	8,00	50
	50	8,00	85
	60	8,00	125
	70	8,00	175
	80	8,00	230
	90	8,00	305
	100	8,00	395
	110	8,00	505
	120	8,00	670
	130	8,00	835
	140	8,00	1030
	150	8,00	1265
	Área Rural (Tipo 3 ó 4)	30	12,00
40		12,00	45
50		12,00	70
60		12,00	105
70		12,00	150
80		12,00	195
90		12,00	255
100		12,00	330
110		12,00	415
120		12,00	540
130		12,00	665
140		12,00	815
150		12,00	985

Fuente: *Manual DG-2001-MTC. Tabla 402.02*

e) Curvas Compuestas

Se deben evitar el empleo de curvas compuestas, tratar de reemplazarlas por una sola curva. En caso excepcional se podrá usar curvas compuestas mediante justificación técnico-económicas respetando las siguientes condiciones:

- El radio de una de las curvas no será mayor de 1.5 veces el radio de la otra.
- Para armonizar los valores del peralte y sobreebanco de cada una de las curvas vecinas, se emplea una longitud de transición.

f) Visibilidad

Distancia de visibilidad es la longitud continua hacia adelante del camino, que es visible al conductor del vehículo. En el diseño se consideran tres distancias: la de visibilidad suficiente para detener el vehículo; la necesaria para que un vehículo adelante a otro que viaja a velocidad inferior, en el mismo sentido; y la distancia requerida para cruzar o ingresar a un camino de mayor importancia.

f.1) Visibilidad de Parada

Distancia de visibilidad de parada, es la longitud mínima requerida para que se detenga un vehículo que viaja a la velocidad directriz, antes de que alcance un objeto que se encuentra en su trayectoria.

Para efecto de la determinación de la Visibilidad de Parada se considera que el objetivo inmóvil tiene una altura de 0.60 m y que los ojos del conductor se ubican a 1.10 m por encima de la rasante del camino.

TABLA 2.24
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

Velocidad Directriz (km/h)	Pendiente nula o en bajada				Pendiente en Subida		
	0%	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	20	19	18	18
30	35	35	35	35	31	30	29
40	50	50	50	53	45	44	43
50	65	66	70	74	61	59	58
60	85	87	92	97	80	77	75
70	105	110	116	124	100	97	93
80	130	136	144	154	123	118	114

Fuente: *Manual CBVT- 2005-MTC. Cuadro 3.1.1*

La pendiente ejerce influencia sobre la distancia de parada. Esta influencia tiene importancia práctica para valores de la pendiente de subida o bajada iguales o mayores a 6% y para velocidades directrices mayores de 70 km/hora.

En todos los puntos de una carretera, la distancia de visibilidad será igual o superior a la distancia de visibilidad de parada. En la **Tabla 2.24** se muestran las distancias de visibilidad de parada, en función de la velocidad directriz y de la pendiente. En caminos de muy bajo volumen de tránsito, de un solo carril y tráfico en dos direcciones la distancia de visibilidad deberá ser por lo menos dos veces la correspondencia a la visibilidad de parada.

Para el caso de la distancia de visibilidad de cruce, se aplicarán los mismos criterios que los de visibilidad de parada.

f.2) Visibilidad de Paso o Adelantamiento

Distancia de Visibilidad de Adelantamiento, es la mínima distancia que debe ser visible, a fin de facultar al conductor del vehículo a sobrepasar a otro vehículo que viaja a velocidad 15 km/h menor, con comodidad y seguridad, sin causar alteración en la velocidad de un tercer vehículo que viaja en sentido contrario a la velocidad directriz, y que se hace visible cuando se ha iniciado la maniobra de sobrepaso.

Para efecto de la determinación de la distancia de visibilidad de adelantamiento se considera que la altura del vehículo que viaja en sentido contrario es de 1.10 m y que la del ojo del conductor del vehículo que realiza la maniobra de adelantamiento es 1.10 m.

La visibilidad de adelantamiento debe asegurarse para la mayor longitud posible, del camino cuando no existen impedimentos impuestos por el terreno y que se reflejan, por lo tanto, en el costo de construcción.

La distancia de Visibilidad de Adelantamiento a adoptarse varía con la velocidad directriz tal como se muestra en la **Tabla 2.25**.

TABLA 2.25
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

Velocidad Directriz Km/h	Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (m)
30	200
40	270
50	345
60	410
70	485
80	540

Fuente: *Manual CBVT- 2005-MTC. Cuadro 3.1.2*

Cuando no se disponga la visibilidad de adelantamiento mínima, por restricciones causadas por elementos asociados a la planta o elevación o combinaciones de éstos, la zona de adelantamiento prohibido debe quedar señalizada mediante pintura en el pavimento y/o señalización vertical.

f.3) Banquetas de Visibilidad

En las curvas horizontales deberán asegurarse la visibilidad a la distancia mínima de parada, el control de este requisito y la determinación de la eventual banqueteta de visibilidad se definirá, luego de verificar si una curva provee o no la distancia de visibilidad requerida, se recurre al procedimiento de la Figura 2-6.

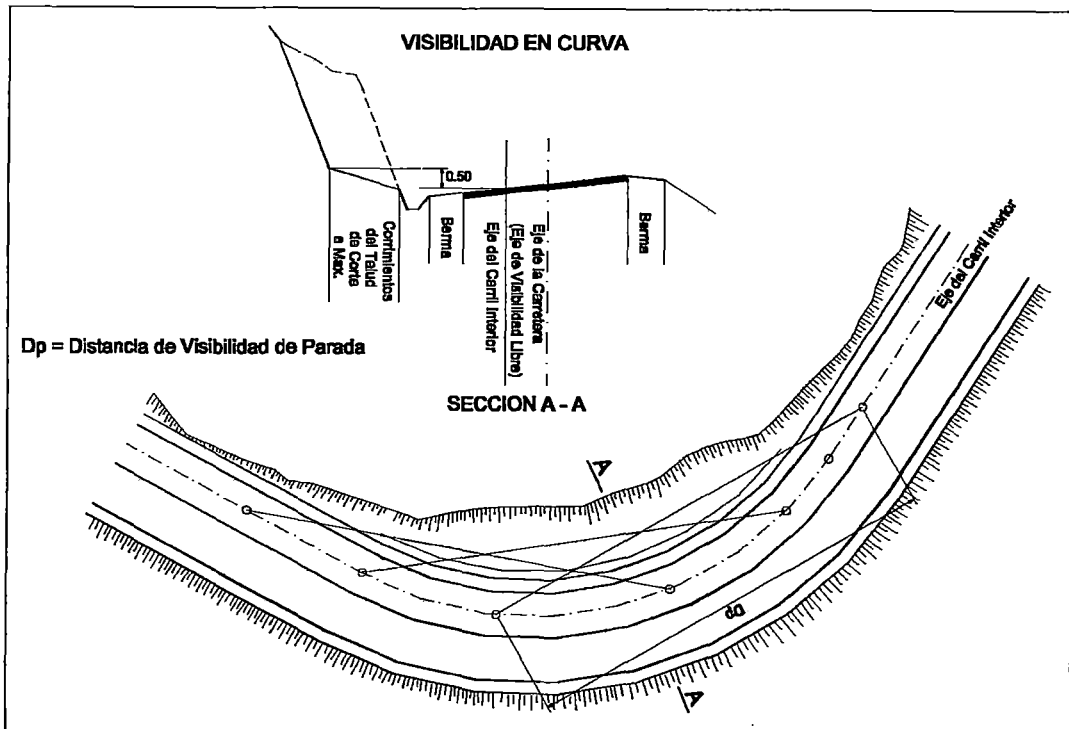


Fig. 2-6 Visibilidad en Curva

Fuente: Manual DG-2001. Fig. 402.08

2.4.2 Diseño Geométrico del Perfil Longitudinal

a) Generalidades

El perfil longitudinal está formado por la rasante constituida por una serie de rectas enlazadas por arcos verticales parabólicos, a los cuales dichas rectas son tangentes.

Las curvas verticales entre dos pendientes sucesivas permiten lograr una transición paulatina entre pendientes de distinta magnitud y/o sentido, eliminando el quiebre de la rasante. El adecuado diseño de ellas asegura las distancias de visibilidad requeridas por el proyecto.

El sistema de cotas del proyecto se refiere en lo posible al nivel medio del mar, para lo cual se enlaza los puntos de referencia del estudio con los B.M. de nivelación del Instituto Geográfico Nacional.

b) Consideraciones de Diseño

Para la definición del perfil se adoptarán, salvo casos suficientemente justificados, los siguientes criterios:

- En terreno plano salvo casos especiales la rasante estará por encima del terreno, a fin de favorecer el drenaje.
- En terreno ondulado, por razones de economía, la rasante se acomoda las inflexiones del terreno, de acuerdo con los criterios de seguridad, visibilidad, y estética.
- En terreno montañoso y en terreno escarpado, la rasante se acomoda al relieve del terreno, evitando los tramos en contrapendiente, cuando debe vencerse un desnivel considerable, ya que ello conduciría a un alargamiento innecesario, del recorrido de la carretera.
- Es deseable lograr una rasante compuesta por pendientes moderadas, que presente variaciones graduales entre los alineamientos, de modo compatible con la categoría de la carretera y la topografía del terreno.

c) Curvas Verticales

Los tramos consecutivos de rasante, son enlazados con curvas verticales parabólicas cuando la diferencia algebraica de sus pendientes sea mayor a 1%, para carreteras pavimentadas y mayor a 2% para las afirmadas.

Las curvas verticales son proyectadas de modo que permitan, cuando menos, la visibilidad en una distancia igual a la de visibilidad mínima de parada, y cuando sea razonable una visibilidad mayor a la distancia de visibilidad de paso.

La longitud de las curvas verticales esta en función del Índice de Curvatura (K) y el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes (A).

$$L = KA$$

Como consideración estética la longitud de curva vertical debe ser mayor o igual a la velocidad directriz ($L \geq V$)

c.1) Longitud de Curvas Convexas

La Longitud de curvas verticales convexas se usa para contar con visibilidad de Parada y visibilidad de Adelantamiento o Paso.

TABLA 2.26
INDICE "K" PARA EL CALCULO DE LA LONGITUD
DE LA CURVA VERTICAL CONVEXA

Velocidad Directriz km/h	LONGITUD CONTROLADA POR VISIBILIDAD DE FRENADO		LONGITUD CONTROLADA POR VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO	
	Distancia de Visibilidad de Frenado m.	Índice de Curvatura K	Distancia de Visibilidad de Adelantamiento	Índice de Curvatura K
20	20	0.6	--	--
30	35	1.9	200	46
40	50	3.8	270	84
50	65	6.4	45	138
60	85	11	410	195
70	105	17	485	272
80	130	26	540	338

El Índice de Curvatura es la longitud (L) de la curva de las pendientes (A) $K = L/A$ por el porcentaje de la diferencia algebraica.

Fuente: *Manual CBVT- 2005-MTC. Cuadro 3.3.2a*

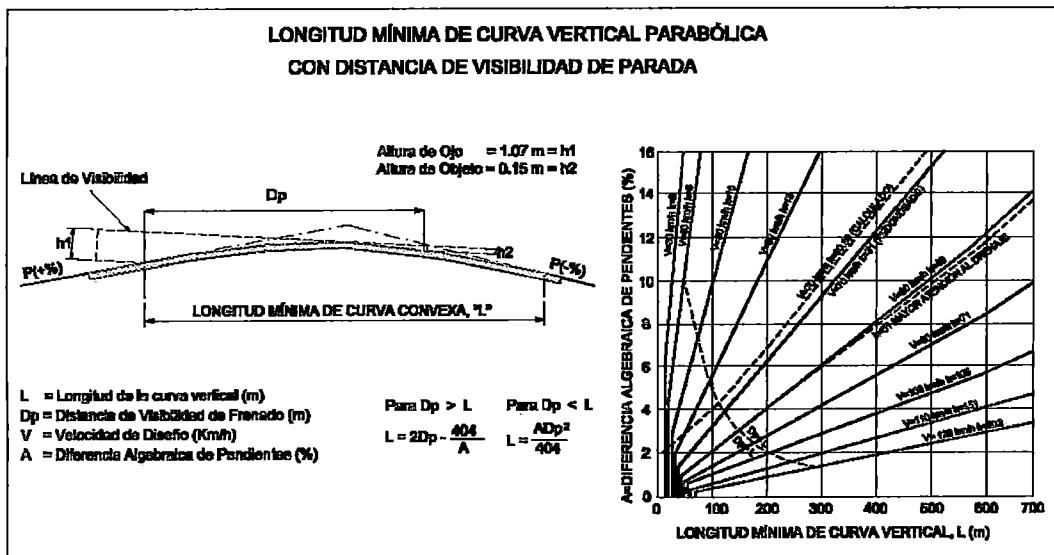


Fig. 2-7 Longitud Mínima de Curva Vertical
con Distancia de Visibilidad de Parada

Fuente: *Manual DG-2001. Fig. 403.01*

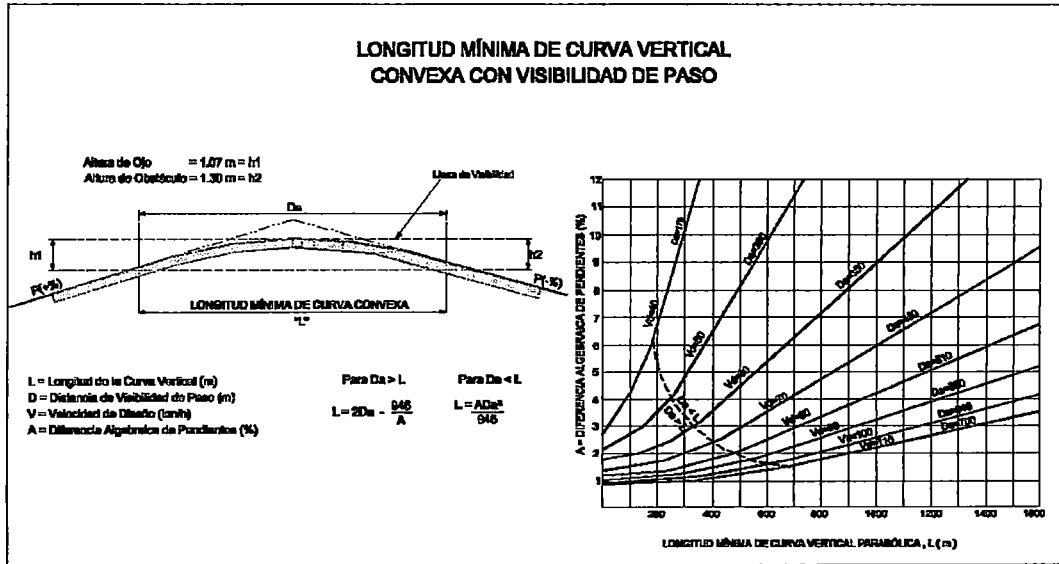


Fig. 2-8 Longitud Mínima de Curva Vertical con Distancia de Visibilidad de Paso

Fuente: Manual DG-2001, Fig. 403.02

c.2) Longitud de Curvas Cóncavas

**TABLA 2.27
 INDICE "K" PARA EL CALCULO DE LA LONGITUD DE LA CURVA VERTICAL CONCAVA**

VELOCIDAD DIRECTRIZ KM/H	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA M.	ÍNDICE DE CURVATURA K
20	20	2.1
30	35	5.1
40	50	8.5
50	65	12.2
60	85	17.3
70	105	22.6
80	130	29.4

El índice de Curvatura es la longitud (L) de la curva de las pendientes (A) $K = L/A$ por el porcentaje de la diferencia algebraica.

Fuente: Manual CBVT- 2005-MTC. Cuadro 3.3.2b

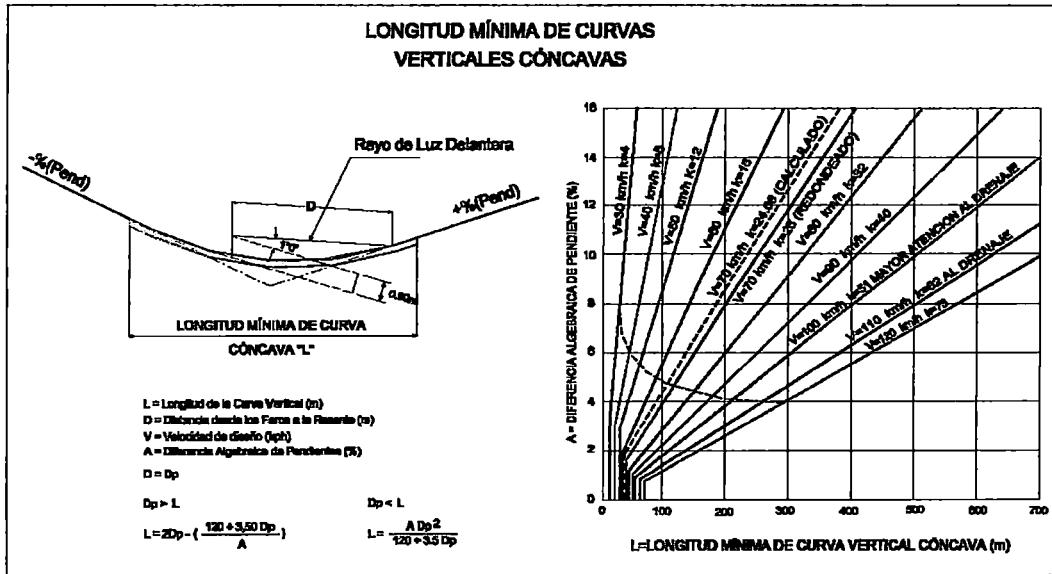


Fig. 2-9 Longitud Mínima de Curva Vertical Cóncava

Fuente: *Manual DG-2001. Fig. 403.03*

d) Pendiente

d.1) Pendientes Mínimas

En los tramos en corte se evita preferiblemente el empleo de pendientes menores de 0,5%. Se puede usar rasantes horizontales en los casos en que las cunetas adyacentes puedan ser dotadas de la pendiente necesaria para garantizar el drenaje y la calzada cuente con un bombeo superior a 2%.

d.2) Pendientes Máximas

En general, se considera deseable no sobrepasar los límites máximos de pendiente que están indicados en la **Tabla 2.28**.

En carreteras con altitudes superiores a los 3,000 msnm, los valores máximos de la **Tabla 2.28** para terreno montañoso o terreno escarpados se reducirán en 1%.

Los límites máximos de pendiente se establecerán teniendo en cuenta la seguridad de la circulación de los vehículos más pesados, en las condiciones más desfavorables de la superficie de rodadura.

**TABLA 2.28
PENDIENTES MÁXIMAS**

OROGRAFÍA TIPO	Terreno Plano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso	Terreno Escarpado
VELOCIDAD DE DISEÑO:				
20	8	9	10	12
30	8	9	10	12
40	8	9	10	10
50	8	8	8	8
60	8	8	8	8
70	7	7	7	7
80	7	7	7	7

Fuente: *Manual CBVT- 2005-MTC. Cuadro 3.3.3a*

En el caso de ascenso continuo y cuando la pendiente sea mayor del 5%, se proyecta, más o menos cada tres kilómetros, un tramo de descanso de una longitud no menor de 500 m, con pendiente no mayor de 2%. Se determina la frecuencia y la ubicación de estos tramos de descanso de manera que se consigan las mayores ventajas y los menores incrementos del costo de construcción.

En general cuando en la construcción de carreteras se emplee pendientes mayores a 10%, el tramo con esta pendiente no debe exceder a 180 m.

En curvas con radios menores a 50 debe evitarse pendientes en exceso a 8%, debido a que la pendiente en el lado interior de la curva se incrementa muy significativamente.

2.4.3 Coordinación entre Alineamiento Horizontal y Perfil Longitudinal

- El diseño de los alineamientos horizontal y vertical no debe realizarse independientemente. Para obtener seguridad, velocidad uniforme, apariencia agradable y eficiente servicio al tráfico, es necesario coordinar estos alineamientos.
- La superposición (coincidencia de ubicación) de la curvatura vertical y horizontal generalmente da como resultado un camino más seguro y agradable. Cambios sucesivos en el perfil longitudinal no combinados con la curvatura horizontal pueden conllevar una serie de depresiones no visibles al conductor del vehículo.
- No es conveniente comenzar o terminar una curva horizontal cerca de la cresta de una curva vertical. Esta condición puede resultar insegura especialmente en la noche, si el conductor no reconoce el inicio o final de

la curva horizontal. Se mejora la seguridad si la curva horizontal guía a la curva vertical. La curva horizontal debe ser más larga que la curva vertical en ambas direcciones.

- El diseño horizontal y vertical de un camino deberán estar coordinados de forma que el usuario pueda circular por ella de manera cómoda y segura. Concretamente, se evitará que circulando a la velocidad de diseño, se produzcan pérdidas visuales de trazado, definida ésta como el efecto que sucede cuando el conductor puede ver, en un determinado instante, dos tramos de camino, pero no puede ver otro situado entre los dos anteriores.

2.5 DIAGRAMA DE MASAS

2.5.1 Generalidades

La curva masa tiene como objetivo el equilibrio para la calidad y economía de los movimientos de tierras, además es un método que indica el sentido del movimiento de los volúmenes excavados, la cantidad y la localización de cada uno de ellos.

Las ordenadas de la curva resultan de sumar algebraicamente a una cota arbitraria inicial el valor del volumen de un corte con signo positivo y el valor del terraplén con signo negativo; como abscisas se toma el mismo cadenamiento utilizado en el perfil.

Los volúmenes se corrigen aplicando un coeficiente de abundamiento a los cortes o aplicando un coeficiente de reducción para el relleno.

2.5.2 Procedimiento

1. Proyectar la subrasante sobre el dibujo del perfil longitudinal del terreno.
2. Determinar en cada estación (estaca), los espesores de corte o relleno.
3. Dibujar las secciones transversales.
4. Dibujar la plantilla de corte o de relleno con los taludes escogidos según el tipo de material, quedando así dibujadas las secciones transversales del camino.
5. Calcular las áreas de las secciones transversales del camino por cualquiera de los métodos ya conocidos.
6. Calcular los volúmenes abundando los cortes o haciendo la reducción del relleno, según el tipo de material y método escogido.

7. Sumar algebraicamente los volúmenes.
8. Dibujar la curva con los valores anteriores.

2.5.3 Dibujo de la Curva Masa

Se dibuja de izquierda a derecha, sube de izquierda a derecha en los cortes, teniendo un máximo donde termina el corte, baja donde termina el relleno y comienza otro corte.

Se aconseja calcular curvas masa en tramos de 0.5 a 1 Km ya que se trata de un procedimiento de aproximaciones sucesivas y es difícil que la primera subrasante sea la mejor; la línea de compensación que da los acarrees mínimos es aquella que corta la curva Masa el mayor N° de veces.

Cuando esta dibujada la curva se traza la compensadora que es una línea horizontal que corta la curva en varios puntos.

Pueden dibujarse diferentes alternativas de línea compensadora para mejorar los movimientos, teniendo en cuenta que se compensan más los volúmenes cuando la misma línea compensadora corta más veces la curva, pero algunas veces el querer compensar demasiado los volúmenes, provoca acarrees muy largos que resultan mas costosos que otras alternativas.

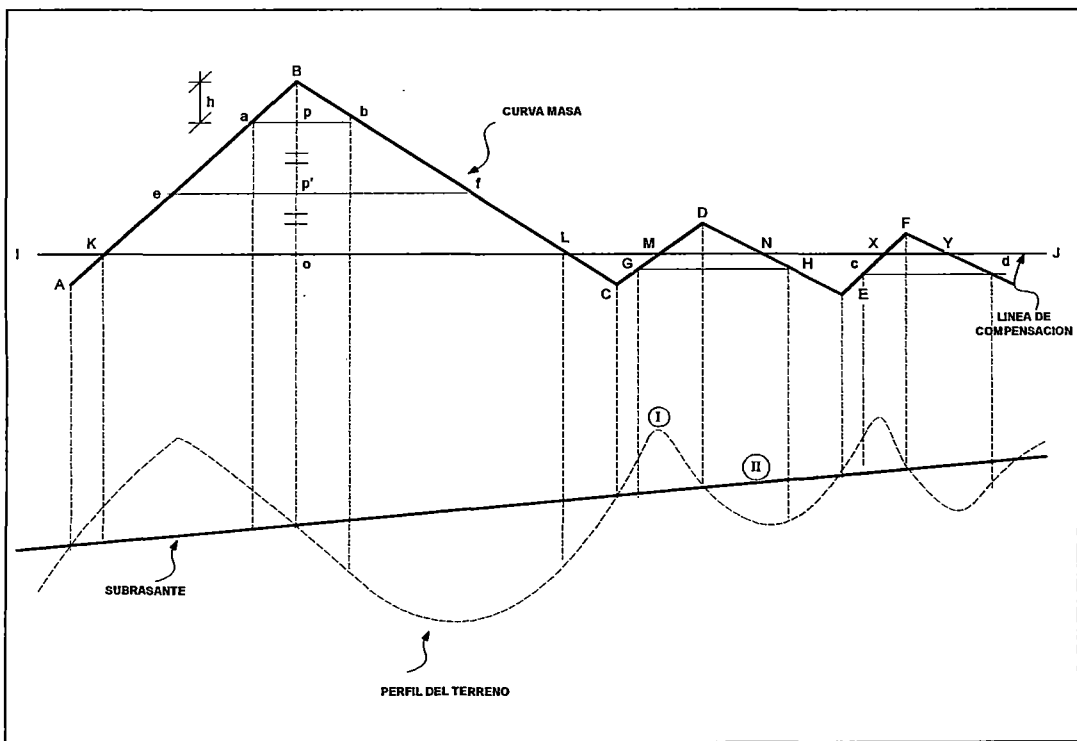


Fig. 2-10 Diagrama de Curva Masa

Los objetivos principales de la Curva Masa son las siguientes:

1. Compensar volúmenes.
2. Fijar sentido de los movimientos del material.
3. Fijar los límites de acarreo libre.
4. Calcular los sobreacarreos.
5. Controlar préstamos y desperdicios.

a) Compensar Volúmenes

Cualquier línea horizontal que corte una cima o un columpio de la curva masa, marca los límites de corte y terraplén que se compensan.

Ejemplo., si se traza en la Curva Masa la línea GH que corta ésta en esos 2 puntos. Esta horizontal indica que el volumen de corte comprendido entre GyD es suficiente para construir el terraplén de DH, o bajando al perfil del camino que el volumen de corte I, llena el terraplén II.

b) Sentido de los Movimientos

Los cortes que en la Curva Masa queden arriba de la línea de compensación se mueven hacia adelante y los cortes que queden abajo se mueven hacia atrás.

c) Distancia de Acarreo Libre (DAL)

Se ha adoptado en la práctica dentro del precio de excavación una distancia de 20 m, dentro de la cual no se hace pago adicional y esto es lo que se llama DAL, yo excavo y lo traslado hasta 20 m. y esto no se paga como transporte.

Para determinar los volúmenes de acarreo libre se toma un vector que a escala 1:2000 represente los 20 m y se va corriendo verticalmente hasta que toque a 2 puntos de la curva, la cantidad de material movido está dado por la ordenada de la horizontal al punto más alto o más bajo de la curva comprendida (h en la figura anterior).

En la figura de la CM líneas ab y cd se suponen que miden una estación y por lo tanto marcan el acarreo libre de cortes y rellenos.

Los volúmenes son para c/caso las ordenadas entre a y b y entre c y f.

d) Distancia de Sobre Acarreo (S/A)

El sobre acarreo es el transporte de los materiales ya sea del corte o de un préstamo (cantera) a mayor distancia que del acarreo libre.

Para determinar la distancia media de sobreacarreo se divide OP en 2 partes iguales, se obtiene P' y por este punto se traza la horizontal que corta la CM en los puntos e y f; que tienen la propiedad de encontrarse en las ordenada que pasan por los cg de las masas movidas; a la distancia ef(exactamente medida) se le resta la distancia de acarreo libre (20 m.) y se obtiene la distancia de sobreacarreo (s/a).

El valor de s/a se obtiene multiplicando esa distancia por los m³ de la excavación (medidos en la misma excavación) y por P.U. correspondiente del m³ por estación (ya que no es lo mismo mover arena que hormigón compacto o roca descompuesta o roca dura)

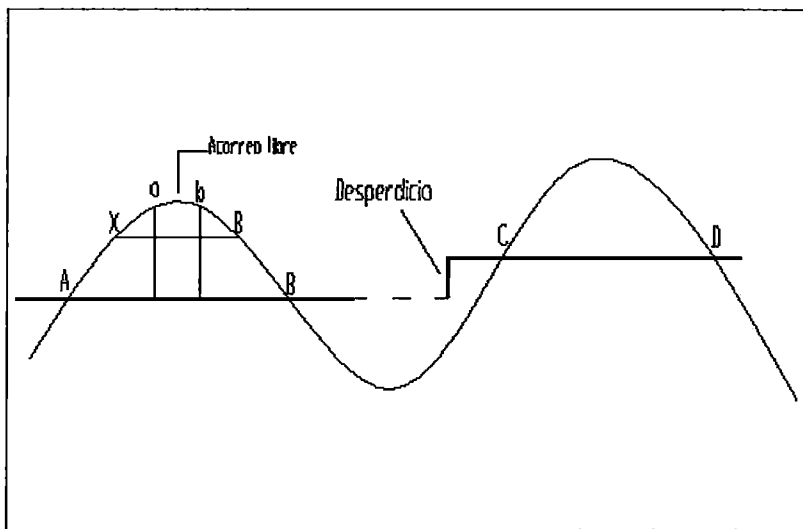


Fig. 2-11 Determinación del Sobre Acarreo

Fuente: www.construaprende.com

e) Préstamos y Desperdicios

Si se determinan en forma correcta los factores de abundamiento (esponjamiento) y de reducción de los materiales se debe cumplir que los cortes son suficientes para construir los terraplenes.

Pero, cuando por una determinada razón sea necesario hacer uso de una cantera, se presenta duda:

- usar los materiales de la cantera
- sobreacarrearlos de un corte

Para ello se determina la distribución económica de Sobreacarreo.

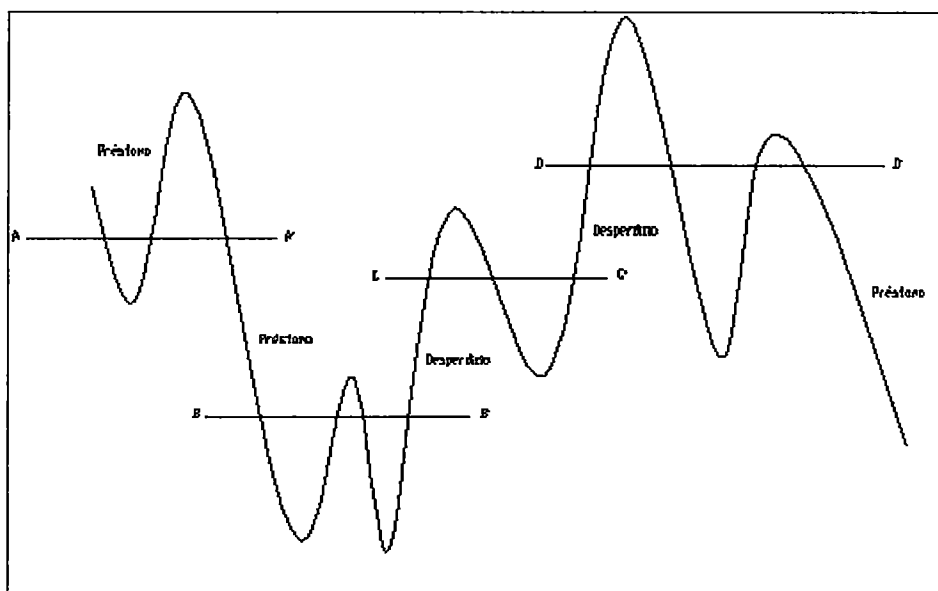


Fig. 2-12 Préstamos y Desperdicios

Fuente: www.construaprende.com

2.5.4 Propiedades del Diagrama de Masas

1. La curva crece en el sentido del cadenamiento cuando se trata de cortes y decrece cuando predomina el relleno.
2. En las estaciones donde se presenta un cambio de ascendente a descendente o viceversa se presentara un máximo y un mínimo respectivamente.
3. Cualquier línea horizontal que corta a la curva en dos extremos marcará dos puntos con la misma ordenada de corte y terraplén indicando así la compensación en este tramo por lo que serán iguales los volúmenes de corte y terraplén. Esta línea se denomina compensadora y es la distancia máxima para compensar un terraplén con un corte.
4. La diferencia de ordenada entre dos puntos indicara la diferencia de volumen entre ellos.
5. El área comprendida entre la curva y una horizontal cualquiera, representa el volumen por la longitud media de acarreo
6. Cuando la curva se encuentra arriba de la horizontal el sentido del acarreo de material es hacia delante, y cuando la curva se encuentra abajo el sentido es hacia atrás, teniendo cuidado que la pendiente del camino lo permita.

2.5.5 Procedimiento para el Cálculo de la Curva Masa

Existen 2 procedimientos para el cálculo de la Curva Masa, los cuales dan resultados satisfactorios.

a) Abundar los Cortes

Los volúmenes de corte de cada estación se multiplican por un coeficiente mayor que la unidad que corresponde al abudamiento que sufrirá el material.

El coeficiente es llamado factor de abudamiento (FA) y se determina en la forma siguiente.

$$FA = \frac{\gamma_b}{\gamma_s} = \frac{V_s}{V_b}$$

Para:

γ_b = peso volumétrico del material en estado natural en el corte.

γ_s = peso volumétrico del material suelto.

V_s = Volumen del material suelto.

V_b = Volumen del material en el corte

En la **Tabla 2.29** se muestran los Factores de Abudamiento:

TABLA 2.29
FACTORES DE ABUDAMIENTO

MATERIALES	FACTOR DE ABUDAMIENTO
Tierra Negra	1.00 a 1.25
Material arenoso	1.10 a 1.30
Roca suelta	1.30 a 1.40
Roca Fija	1.40 a 1.65

Los materiales de los terraplenes no sufrirán variación calculándose con las áreas de construcción.

b) Corregir los Volúmenes de los Terraplenes

En este procedimiento los volúmenes de los cortes, no sufrirán modificaciones, En cambio los volúmenes de los terraplenes se multiplicarán por factores generalmente menores que la unidad, para convertirlos en volúmenes compactos, aquí se hace necesario saber que materiales formarán los terraplenes en cada sección. El factor de reducción será:

$$FR = \frac{\gamma_b}{\gamma_t} = \frac{V_t}{V_b}$$

Para:

γ_b = peso volumétrico en el banco o corte.

γ_t = peso volumétrico del material en el terraplén.

V_t = Volumen del material en el terraplén.

V_b = Volumen del material en el banco.

TABLA 2.30
FACTORES DE REDUCCION

MATERIALES	FACTOR DE REDUCCION
Tierra Negra	0.98 a 1.00
Material arenoso	0.75 a 0.90
Roca suelta	0.70 a 0.75
Roca Fija	0.60 a 0.70

Con este procedimiento los volúmenes acarreados quedan a base de material compacto.

CAPITULO III

SISTEMAS DE REFERENCIA Y PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS

3.1 SISTEMAS DE REFERENCIA

3.1.1 Forma de la Tierra

La forma de la Tierra es un Geoide, el cual no se define geoméricamente sino físicamente. La figura geométrica que mas se asemeja a la forma de la Tierra, es el elipsoide de revolución.

a) El Elipsoide

Es un modelo fisicomatemático que representa a la Tierra, caracterizado por las constantes geométricas **a** (semieje mayor), **f** (aplanamiento), y los parámetros físicos **w** (velocidad angular de rotación) y **m** (masa)

Para propósitos geodésicos el elipsoide de revolución, que se produce cuando una elipse es rotada sobre su eje semi-menor, provee una superficie matemática bien definida cuya forma y tamaño son definidas por parámetros como la medida del *semieje menor (b)* y *semieje mayor (a)*, también puede ser descrita por su *aplanamiento: $f = [(a - b) / a]$* o su *excentricidad: $e = [(a^2 - b^2)^{1/2} / a]$* .

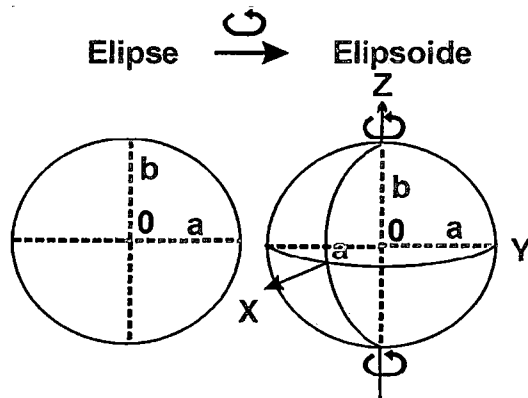


Fig. 3-1 El Elipsoide

Fuente: www.elgps.com

b) El Geoide

Es la superficie equipotencial de referencia, hipotéticamente coincidente en el nivel medio del mar en reposo.

Contrario al elipsoide, el geoide no se puede crear matemáticamente o utilizarse en cálculos porque su forma depende de la distribución irregular de la masa dentro de la tierra.

La superficie del Geoide no es uniforme, sino que presenta una serie de irregularidades, causadas por la distinta composición mineral del interior de la tierra y de sus distintas densidades, lo que implica que para cada punto de la superficie terrestre exista una distancia distinta desde el centro de la tierra al punto del geoide.

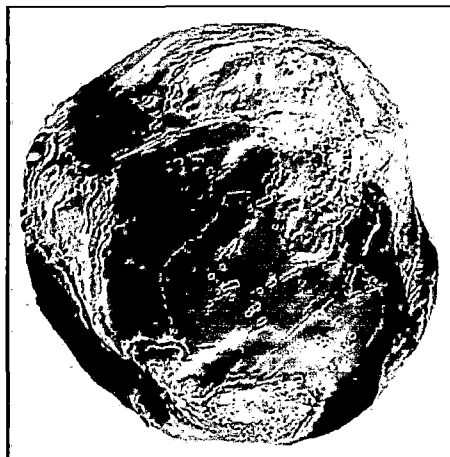


Fig. 3-2 El Geoide

Fuente: www.elgps.com

3.1.2 Sistemas y Marcos

a) Sistemas de Referencia Geodésicos

Es un conjunto de parámetros que permite la localización de un punto sobre la superficie terrestre. El sistema de referencia es una terna cartesiana geocéntrica XYZ, cuyo eje X es la intersección del plano del Ecuador con el Meridiano Greenwich, el eje Y está ubicado también sobre el plano del Ecuador pero a 90° del eje X hacia el Este, y el eje Z, sobre el eje de rotación terrestre. Para definir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado, donde los ejes son inaccesibles en la práctica.

El sistema de referencia está sujeto a variables geométricas (X, Y, Z) y físicas (elipsoide, constante de gravitación terrestre, velocidad angular de la Tierra, velocidad de la luz, movimiento de placas tectónicas, etc.)

La representación de coordenadas cartesianas en un plano es imposible, pues es un sistema espacial. La representación de coordenadas geodésicas puede hacerse pero las líneas curvas que representan los meridianos y paralelos. El concepto de datum cambia y ya no es asociado a un punto datum, sino al origen y orientación de los ejes cartesianos.

b) Marcos de Referencia Geodésicos

Constituye los elementos físicos visibles que materializan el sistema de referencia sobre la superficie terrestre a los cuales se les ha asignado coordenadas, por ejemplo los vértices geodésicos, las estaciones permanentes. Es claro que tales coordenadas han surgido de un cierto proceso de medición estando, por lo tanto, afectadas de errores. Además, a un mismo sistema de referencia puede corresponderle más de un marco producto de la materialización de dicho sistema en distintas regiones.

Los Marcos de Referencia Geodésicos para el posicionamiento satelital son:

- ✓ Global: Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) – WGS 84.
- ✓ Regional: Sirgas
- ✓ Nacional: Red Geodésica Nacional

Cada Marco de Referencia constituye una densificación de puntos geodésicos.

b.1) Marco de Referencia Terrestre Internacional

Es un conjunto de convenciones que permiten definir posiciones a escala global, establecidas por el Servicio Internacional de Rotación Terrestre (IERS) en el año 1988, cuenta con una red conformada por más de 200 estaciones definidas con una precisión absoluta de $\pm 1/3$ cm.

La materialización del ITRS en el marco ITRF el cual está conformado por la coordenadas cartesianas geocéntricas (X, Y, Z) y las velocidades (V_x, V_y, V_z), es decir se introduce la variable tiempo como una cuarta dimensión, la estabilidad centimétrica puede mantenerse solo si referimos las coordenadas a una época en particular (coordenadas + velocidad (mm/año)), esto se logra teniendo en cuenta los efectos producidos por el movimiento de las placas tectónicas.

Dada la dependencia de las coordenadas geodésicas con respecto al tiempo, el ITRF es complementado indicando la época para la cual las posiciones de sus estaciones son vigentes. Por ejemplo, en el ITRF94 las coordenadas de esta red están definidas para el 1 de enero de 1993. Su traslado a fechas diferentes implica la aplicación de velocidades. La principal utilidad del ITRF es que a partir de este se calculan las efemérides precisas de los satélites, lo que garantiza que cualquier punto sobre la superficie terrestre que haya sido ligado al ITRF vigente esta en el mismo sistema de referencia utilizado por los satélites.

Para la gran mayoría de aplicaciones practicas el ITRF y WGS 84 pueden considerarse equivalentes.

El Servicio GPS Internacional (IGS), operativo desde el 1 de enero de 1994, suministra apoyo a actividades geodésicas y geofísicas a través de una red de estaciones que capturan sistemáticamente datos de observaciones GPS.

Los productos generados por el IGS accesibles vía internet son: efemérides precisas, parámetros de rotación terrestre, coordenadas y velocidades de rastreo, información troposférica y ionosférica. Permite el acceso global y contribuye a mejorar el marco de referencia ITRF.

b.2) Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas - SIRGAS

SIRGAS estableció un marco de referencia único para el continente americano, en conexión con el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF). El proyecto fue creado bajo los auspicio de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG), el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y la Agencia Nacional de Mapas e Imágenes de los Estados Unidos de América (NIMA).

El Proyecto SIRGAS tiene como objetivos:

- ✓ Definir y establecer un sistema de referencia para el continente;
- ✓ Definir y establecer un datum geocéntrico;
- ✓ Definir y establecer un datum vertical unificado.

La primera campaña de medición se realizó en 1995, mediante observaciones GPS en 58 estaciones distribuidas en 11 países. Entre el 10 y el 19 de mayo de 2000 tuvo lugar la segunda campaña SIRGAS 2000, que constituye una densificación del ITRF en América, conformada por una red con más de 180 estaciones geodésicas de alta precisión, cuya distribución ofrece un cubrimiento homogéneo sobre el continente (América del Norte, América Central y el Caribe) y, por lo tanto, las condiciones necesarias para que las redes nacionales estén vinculadas al ITRF, También se ubicaron estaciones GPS en 43 mareógrafos que definen los datums verticales de los distintos países.

Las actividades del proyecto SIRGAS 2000 apuntan a una total integración regional, mediante el mantenimiento y procesamiento de la red de estaciones permanentes instaladas en el continente. No obstante, la coexistencia de una gran cantidad de sistemas geodésicos clásicos definidos por los países sudamericanos genera problemas como por ejemplo en la definición de límites internacionales. La adopción del ITRF como sistema de referencia común garantizaría la homogeneidad de los resultados dentro del continente y permitiría la consistente integración de la red SIRGAS con las redes de otros continentes.

El mantenimiento de SIRGAS incluye, además de la preservación física de los monumentos, la determinación del cambio de coordenadas a través del tiempo (velocidades). Esto garantiza la consistencia entre el sistema terrestre SIRGAS y el sistema de referencia satelital. Las velocidades correspondientes se determinan a partir de mediciones geodésicas repetitivas, dentro de lo que se considera la red de estaciones GPS de funcionamiento continuo (estaciones permanentes) y la ocupación periódica de las estaciones SIRGAS (pasivas).

Existe alrededor de 40 estaciones GPS permanentes localizadas en Sudamérica, cuyas observaciones son procesadas semanalmente en el DGFI por el Centro de Análisis Regional para Sudamérica, y permite calcular las velocidades de los puntos SIRGAS, debido al movimiento de las placas tectónicas. ⁽²⁾

⁽²⁾ RUBEN RODRIGUEZ Y CLAUDIO BRUNINI. SIRGAS (www.agrimensoreschubut.org.ar)

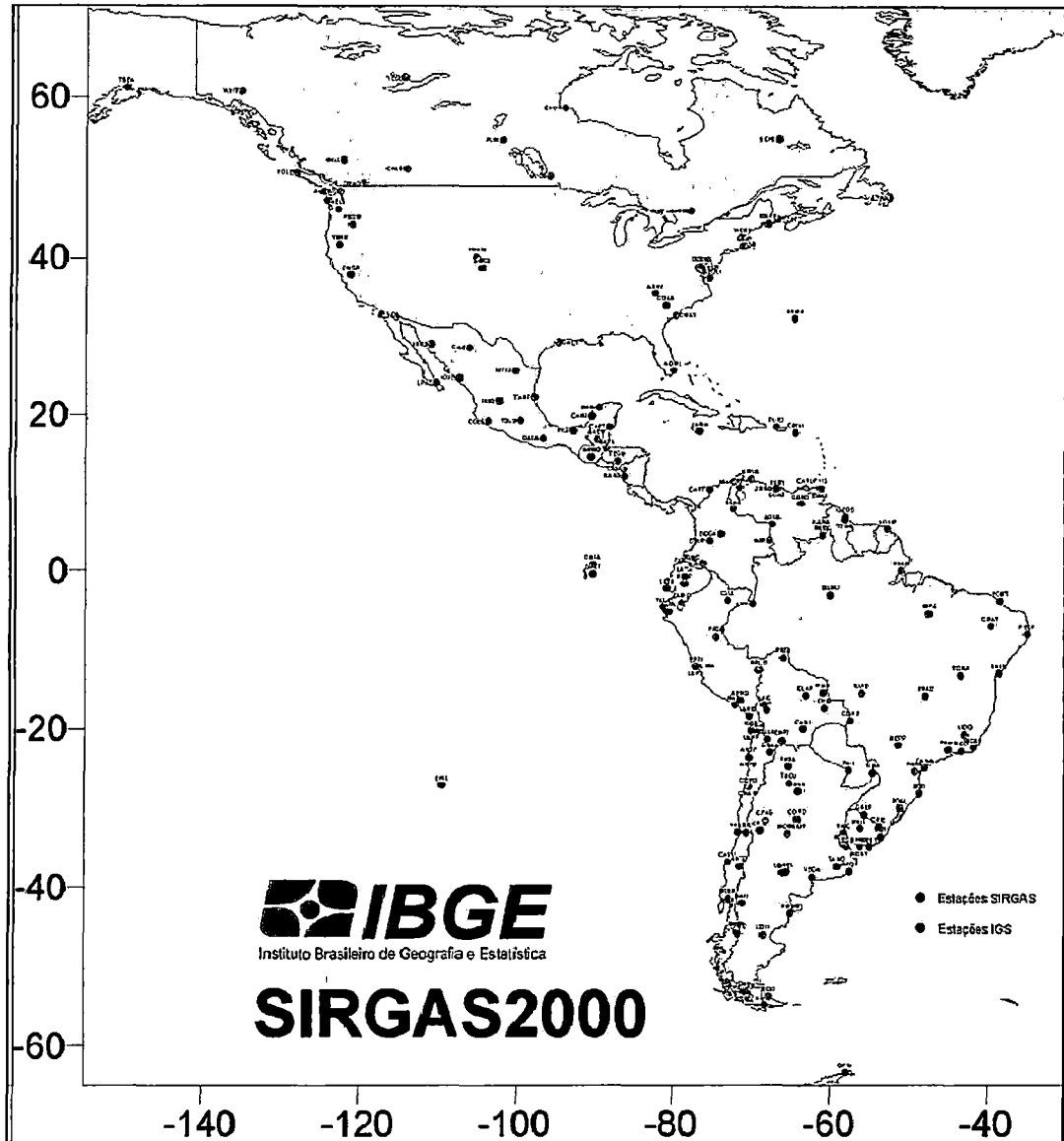


Fig. 3-3 Red Sirgas 2000 y Estaciones GPS Permanentes

Fuente: www.ibge.gov.br/sirgas

Para el establecimiento de un datum vertical unificado, los países continúan con la preparación de la información gravimétrica y de nivelación para el cálculo de los números geopotenciales, incluyendo las conexiones con las redes de nivelación de los países vecinos. El objetivo central de esta actividad es un ajuste continental de las redes de nivelación.

Se analiza la vinculación de los datum verticales clásicos (mareógrafos de referencia) con el nuevo sistema. Este procedimiento se basa en la combinación de registros mareográficos, datos de altimetría satelital, nivelación y posicionamiento satelital en los mareógrafos de referencia.

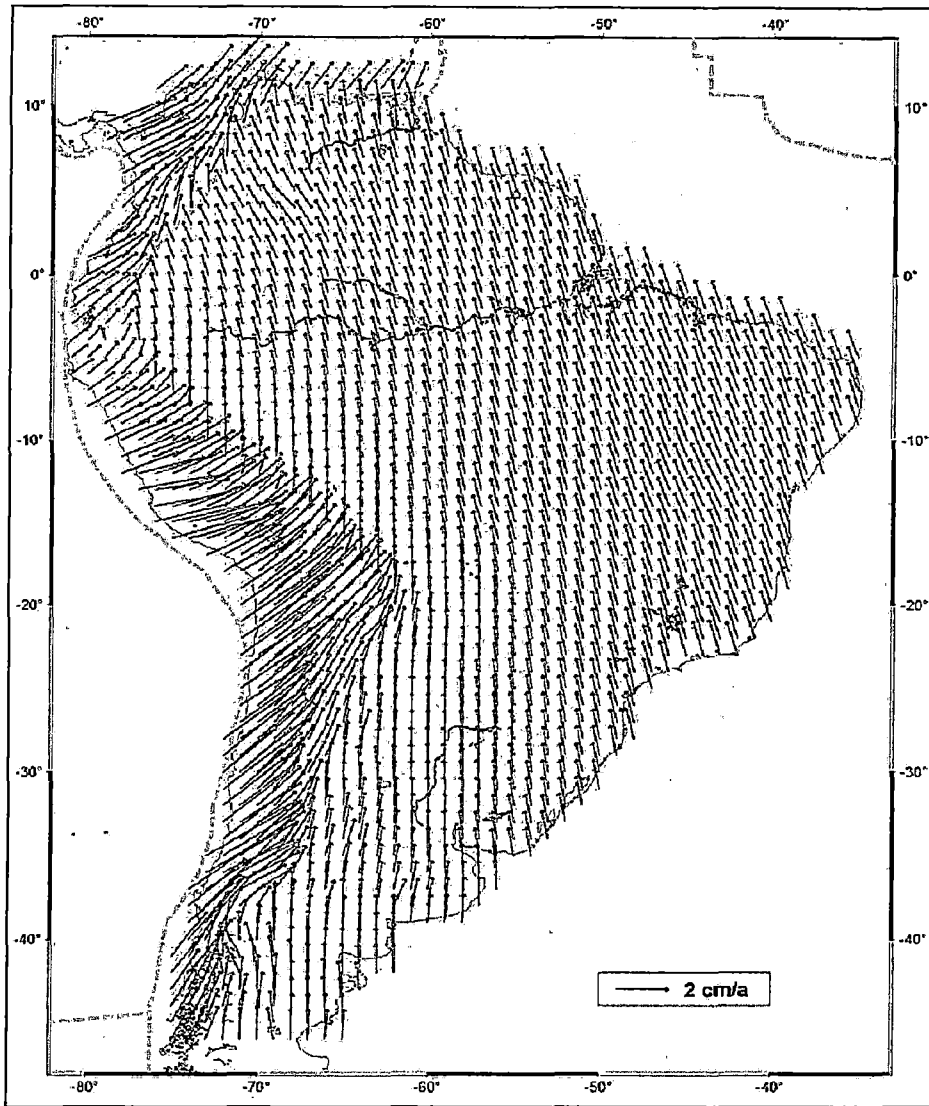


Fig. 3-4 Velocidades de Coordenadas

Fuente: www.igac.gov.co

b.3) Red Geodésica Nacional

Se define como Red Geodésica Nacional al conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del territorio nacional, establecidos físicamente mediante monumentos, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición geográfica y cota.

En nuestro país el IGN; se ha encargado de la red geodésica SIRGAS, a partir de 1998, Los puntos del levantamiento geodésico horizontal, esta referido al Marco de Referencia Terrestre Internacional 1994 (ITRF94) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) con Referencia oficial para Perú.

Las Coordenadas Cartesianas ITRF94, se deben transformar a coordenadas geodésicas curvilíneas (latitud, longitud y altura elipsoidal) utilizando el elipsoide World Geodetic System 1984 (WGS-84), considerado prácticamente idéntico al elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS 80).

Levantamientos Geodésicos Horizontales; son aquellos que comprenden una serie de medidas efectuadas en el campo, cuyo propósito final consiste en determinar las coordenadas geodésicas (geográficas) horizontales de puntos situados sobre la superficie terrestre.

Levantamientos Geodésicos Verticales; comprende el conjunto de operaciones de campo dirigidas a determinar la distancia vertical que existe entre puntos situados sobre la superficie terrestre y el nivel de referencia.⁽³⁾

⁽³⁾ IGN. Normas Técnicas de Levantamientos Geodésicos-2005. Pág.5-6.

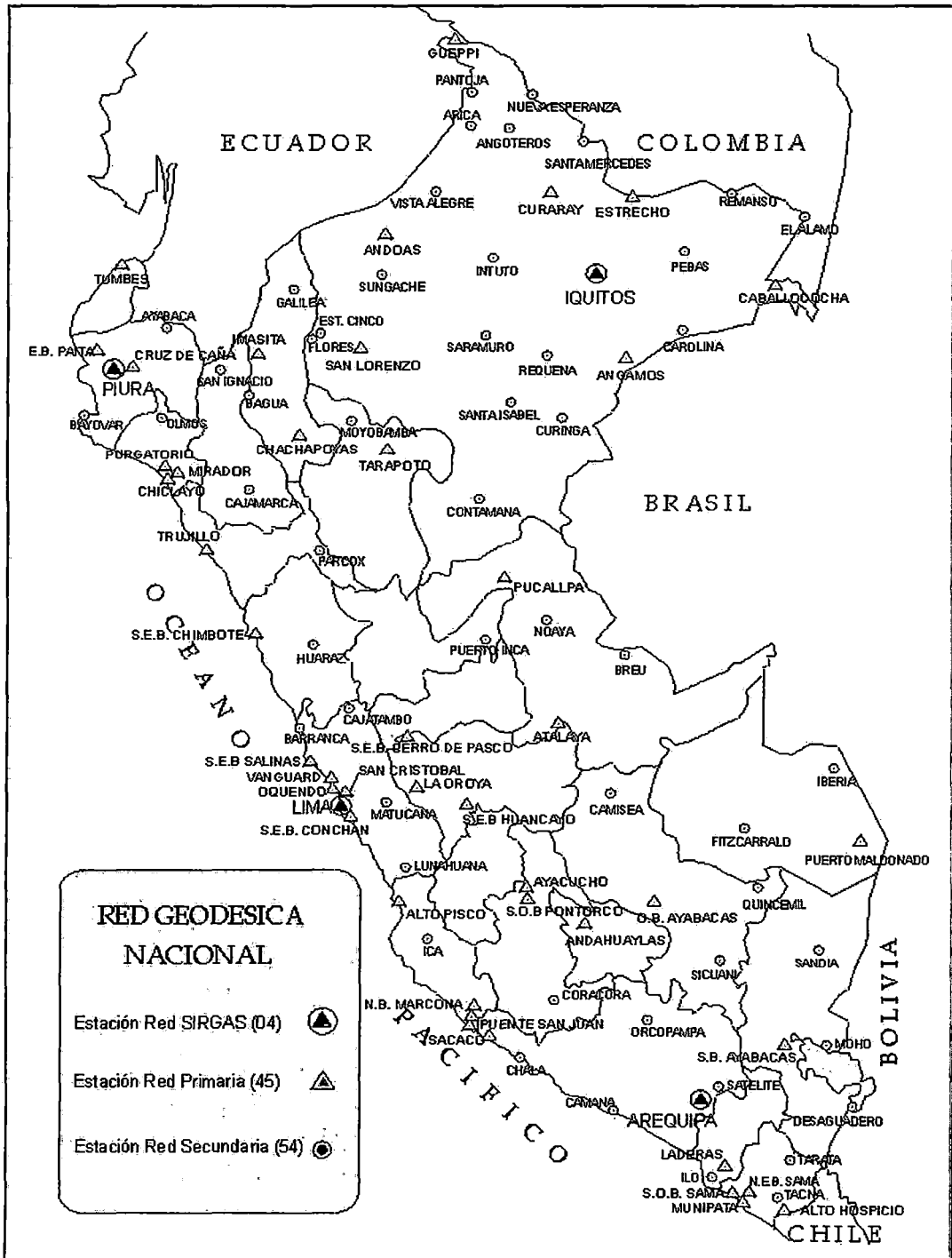


Fig. 3-5 Red Geodésica Nacional – Sirgas 95

Fuente: www.ignperu.gob.pe

El Perú posee una red geodésica administrada por el IGN que sirve de punto de partida y referencia para las mediciones precisas en nuestro territorio. Existen 04 puntos GPS de alta precisión en las ciudades de Piura, Iquitos, Arequipa y Lima. En el Perú existen 10 estaciones pertenecientes a la Red Geodésica Sirgas 2000 (Tabla 3.1)

TABLA 3.1
COORDENADAS GEODÉSICAS – SIRGAS 2000

ESTACION	LATITUD (° ' ")	LONGITUD (° ' ")	ALTURA ELIPSOIDAL (m)
AREQUIPA	S 16 27 55,8494	W 71 29 34,0486	2488,924
ERP1	S 12 06 10,8688	W 77 01 00,9928	157,610
IQUITOS	S 03 44 05,3623	W 73 14 25,1188	111,466
LA PUNTA	S 12 04 08,1936	W 77 10 00,2241	24,090
LIMA	S 12 06 10,8469	W 77 01 01,1432	156,569
MALD	S 12 35 38,3949	W 69 10 37,5376	239,823
MATARANI	S 17 00 03,7549	W 72 06 31,2551	32,232
PIURA	S 05 11 51,5289	W 80 37 37,1559	71,806
PUCALLPA	S 08 21 06,9059	W 74 34 43,0062	164,855
TALARA	S 04 34 38,8249	W 81 16 49,5878	9,832

Nota: ITRF2000, época de referencia 2000.4, transformadas a GRS80.

Fuente: www.sirgas.igm.gov.ar

3.1.3 Sistemas de Coordenadas

Un sistema de coordenadas se puede definir de dos formas:

- **Cartesianas:** Constituido por 3 ejes ortogonales entre si (X, Y, Z), cuyo origen es el centro del elipsoide, el cual es el centro de masa de la Tierra.
- **Geodésicas:** se definen a partir de la distancia angular al Ecuador, a un meridiano origen y la distancia lineal al elipsoide (latitud, longitud y altura elipsoidal).

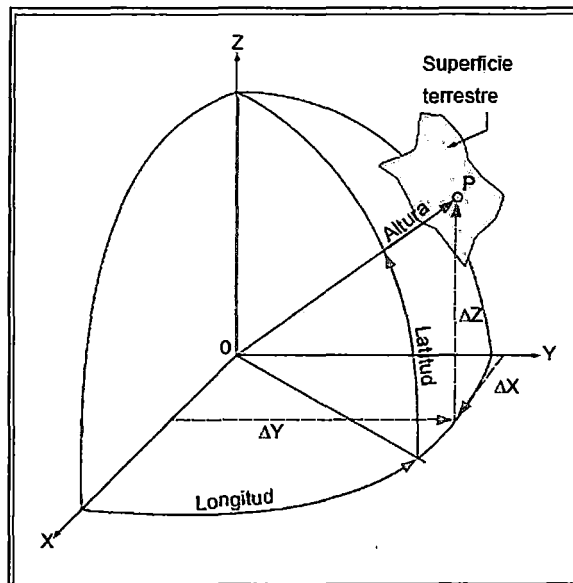


Fig. 3-6 Definición de un punto en Coordenadas Geográficas y Cartesianas.

Fuente: www.leica-geosystems.com

3.2 SISTEMAS DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS

3.2.1 Generalidades

Las Coordenadas Geográficas utilizan una división de la Tierra en cuadrículas, donde las líneas paralelas al Ecuador son Paralelos, y las paralelas al Meridiano Greenwich son Meridianos, estos permiten la ubicación de un punto a través de coordenadas medidas en grados, minutos y segundos.

El origen del este sistema se sitúa en la intersección entre el Ecuador y Meridiano de Greenwich.

a) Meridianos

Son líneas imaginarias que unen el polo sur con el polo norte. Tiene como origen el meridiano 0° de Greenwich, este meridiano divide a la Tierra dos zonas: Este (+) y Oeste (-).

b) Paralelos

Son líneas de intersección de los planos perpendiculares al eje terrestre con la superficie de la tierra. El paralelo principal es el Ecuador, que divide el globo en dos hemisferios: Norte y Sur.

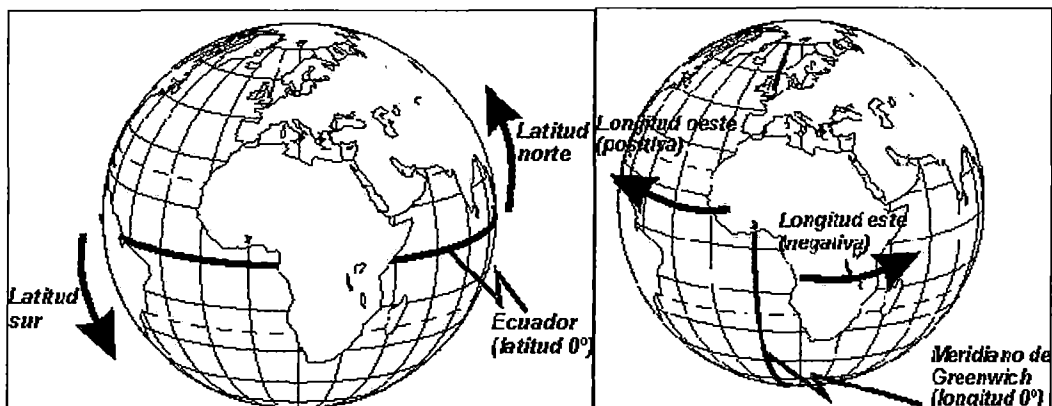


Fig. 3-7 Paralelos y Meridianos

Fuente: www.mardechile.cl

3.2.2 Latitud

Se denomina Latitud (w) de un punto P al ángulo entre la normal al elipsoide y el plano ecuatorial. Tiene un valor de 0° en el Ecuador y de 90° en los polos.

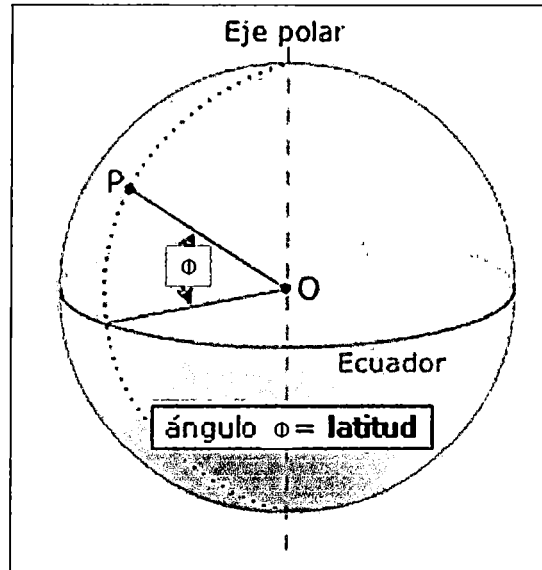


Fig. 3-8 Latitud de un punto P

Fuente: www.iaf.uva.es

3.2.3 Longitud

Se define la Longitud (λ) de un punto P como el valor del diedro formado por el plano meridiano de Greenwich y el plano meridiano que pasa por P.

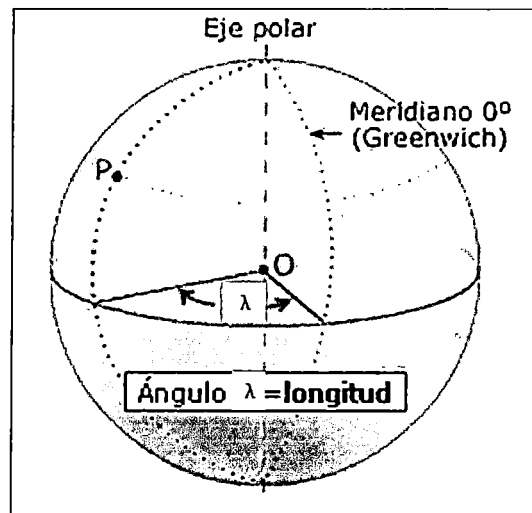


Fig. 3-9 Longitud de un punto P

Fuente: www.iaf.uva.es

Se designa posición Oeste (W) cuando está a la izquierda del meridiano Greenwich y Este (E) cuando está situado a la derecha.

La longitud presenta un mínimo posible de 0° hasta un máximo de 180° , 0° - 180° E, 0° - 180° W.

Este sistema de designación tiene los siguientes orígenes para la Longitud y la Latitud:

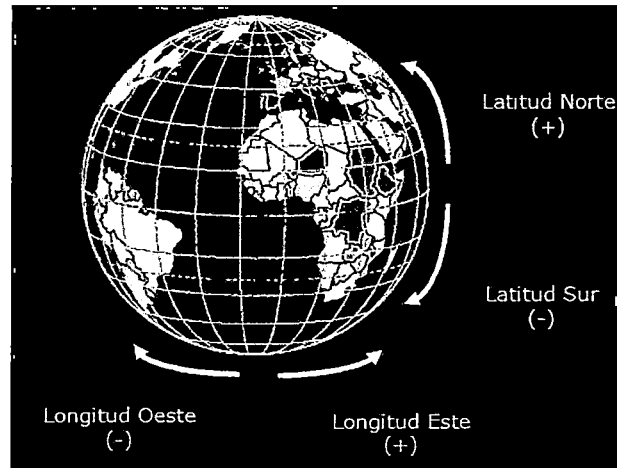


Fig. 3-10 Coordenadas Geográficas

Fuente: www.paho.org

3.2.4 Ventajas e Inconvenientes

a) Ventajas

- Abarca toda la superficie de la Tierra y por ello ha sido muy utilizada en la navegación marítima y aérea.
- Es muy difundida y utilizada en todo tipo de mapas.

b) Inconvenientes

- La curvatura de las líneas de referencia al abarcar superficies muy extensas.
- La división sexagesimal de las partes que lo conforman.
- La variación de la distancia representada en un plano en función de la latitud según se acerca a los polos.

3.3 PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS

3.3.1 Principios Básicos de la Cartografía

La proyección es la transformación matemática de los objetos existentes en una superficie curva y tridimensional (Tierra), sobre una superficie plana y bidimensional (Mapa). La Geodesia tiene como objetivo representar en un plano, las formas y las distancias de la tierra, con la mayor precisión.

La Proyección Cartográfica muestra la correspondencia biunívoca entre los puntos de la superficie terrestre (ϕ , λ) y sus equivalentes sobre un plano de proyección (N, E).

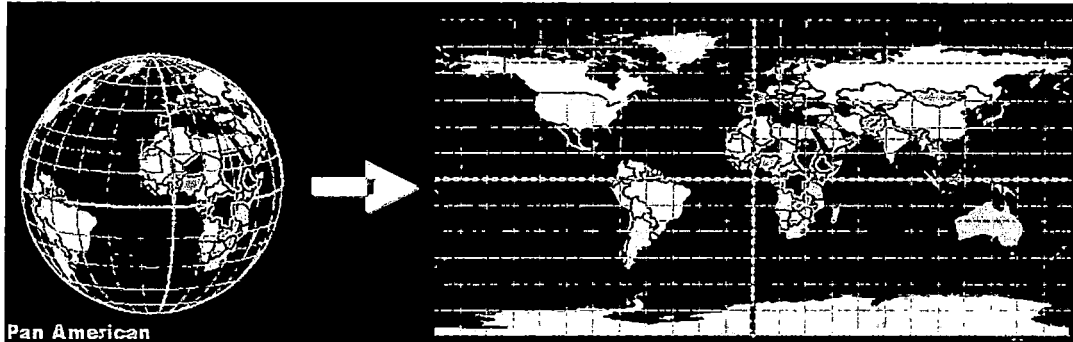


Fig. 3-11 La Proyección Cartográfica

Fuente: www.paho.org

3.3.2 Propiedades de las Proyecciones Cartográficas

a) Proyección Conforme

Se conservan los ángulos (formas) que tienen entre sí los paralelos y los meridianos en el globo terrestre, por esto es la que mejor reproduce la forma de continentes y océanos; sin embargo distorsiona las superficies. La proyección Mercator, creada especialmente con el fin de facilitar la navegación, es de este tipo.

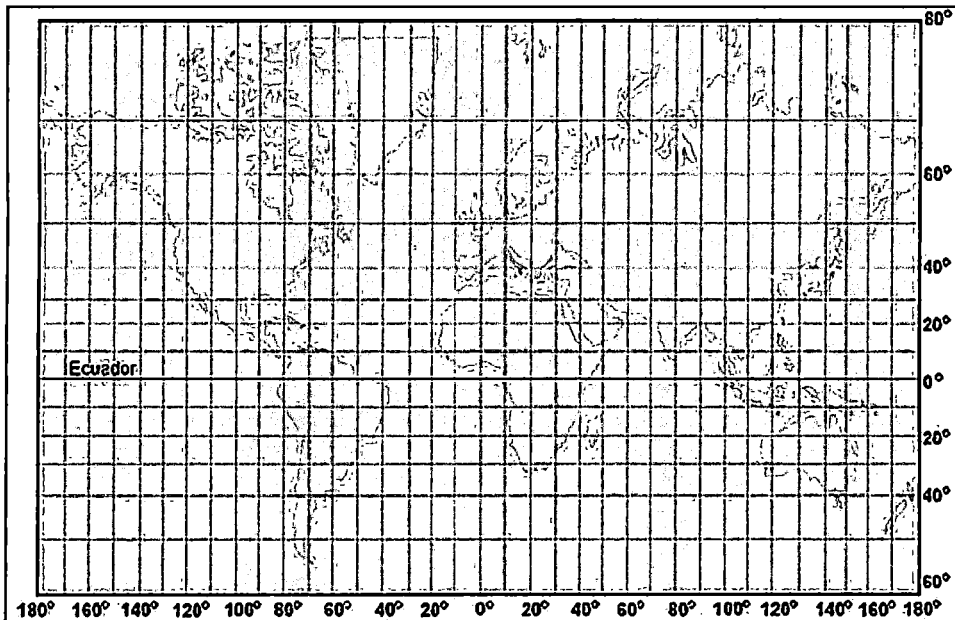


Fig. 3-12 Proyección Conforme

Fuente: www.mardechile.cl

b) Proyección Equivalente

Conserva las superficies de los continentes u océanos; es posible comparar superficies dentro del mapa. La forma de los continentes y océanos está distorsionada. En este caso, la proyección fue construida a partir de un cilindro.

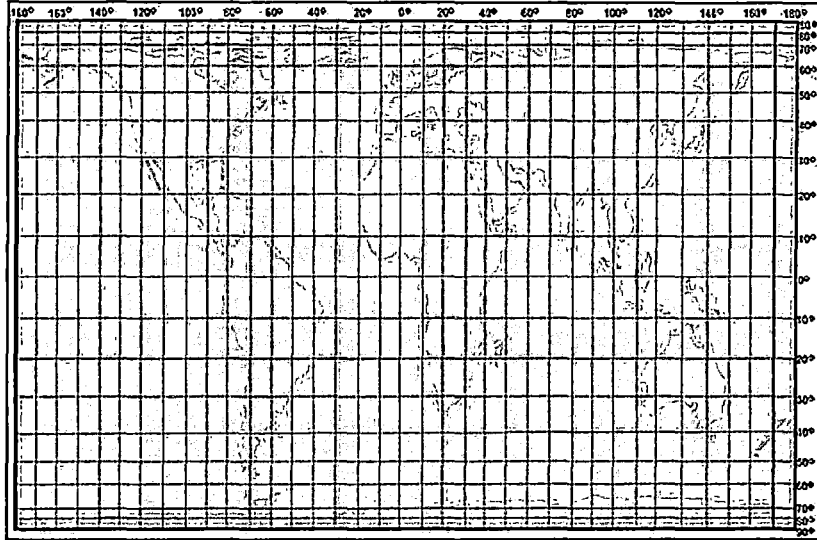


Fig. 3-13 Proyección Equivalente

Fuente: www.mardechile.cl

c) Proyección Equidistante

Conserva la distancia a partir del centro de la proyección, las distancias entre los distintos lugares de la Tierra.

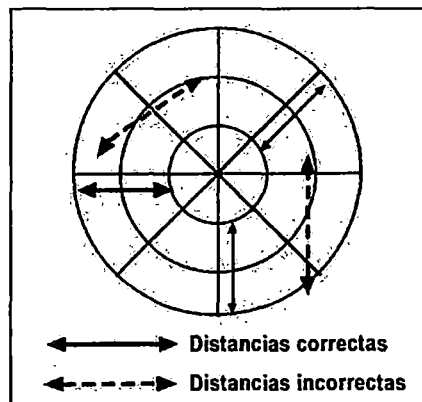


Fig. 3-14 Proyección Equidistante

Fuente: www.mardechile.cl

3.3.3 Clasificación de Proyecciones Cartográficas

Existen diversas proyecciones y cada una de ellas trata de minimizar las distorsiones. Las proyecciones se han derivado a partir de modelos matemáticos del globo terrestre y todas ellas comparten la misma característica: mostrar la

posición correcta de las líneas de longitud y latitud de la Tierra. En otras palabras, cada proyección es solamente un reordenamiento de los meridianos y paralelos trasladados del Globo Terrestre a un mapa. Dado que no hay forma de eliminar los errores al trasladar una superficie curva (Tierra) a una superficie plana (mapa) ninguna proyección es geoméricamente perfecta.

En resumen, cada proyección es elaborada a partir de una figura geométrica con un propósito particular y por ende tiene sus propias virtudes y limitaciones.

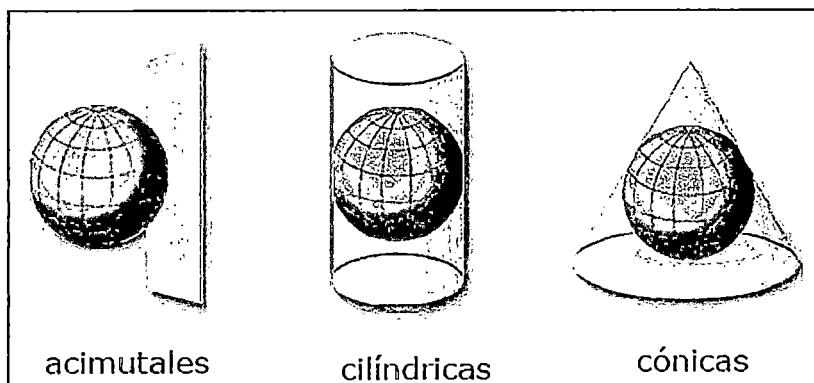


Fig. 3-15 Clasificación de Proyecciones

Fuente: www.caece.edu.ar

a) Proyecciones Planas o Acimutales

La proyección plana resulta de proyectar la superficie terrestre en un plano que corta el globo. Esta proyección solo permite ver parte de la Tierra.

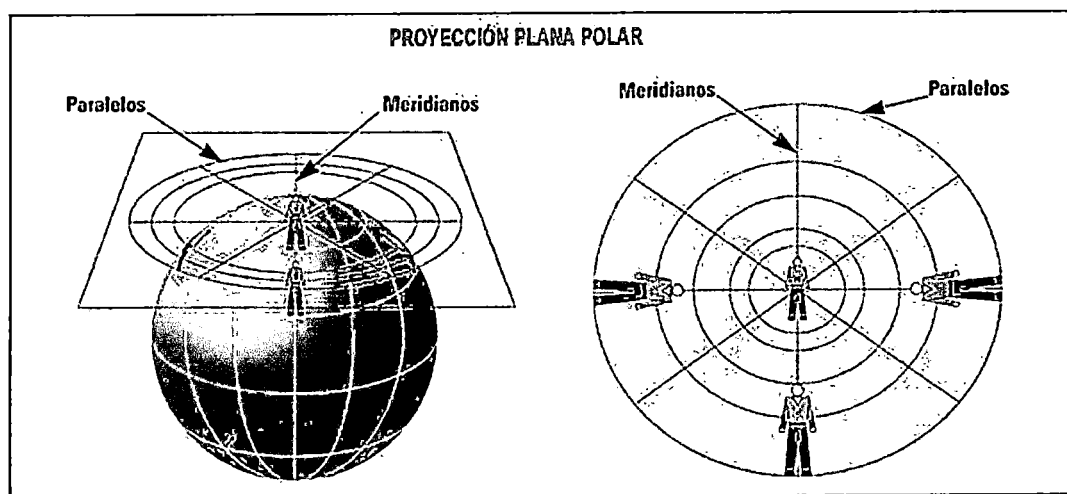


Fig. 3-16 Proyección Plana o Acimutal

Fuente: www.mardechile.cl

De acuerdo con la posición del plano de proyección del plano la proyección puede ser:

- **Polar**, cuando el plano es perpendicular al eje de la Tierra.
- **Ecuatorial**, cuando el plano es perpendicular al plano del Ecuador.
- **Oblicuo u Horizontal**, cuando el plano tiene una posición cualquiera.

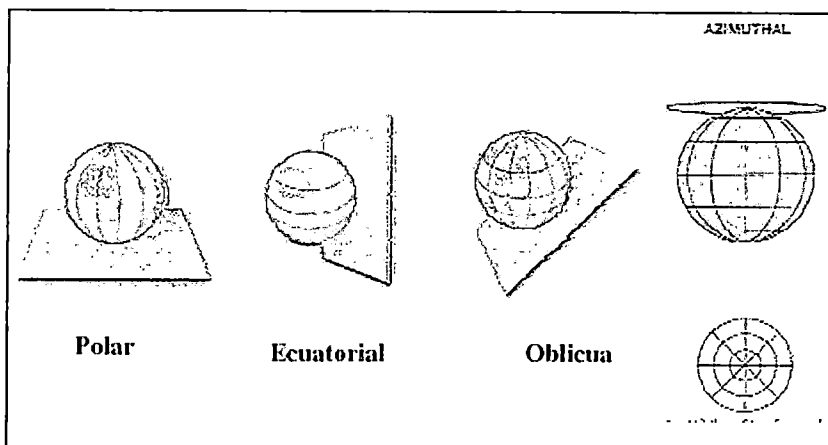


Fig. 3-17 Proyecciones Planas

Fuente: www.udp.com

En esta clase de proyecciones se usan planos que son tangentes al globo sólo en un punto, pero también podrían ser de tipo secante. El punto de contacto puede ser el Polo Norte, el Polo Sur, un punto sobre el Ecuador, o algún punto intermedio. Este punto determina el foco de proyección que definirán la orientación y las funciones a utilizar. El foco se identifica por una longitud y latitudes centrales, y las orientaciones posibles son: *polar*, *ecuatorial* y *oblicuo*, a partir de los polos, y los meridianos corresponden a líneas rectas que se interceptan en el Polo con ángulos de intersección verdaderos. Las proyecciones planas son de uso frecuente en la cartografía en regiones cercanas a los polos.

b) Proyecciones Cónicas

El método consiste en rodear la esfera con un cono, para cortar posteriormente el cono a lo largo de su generatriz y extenderlo sobre el plano. Estas proyecciones se caracterizan por tener paralelos circulares y meridianos radiales. En la proyección cónica simple, las dimensiones son verdadera sobre el **paralelo estándar** (el paralelo donde el cono es tangente con la superficie de la esfera) y sobre todos los meridianos. El meridiano opuesto a la línea de corte se denomina **meridiano central**.

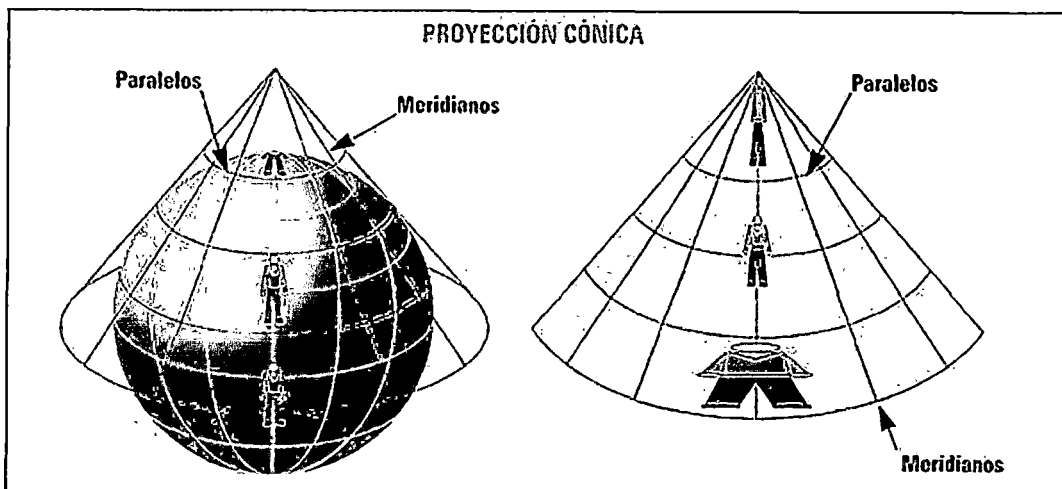


Fig. 3-18 Proyección Cónica

Fuente: www.mardechile.cl

En general, las distorsiones aumentan al norte y al sur del paralelo de tangencia. Por ello, truncando el cono se obtienen proyecciones más precisas. Ello puede ser logrado, al no incluir las regiones polares en la proyección.

Se pueden desarrollar Proyecciones más complejas si se tienen dos líneas de contacto para la superficie cónica. Estas proyecciones son llamadas *secantes cónicas* y están definidas para dos *paralelos estándar*. La distorsión de las proyecciones secantes no es la misma para las regiones que se encuentran entre los paralelos estándar que para aquellas que están más allá de ellos. Pueden desarrollarse proyecciones cónicas más complejas en donde el eje del cono no está alineado con el eje polar, en cuyo caso se denominan *oblicuas*.

La representación de los parámetros geográficos depende de la separación entre líneas paralelas.

c) Proyecciones Cilíndricas

Consiste en rodear la **esfera** con un **cilindro** y proyectar los paralelos y meridianos sobre el mismo. Cortando posteriormente el cilindro a lo largo de una generatriz y extendiéndolo sobre el plano se obtendrá un sistema de meridianos y paralelos sobre el que se puede dibujar el mapa.

Las proyecciones así obtenidas tienen la totalidad de la información de la Tierra en una superficie continua. En esta proyección los meridianos son rectas verticales equidistantes y los paralelos son perpendiculares a los meridianos. Mientras la distancia entre se mantiene, la distancia entre paralelos se acorta a medida que nos acercamos a los polos.

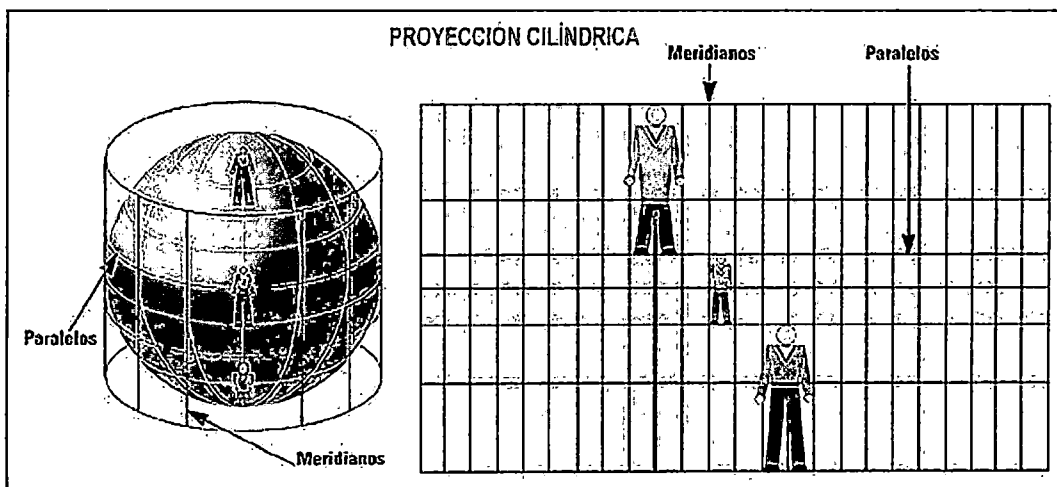


Fig. 3-19 Proyección Cilíndrica

Fuente: www.mardechile.cl

La superficie de proyección puede estar alineada de diferentes formas con la superficie esférica de la Tierra:

c.1) Normal

El cilindro es tangente a la esfera a lo largo del círculo mayor, el círculo que genera al cilindro converge con el plano que pasa por el centro de la Tierra.

c.2) Secante

El cilindro toca la esfera a lo largo de dos líneas, ambos círculos pequeños. En este caso, el círculo que genera al cilindro se encuentra en un plano que no atraviesa el centro de la Tierra.

c.3) Transversal

El cilindro está en ángulo de 90° con los Polos.

c.4) Oblicua

El cilindro está en ángulo diferente a 90° con los Polos

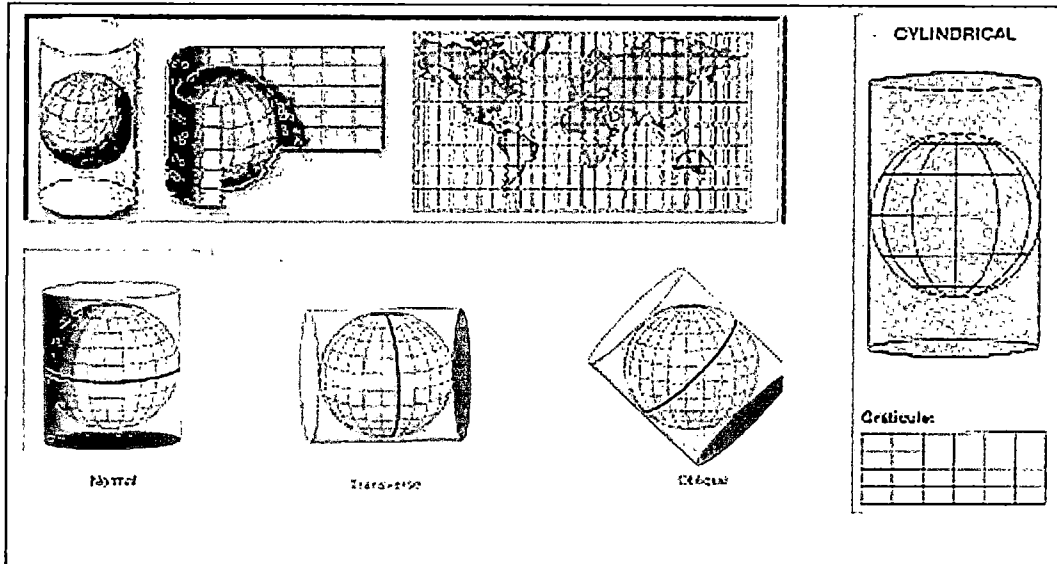


Fig. 3-20 Proyecciones Cilíndricas

Fuente: www.caece.edu.ar

Las proyecciones cilíndricas también pueden tener una línea de tangencia o dos líneas secantes alrededor del globo. La proyección de Mercator es una de las proyecciones cilíndricas más comunes, y el Ecuador es usualmente su línea de tangencia. Los meridianos son proyectados geoméricamente en la superficie del cilindro, produciendo un ángulo de 90° en las intersecciones con los paralelos. El cilindro puede ser "cortado" a lo largo de un meridiano, y abierto, para producir la proyección cilíndrica final. Los meridianos están equi-distanciados, mientras que el distanciamiento entre los paralelos disminuye hacia los polos. Esta proyección es de tipo conforme y representa direcciones verdaderas a lo largo de líneas rectas.

Cuando el cilindro se hace rotar se obtienen proyecciones cilíndricas más complejas, debido a que se cambian las líneas de tangencia o de secante. Proyecciones cilíndricas transversales tales como la *Transversal de Mercator* usan los meridianos, o líneas paralelas a ellos, como líneas de tangencia. Estas líneas corren de Norte a Sur y se representan a escala verdadera. Cilindros oblicuos son obtenidos por rotación a lo largo de un gran círculo sobre el globo localizado en cualquier punto sobre el Ecuador y los meridianos. En estos sistemas complejos, la mayoría de los meridianos y las líneas de latitud no son líneas rectas.

3.4 SISTEMA DE PROYECCIÓN UTM

3.4.1 Generalidades

La proyección UTM es una de las más conocidas y utilizadas. Se trata de una **proyección cilíndrica transversal secante**, donde el cilindro es tangente a un meridiano central, y el diámetro del cilindro es ligeramente menor al eje menor del elipsoide. La proyección es conforme, pues conserva los ángulos, pero distorsiona las superficies sobre los objetos originales así como las distancias. En cada proyección, sólo el meridiano de origen de cada zona de 6° y el ecuador aparecen como líneas rectas.

El sistema UTM es un sistema utilizado entre los 84° de latitud norte y 80° de latitud sur, por lo que es un sistema estandarizado de empleo en el Perú.

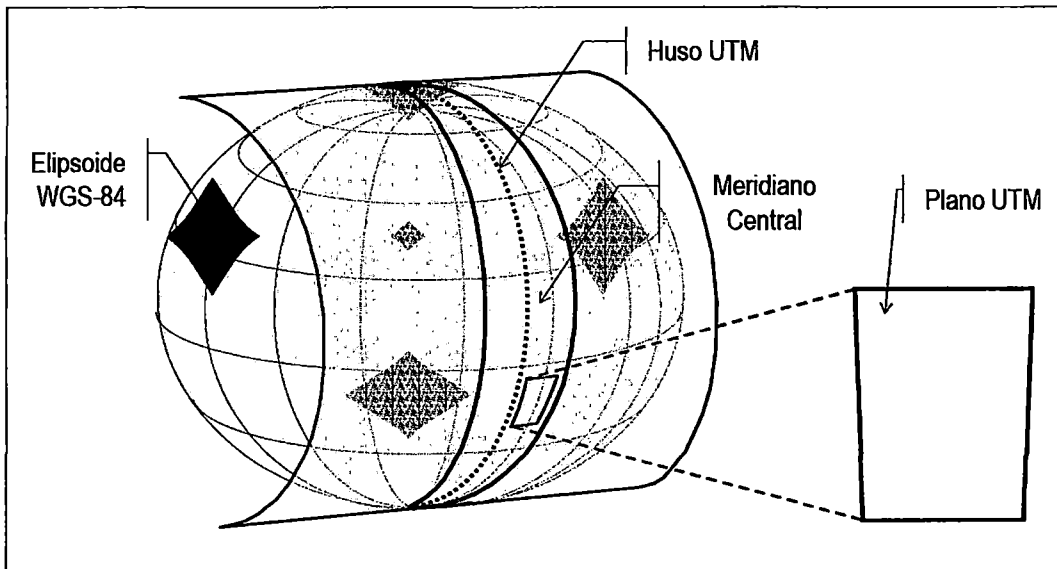


Fig. 3-21 Proyección UTM

Fuente: www.usach.cl

3.4.2 Distribución de Zonas y Bandas

Se define un Zona como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. La Tierra se divide en 60 zonas, con un ancho de 6° de longitud, empezando desde el meridiano de Greenwich, numerados en dirección este.

Cada zona UTM está dividida en 20 bandas desde la "C" hasta la "X", las primas 19 bandas de 8° de latitud, y la banda "X" de 12° de latitud.

El Perú se encuentra en tres zonas: 17, 18 y 19 (hemisferio sur).

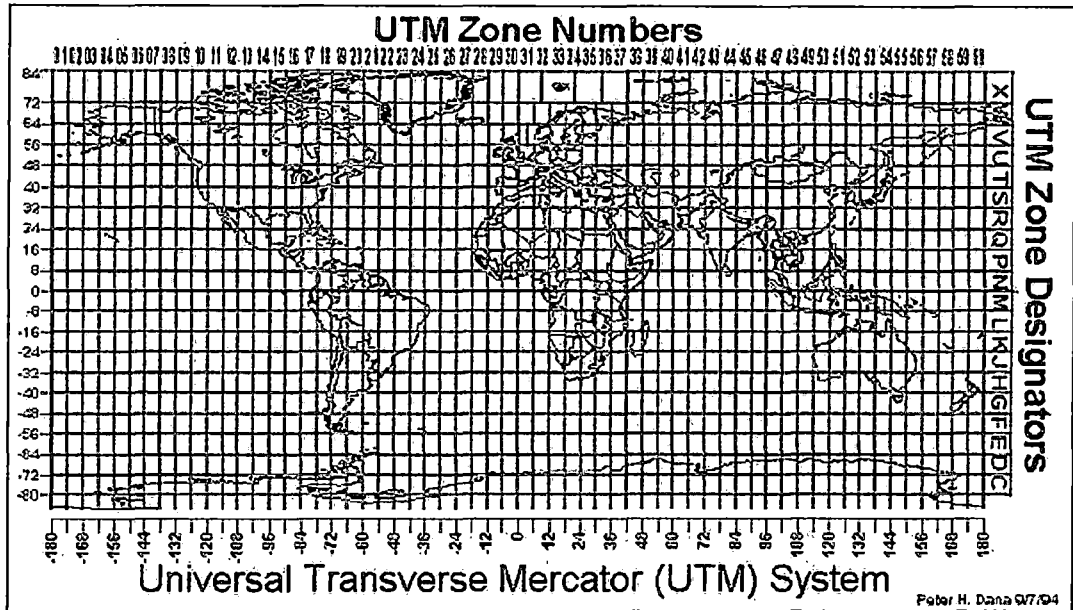


Fig. 3-22 Zonas UTM

Fuente: www.unex.es

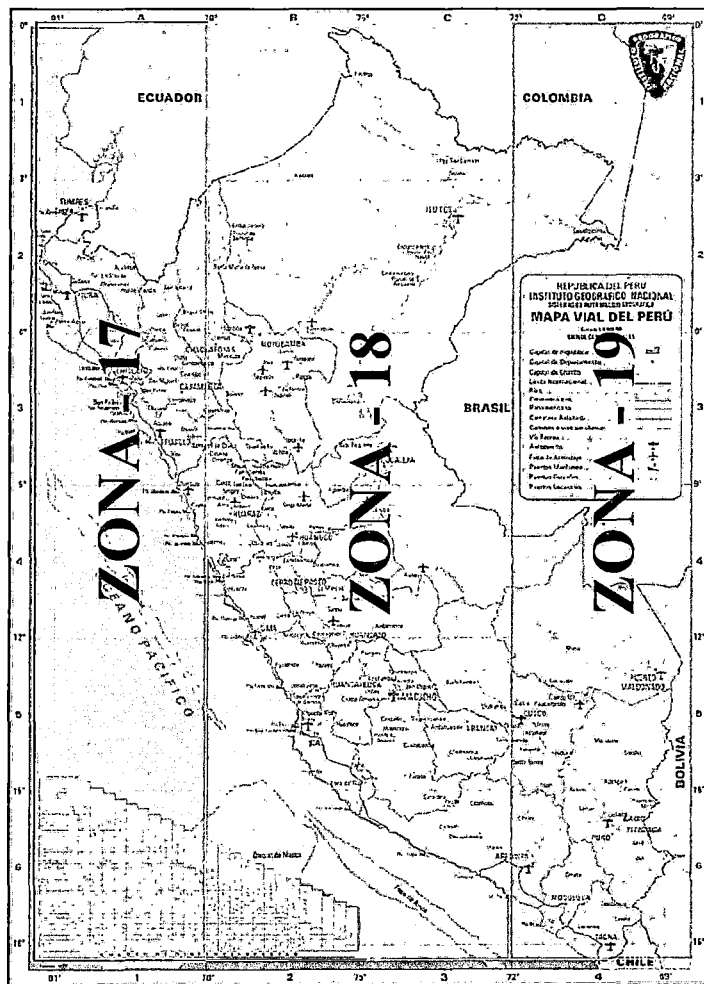


Fig. 3-23 Zonas UTM - Perú

Fuente: www.ign.gob.pe

3.4.3 Origen de Coordenadas

Se considera el origen de una zona UTM al punto de intersección entre el meridiano central de la zona y el ecuador. Para determinar posiciones en el Hemisferio Norte se le asigna al meridiano central un falso Este de 500,000 metros (para mantener valores positivos en la zona) y un falso Norte de 0. Para mediciones en el Hemisferio Sur se asigna un falso Este de 500,000 metros y un falso Norte de 10'000,000 de metros. Las coordenadas este, norte y el número de zona definen la posición de cualquier punto en la superficie terrestre en el sistema UTM.

3.4.4 Factor de Escala y Distancia UTM

El factor escala es constante a lo largo del meridiano central. Para reducir la distorsión en la escala se aplica un factor de corrección de 0,9996 a lo largo del meridiano central de cada zona. Este factor de escala permite que las líneas ubicadas a 180Km hacia el este o el oeste y paralelas al meridiano central tengan un factor de escala de 1.

En cada zona se sobrepone un cuadrículado rectangular y las coordenadas se expresan en metros con respecto al Ecuador y al este de un eje de referencia.

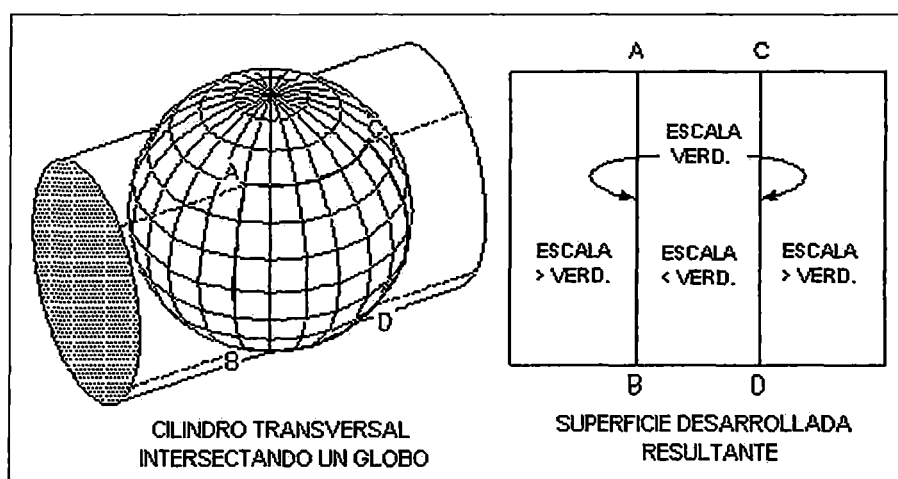


Fig. 3-24 Factor de Escala UTM

3.5 DATUM

El Datum es un modelo matemático definido para ajustarse lo mejor posible a una parte o totalidad del geoide, define la posición del elipsoide en relación con el centro de la tierra.

El Datum geodésico esta constituido por:

- un elipsoide, definido por a, b , aplastamiento.
- un punto llamado "Fundamental" donde la vertical del geode coincide con la normal al elipsoide, definido por su latitud, longitud y azimut.

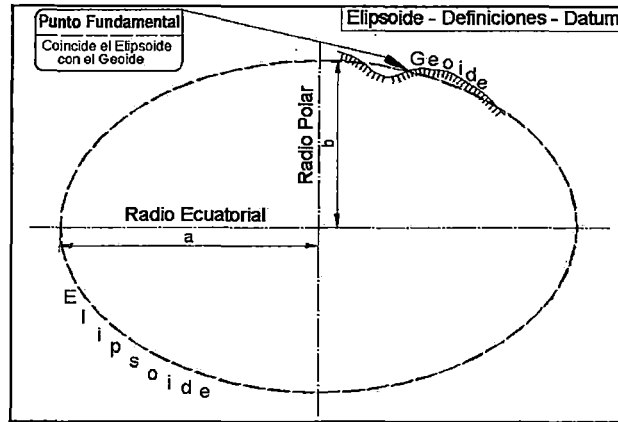


Fig. 3-25 Datum

Fuente: www.iaf.uva.es

El ángulo existente entre un punto determinado entre la normal al Geode y la normal al Elipsoide se denomina "desviación de la vertical", siendo ésta nula en el Datum.

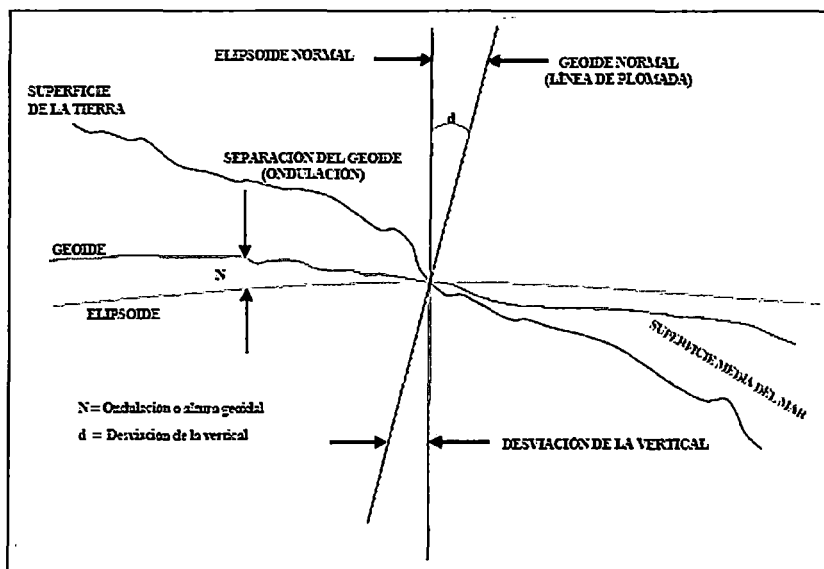


Fig. 3-26 Desviación de la Vertical

Fuente: www.ineqi.gob.mx

El elipsoide orientado localmente, está desplazado del elipsoide WGS84, no sólo por sus parámetros diferentes, también por la posición del centro y de la orientación de los ejes. Por esto, las coordenadas geográficas del mismo punto en el datum local y en el WGS84 son diferentes, los desplazamientos traducidos

en distancias pueden ser de cientos de metros. En consecuencia, si varían las coordenadas geodésicas de un punto, habrá cambios en su representación cartográfica.

En resumen se puede diferenciar en dos Datum:

- **Global:** centrados y coincidente con el centro de masa de la Tierra. Se utiliza el **WGS84**, el cual es ampliamente usado y sirve para mediciones en el ámbito mundial. La definición del mismo parte de las mediciones realizadas por los satélites en los últimos años.
- **Locales:** son los que se utilizan para hacer corresponder el geode con el elipsoide en determinada localización geográfica (PSAD 56).

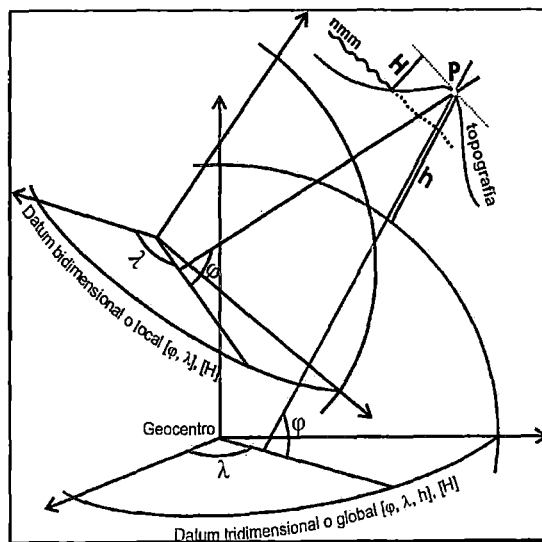


Fig. 3-27 Datum Global y Local

Fuente: www.igac.gov.pe

3.5.1 Datum Universal WGS 84

Con el surgimiento de la tecnología GPS, se adoptó el datum WGS 84, y se define al sistema como geodésico y universal en 1984, cuyas principales características son:

- ✓ *La masa elipsoidal es equivalente a la masa terrestre.*
- ✓ *La velocidad angular de rotación del elipsoide es igual a la terrestre.*
- ✓ *El origen del sistema cartesiano-elipsoidal corresponde con el centro de masas terrestre.*
- ✓ *El eje Z del sistema cartesiano-elipsoidal, coincide con el eje de rotación terrestre.*

Estas condiciones permiten que un elipsoide sea definido no solo por el radio ecuatorial y el aplanamiento, sino también por otras cantidades físicas. Para el efecto, se presentan los parámetros correspondientes al elipsoide WGS 84:

- ✓ *Semieje mayor:* $a = 6\,378\,137,00\text{ m}$
- ✓ *Cte. Gravitacional Geocéntrica:* $GM = 3\,986\,005 \times 10^8\text{ m}^3\text{ s}^{-2}$
- ✓ *Factor dinámico de deformación:* $J_2 = 108\,263 \times 10^{-8}$
- ✓ *Velocidad angular:* $w = 7\,292\,115 \times 10^{-11}\text{ rad s}^{-1}$

3.5.2 Datum Vertical

El Datum vertical es el nivel medio del mar, habitualmente llamado cota y no varía si se cambia el marco de referencia, y se asume que el nivel medio del mar coincide con el geoide. Para la altimetría, el NMM está asignado convencionalmente al cero de elevación (o de nivel).

Se define como nivel medio del mar en un sitio dado al promedio aritmético de las alturas horarias de la marea, obtenido del registro de un graficador continuo (mareógrafo) diseñado para tal propósito, que ha operado durante un período que, según las necesidades varía desde un mínimo de seis meses, hasta el término completo del ciclo lunar (19.6 años).

En el Perú las Estaciones Mareográficas están ubicadas en Talara, La Punta y Matarani.

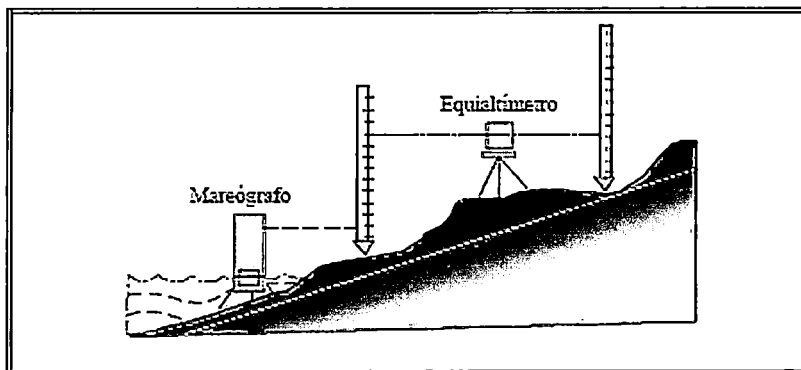


Fig. 3-28 Nivelación Diferencial

Fuente: www.inegi.gob.mx

El NNM no es una superficie equipotencial, y además presenta fluctuaciones debido al oleaje, tsunamis, movimientos tectónicos, descarga de los ríos.

El uso del GPS, ha generado la necesidad de compatibilizar los datos obtenidos de observaciones satelitales, con los datos que se conocen en los sistemas clásicos, es decir transformar alturas de tipo matemático en alturas de tipo físico.

Tal procedimiento consiste en transformar alturas elipsoidales en alturas ortométricas. Dentro del proyecto SIRGAS, se presenta la necesidad de definir un Sistema de referencia vertical único para toda América.

a) Altura Elipsoidal (h)

Es la separación entre la superficie topográfica y la superficie del elipsoide, y se mide por la normal al elipsoide. La altura elipsoidal es de tipo matemático.

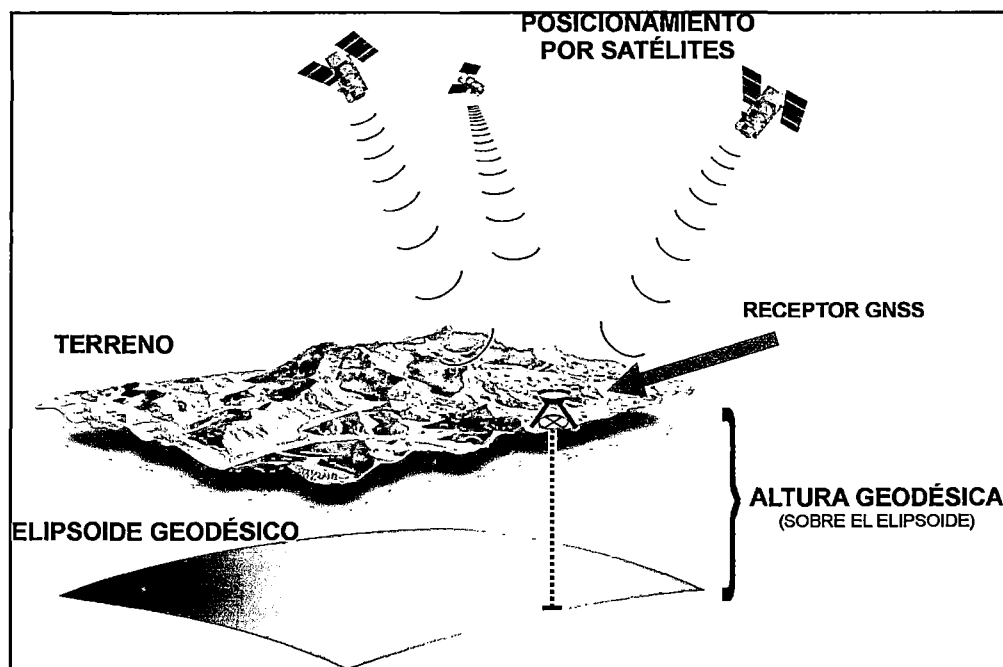


Fig. 3-29 Altura Elipsoidal de un punto sobre el terreno

Fuente: www.inegi.gob.mx

b) Altura Nivelada

Es la distancia vertical medida por el método de nivelación geométrica o trigonométrica entre uno o varios puntos datum verticales y el punto de medición. Esta altura es llamada, incorrectamente, altura ortométrica.

c) Altura Ortométrica (H)

Es la altura entre la superficie topográfica y el geoide siendo perpendicular a este último. Por lo que será necesario conocer la gravedad verdadera entre el punto evaluado y el geoide.

La gravedad medida en la superficie topográfica es la gravedad real y la verdadera se encuentra referida al geoide, es aquí donde surge el inconveniente de cómo medirla siguiendo la vertical en el punto observado. Las alturas ortométricas se pueden calcular a partir de las elipsoidales:

$$H = h - N$$

N es la separación entre Geoide y elipsoide en ese punto, también llamada ondulación del Geoide. Debido a que el Geoide es una superficie compleja, el valor de **N** es variable según el lugar.

La determinación de cotas ortométricas es una tarea compleja, ya que implica la nivelación geométrica combinada con observaciones gravimétricas.

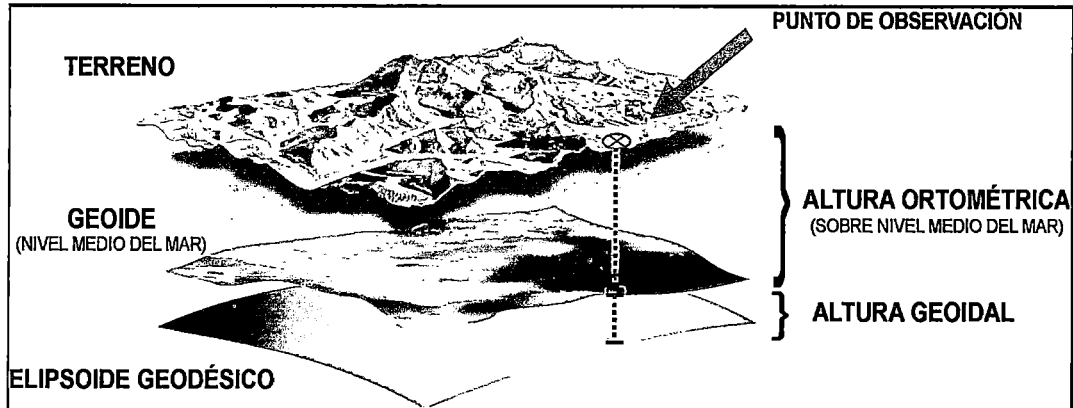


Fig. 3-30 Altura Ortométrica

Fuente: www.inegi.gob.mx

d) Altura Geoidal u Ondulación (N)

La diferencia que existe entre el geoide y el elipsoide se conoce como ondulación del geoide **N**.

Conociendo la ondulación geoidal se puede calcular la altura ortométrica o altura sobre el NMM de algún punto de observación en particular todo esto a partir del valor de la altura sobre el elipsoide referida por un equipo GPS.

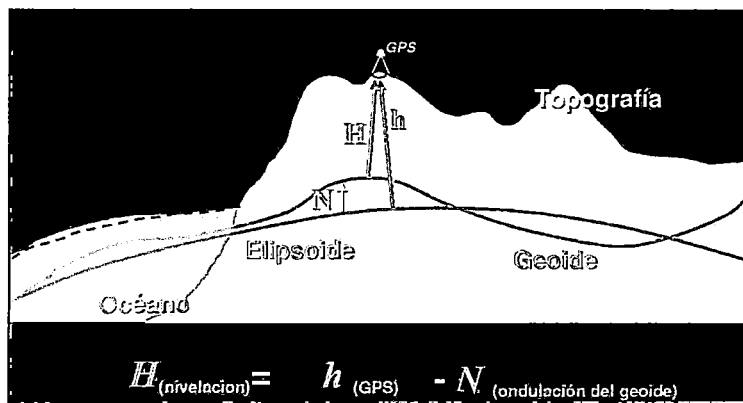


Fig. 3-31 Altura Elipsoidal y Ortométrica

Fuente: www.igm.ar

e) Modelos Geoidales

Una alternativa disponible para obtener la ondulación geoidal (N), es a través del uso de modelos geopotenciales globales, como el EGM 96 que fue desarrollado por la NASA y el NIMA, su comportamiento en Sudamérica tuvo resultados positivos.

El modelo EGM 96 es el resultado de datos provenientes de diversas técnicas que incluyen a la observación de perturbaciones orbitales de satélites, altimetría oceánica por radar y datos de gravedad terrestre y aérea. Este modelo ofrece alturas relativas al nivel medio del mar a escala global no referidas a los datum verticales nacionales. Donde la variación de las ondulaciones del geode es mucho más fuerte en zonas altas, donde estas tienden a seguir aunque en forma limitada la topografía. Cuando más abruptos sean los cambios de la topografía mas difícil será que un modelo geopotencial represente correctamente a las ondulaciones del geode. En la Fig. 3-32 se muestra los valores de N en función de la latitud y longitud del punto:

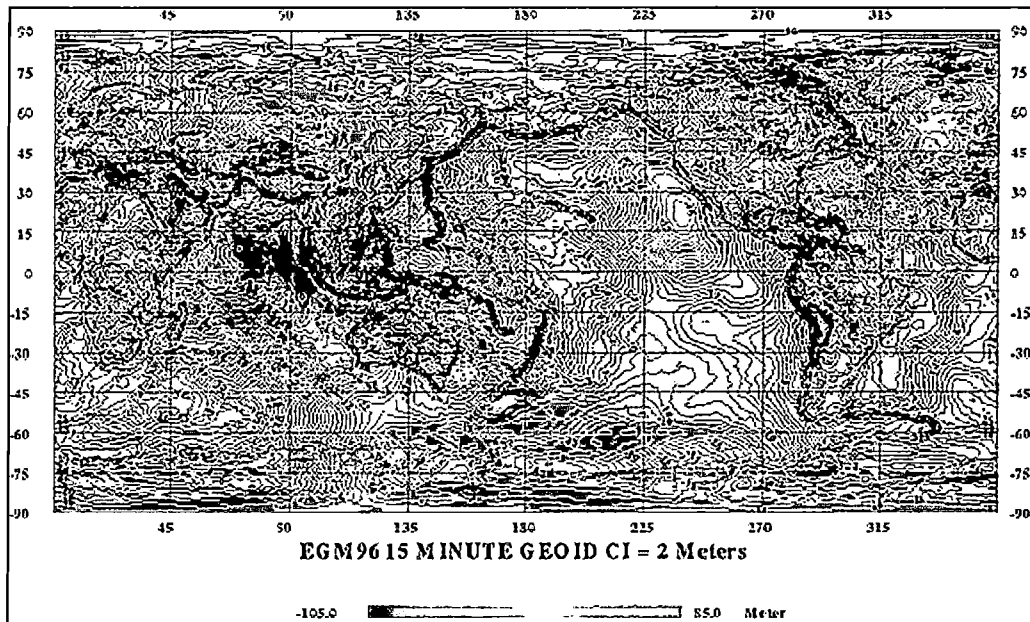


Fig. 3-32 Modelo Geoidal Global EGM 96

Fuente: <http://cddis.gsfc.nasa.gov/926/egm96/egm96.html>

Existe una aplicación Web para el cálculo de N :

<http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/geoid.cgi?en>
<http://earth-info.nga.mil/GandG/emg96/input.htm>

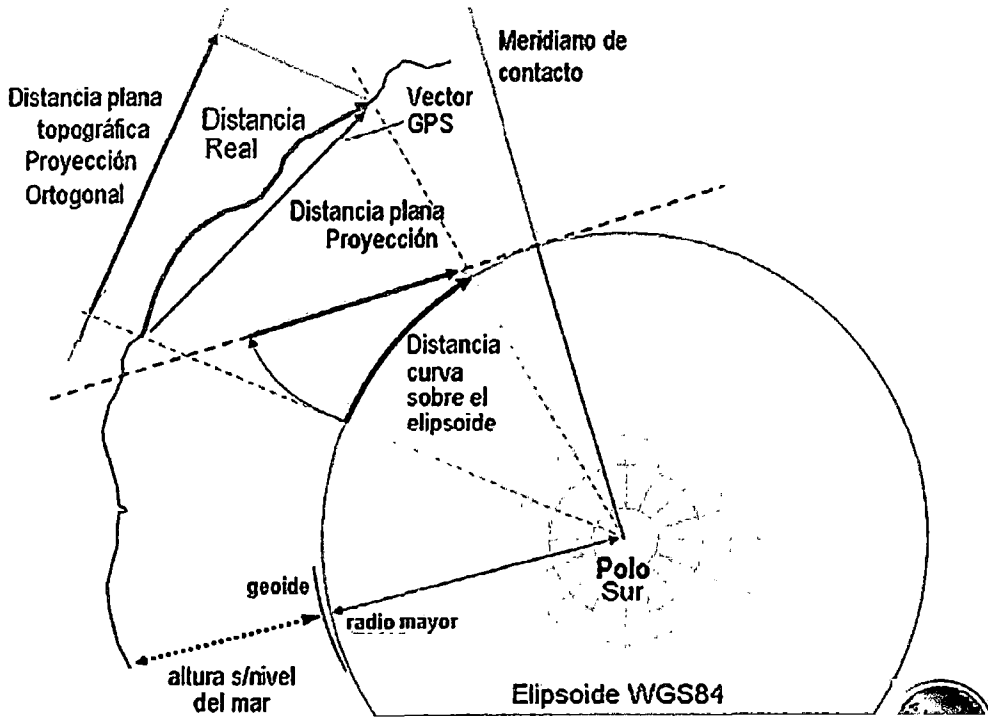


Fig. 3-33 Relación entre Distancia Topográfica y Geodésica

Fuente: www.elagrimensor.net

CAPITULO IV

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

4.1 INTRODUCCIÓN

El GPS es un sistema de navegación que permite determinar la posición las 24 horas del día, en cualquier lugar del planeta y en cualquier condición climatológica.

El sistema GPS fue concebido en la década del sesenta, durante el cual llevaron a cabo diversos proyectos y experimentos, entre los que se cuentan los sistemas Transit, Timation, Loran, Decca etc. todos estos permitían determinar posiciones, pero continuaban siendo muy limitados en precisión y funcionalidad. A principios de los años 70 se consolidó como un proyecto dedicado a determinar una posición precisa en cualquier punto de la superficie terrestre.

El GPS fue diseñado originalmente con fines militares y es administrado por el Departamento de Defensa (DoD) de Estados Unidos.

Los rusos en 1976, iniciaron la implementación de su propio sistema de posicionamiento satelital, llamado Glonass, el cual envía señales de radio a la Tierra, pero en frecuencias distintas al sistema norteamericano.

En junio del 2003 la Agencia Europea del Espacio ha iniciado el programa Galileo, lanzando al espacio el primer satélite del sistema, el cual constará con un total de 30 satélites y esta previsto completar el programa para el 2008. Este sistema será compatible con el GPS.

En la actualidad el GPS tiene aplicaciones civiles, tales como: navegación, topografía, geodesia, GIS, entre otros.

4.1.1 Ventajas

El sistema GPS tiene numerosas ventajas sobre los métodos de topografía tradicionales:

- ✓ No se requiere la intervisibilidad entre las estaciones.
- ✓ Puede ser usado en cualquier momento del día o de la noche y bajo cualquier condición climática.
- ✓ El rango de distancias que se pueden alcanzar es mucho mayor, al no ser medidas directas, con el GPS podemos medir bases desde unos pocos metros hasta miles de km y obtienen resultados con precisión geodésica.
- ✓ Su fragilidad es menor y su mantenimiento y calibración no es requerido con la frecuencia que lo requieren los instrumentos ópticos. Por ello, los costos de mantenimiento son menores.
- ✓ Se obtiene mejores rendimientos, en menos tiempo y con menos personal.
- ✓ La variedad de métodos de posicionamiento hace que sean sistemas apropiados y aptos para cualquier tipo de trabajo.
- ✓ Se minimizan los errores humanos.

4.1.2 Inconvenientes

Los inconvenientes más relevantes son:

- ✓ No puede ser utilizado en obras subterráneas.
- ✓ Tiene dificultades en zonas urbanas cerradas con altos edificios y zonas de bosques, debido a las continuas pérdidas de señal de los satélites.
- ✓ El GPS es una gran herramienta y de fácil uso, pero ello no lleva consigo eximirse del su conocimiento y del tratamiento de sus observables correctamente, ya que de lo contrario, se pueden obtener resultados poco satisfactorios en precisión y rendimiento.

4.2 FUNDAMENTOS

4.2.1 Trilateración Satelital

Los satélites del sistema de posicionamiento global se encuentran girando

alrededor de la Tierra en órbitas predefinidas a una altura aproximada de 20,200 kilómetros, siendo posible conocer con exactitud la ubicación de un satélite en un instante de tiempo dado, convirtiéndose por lo tanto los satélites en puntos de referencia en el espacio.

- ✓ **Paso 1:** El receptor GPS fija la posición de un satélite y calcula la distancia hasta él. Esto solamente nos indica que estamos sobre una esfera, que tiene su centro en el satélite y 20,000 km de radio.

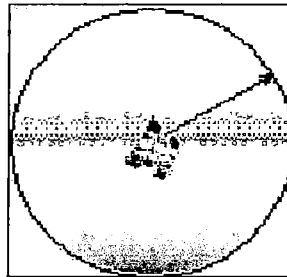


Fig. 4-1 Paso 1

Fuente: www.fcf.unse.edu.ar

- ✓ **Paso 2:** Ahora consideramos que el receptor toma la señal de un segundo satélite y calcula la distancia al satélite que podríamos considerar igual 15,000 km. Esto significa que nosotros nos encontramos también sobre una esfera con 15,000 km de radio con el segundo satélite en su centro. Nosotros debemos estar entonces en algún lugar donde las 2 esferas se interceptan, con lo cual se forma un círculo, así que debemos estar en alguna parte del círculo.

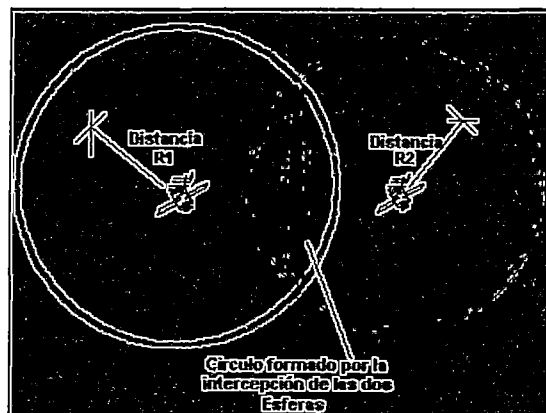


Fig. 4-2 Paso 2

Fuente: www.corpac.gob.pe

- ✓ **Paso 3:** Si el receptor capta otro satélite, digamos a 22,000 km de distancia, otra esfera es formada y siguiendo el mismo razonamiento de

intersección, hay solo 2 puntos donde las 3 esferas se interceptan. Usualmente el receptor descarta uno de los 2 puntos porque es un punto exterior a la Tierra, así el punto que queda es la posición donde se encuentra el receptor GPS.

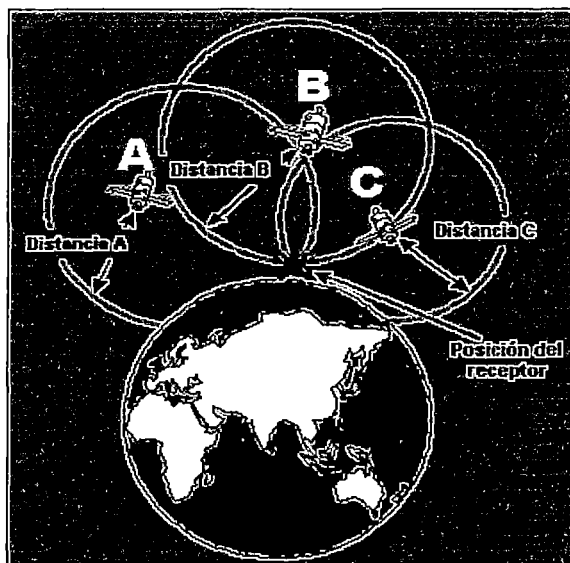


Fig. 4-3 Paso 3

Fuente: www.corpac.gob.pe

4.2.2 Las Observables

a) Medidas de Código

La distancia de un satélite a un receptor se calcula midiendo el tiempo de viaje de la señal de radio desde el satélite al receptor. Conociendo la velocidad de la señal de radio, la distancia se determina por medio de la ecuación de movimiento con velocidad uniforme.

$$D = v * t$$

Siendo:

D = distancia en kilómetros desde el satélite al punto considerado

v = velocidad de la señal de radio, aprox. la velocidad de la luz (300,000 km/s)

t = tiempo de viaje de la señal en segundos

Para poder medir el tiempo de viaje de la señal, se compara el código generado por el receptor y el satélite, y se mide el tiempo de viaje de la señal.

El tiempo promedio que una señal tarda en viajar de un satélite orbitando a 20,200 kilómetros a la Tierra es de 0,067 segundos. Este hecho hace necesario

la utilización de relojes muy precisos.

Los satélites portan relojes atómicos con precisiones de un nanosegundo, pero colocar este tipo de relojes en los receptores sería muy costoso. Para solucionar este problema los receptores corrigen los errores en la medición del tiempo mediante una medición a un cuarto satélite.

La señal del satélite es modulada por dos códigos (C/A y P). El código C/A está basado en el tiempo marcado por un reloj atómico de alta precisión. El receptor cuenta también con un reloj que se utiliza para generar un código C/A coincidente con el del satélite.

De esta forma, el receptor GPS puede "hacer coincidir" o correlacionar el código que recibe del satélite con el generado por el receptor.

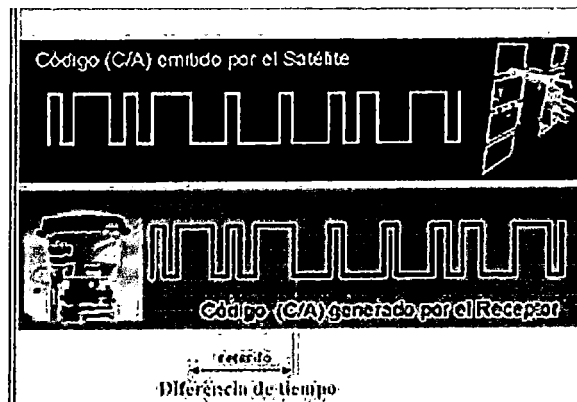


Fig. 4-4 Medida de Código

Fuente: www.topografiaglobal.com.ar

b) Medida Fase

La medida de fase opera midiendo directamente la fase de las ondas $L1$ y $L2$, desechando el código que portan. Es el método que permite mayor precisión, alrededor del 1% de la longitud de onda utilizada, que para $L1$ es de **1.9 mm** y para $L2$ de **2.4 mm**. La medición de fase se basa en el cálculo de la cantidad de desfase correspondiente al ciclo en el que llega al receptor. Sin embargo, el número de ciclos que ha completado la onda hasta llegar al receptor es desconocido y tendremos que determinarlo. Esta cifra se denomina "ambigüedad de fase = N " y es la incógnita del cálculo.

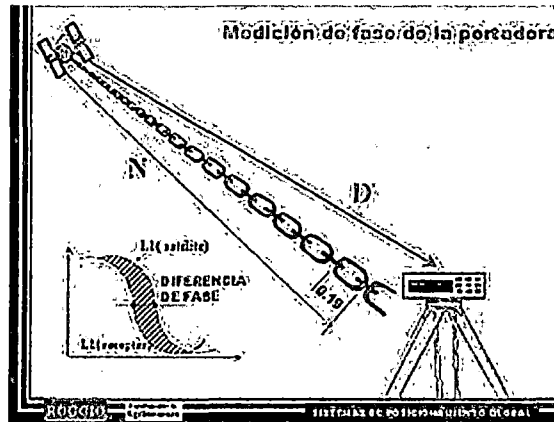


Fig. 4-5 Determinación de la Medida de Fase

Fuente: www.topografiaglobal.com.ar

TABLA 4.1
PRECISIONES DE LAS OBSERVABLES

SEÑAL	FRECUENCIA	LONG. DE ONDA	PRECISIÓN
L1	1575.42 Mhz	0.1905 m	1.9 mm
L2	1227.60 Mhz	0.2445 m	2.4 mm
Código P	10.23 Mhz	29.31 m	0.29 m
Código C/A	1.023 Mhz	293.1 m	2.9 m

Fuente: www.monografias.com

4.2.3 Fase Portadora

Es la onda sinusoidal de la señal L1 o L2 creada por el satélite (utilizada para transmisiones de radio) y viajan a la Tierra a la velocidad de la luz.

Dichas ondas portadoras se derivan de la frecuencia fundamental, generada por un reloj atómico muy preciso.

- La portadora L1 es transmitida a 1575.42 MHz (10.23 x 154).
- La portadora L2 es transmitida a 1227.60 MHz (10.23 x 120).

La portadora L1 es modulada por dos códigos: C/A modulada a 1.023MHz (10.23/10) y el código P modulada a 10.23MHz. L2 es modulada por el código P a 10.23 MHz.

Se utiliza la fase portadora porque esta puede proporcionar una medida hacia el satélite mucho más precisa que la que se consigue utilizando el código C/A o el código P. Longitud de Onda (A): L1 = 19.05 cm y L2 =24.45 cm.

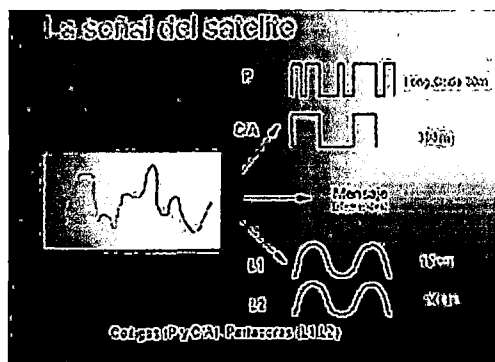


Fig. 4-6 La señal del satélite

Fuente: www.topografiaglobal.com.ar

4.2.4 Codificación

Las ondas portadoras están diseñadas para llevar los códigos binarios C/A y P en un proceso conocido como modulación. Modulación significa que los códigos están superpuestos sobre la onda portadora. Los códigos son códigos binarios. Esto significa que sólo pueden tener dos valores -1 y +1. Cada vez que el valor cambia, hay un cambio en la fase de la portadora.

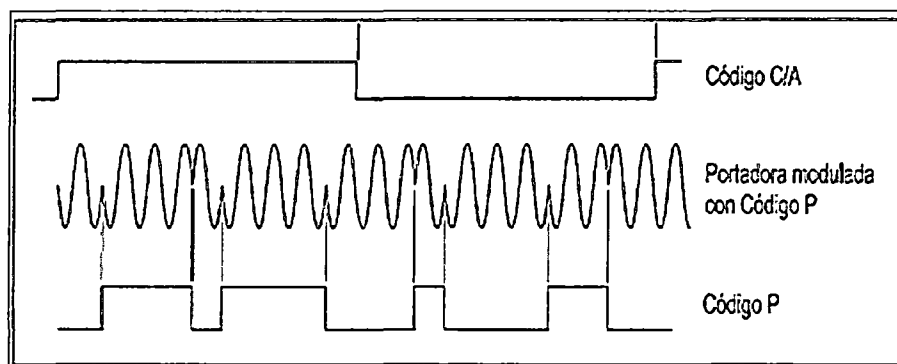


Fig. 4-7 Modulación de la Fase Portadora

Fuente: www.leica-geosystem.com

a) Código C/A

Es el Código de Adquisición Gruesa. Modula a la portadora L1 a 1.023 MHz, $\lambda=300\text{m}$. También es conocido como "código civil".

Las distancias sin corregir se llaman pseudodistancias, las precisiones alcanzadas con las mediciones del código C/A es de 10 m sin S/A y de 100 m si se activa la S/A.

b) Código P

Es el Código Preciso, modula a las portadoras L1 y L2 a 10.23 MHz, $\lambda=30\text{m}$. La secuencia se repite cada 267 días, cada segmento de una semana del código es

único para cada satélite y es reajustado semanalmente. Cuando se halla activo, el código P se conoce como código Y.

c) Código Y

Es la señal encriptada del Código P, fue concebido con la idea de no permitir que los usuarios civiles y fuerzas hostiles tengan acceso al Código P (Efecto Anti-Spoofing). Solo los usuarios con GPS militares (EEUU y sus aliados) pueden descifrar el Código Y.

Además de los códigos, se modula también el mensaje de navegación, que incluye datos de efemérides de los satélites y el estado de los relojes.

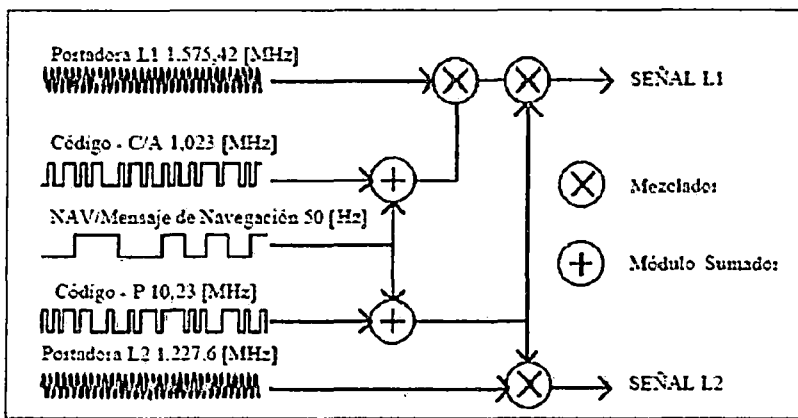


Fig. 4-8 Estructura de la Señal GPS

Fuente: www.cartografia.cl

4.2.5 Cálculo de Coordenadas

Se establece un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas (las tres coordenadas del punto y el error del reloj del receptor).

En nuestro caso dispondremos de 4 esferas, con radios: R_1, R_2, R_3, R_4

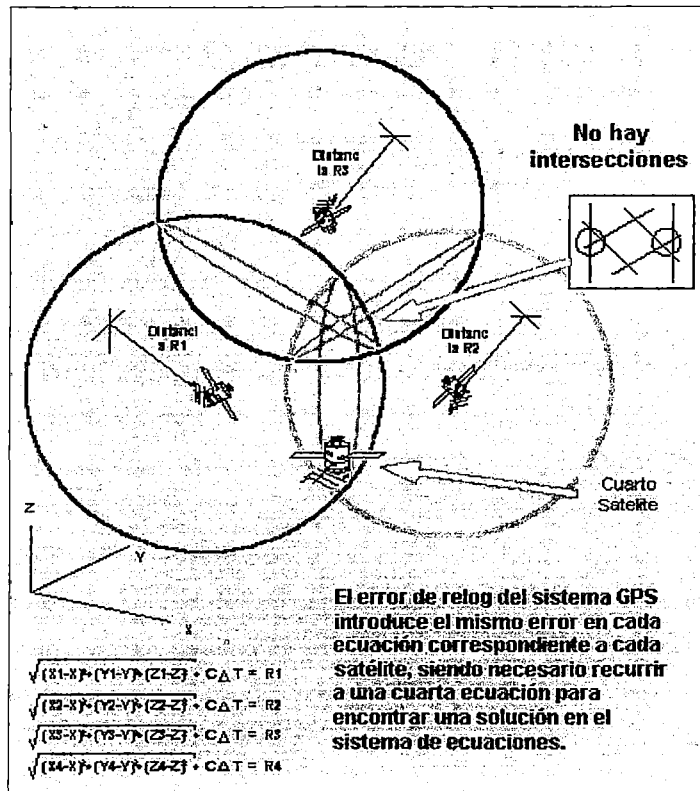


Fig. 4-9 Cálculo de Coordenadas

Fuente: www.corpac.gob.pe

El receptor GPS debe ser capaz de recoger de forma simultánea las señales de cuatro satélites como mínimo, es decir, deberá contar con 4 canales independientes. Los modernos receptores cuentan con 9 y 12 canales, lo cual permite efectuar varias mediciones a distintos satélites.

Esto tiene gran importancia, pues veremos posteriormente que la posición espacial de unos satélites es más favorable que la de otros. Está claro que si disponemos de más satélites y de un sistema que analice sus posiciones relativas y efectúe los cálculos con los más favorables.

4.2.6 Niveles de Servicio

GPS proporciona dos niveles de servicio de precisión que se detallan a continuación:

a) **SPS (Servicio estándar de posición):** Es el servicio disponible para todos los usuarios. Para su acceso no se requieren claves ni variables criptográficas. Este servicio está afectado por S/A y A-S; los receptores de SPS utilizan el código C/A y no pueden rastrear el código Y.

b) PPS (Servicio preciso de posición): Es el servicio de precisión total. Para su acceso se requiere lógica criptográfica, claves, ser una agencia oficial de los Estados Unidos o una de sus fuerzas armadas o una agencia militar autorizada. Los receptores PPS utilizan el código C/A y el código P. Bajo este servicio, se contrarrestan los efectos de S/A y A-S.

4.3 COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema GPS comprende tres segmentos diferentes:

- ✓ El segmento Espacial: satélites que giran en órbitas alrededor de la Tierra.
- ✓ El segmento de Control: formado por estaciones ubicadas cerca del ecuador terrestre para controlar a los satélites.
- ✓ El segmento Usuario: Cualquiera que reciba y utilice las señales GPS.

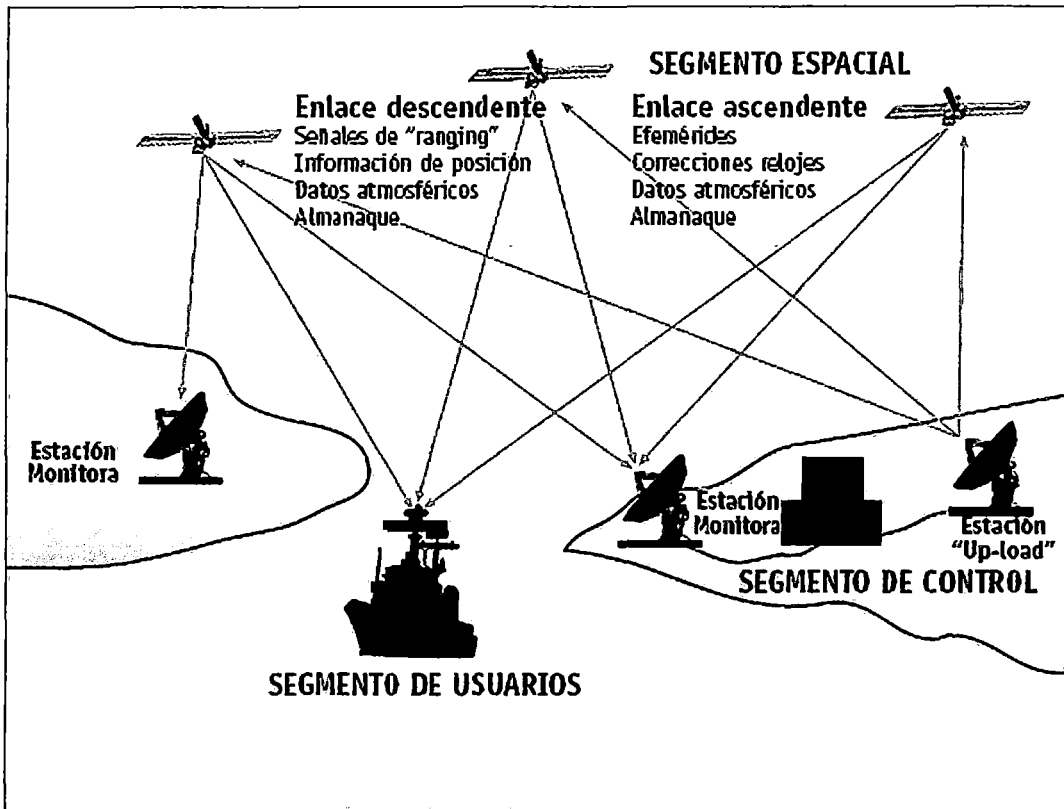


Fig. 4-10 Componentes del Sistema GPS

Fuente: www.madrid.org

4.3.1 El segmento Espacial

El segmento Espacial consiste de 24 satélites, distribuyéndose en 6 planos orbitales, 4 satélites en cada plano orbital, con una separación entre órbitas de 60°, que giran en órbitas aproximadamente circulares de 26,560 km de radio,

con una inclinación de 55° , ubicadas aproximadamente a 20,200 km cada 12 horas. Actualmente, existen 27 satélites operativos que giran alrededor de la Tierra, de los cuales 3 son de respaldo.

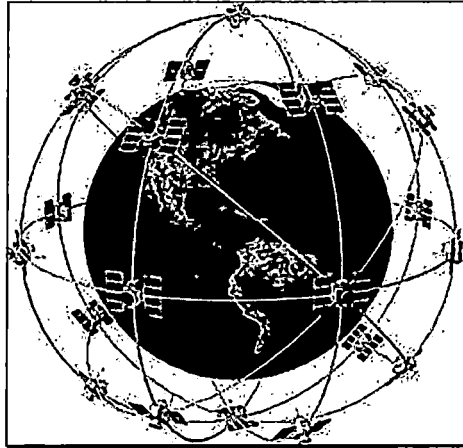


Fig. 4-11 Constelación de Satélites GPS

Fuente: www.ibcperu.org

El segmento espacial está diseñado de tal forma que se pueda contar con un mínimo de 4 satélites visibles por encima de un ángulo de elevación de 15° en cualquier punto de la superficie terrestre, durante las 24 horas del día. Para la mayoría de las aplicaciones, el número mínimo de satélites visibles deberá ser de cuatro. La experiencia ha demostrado que la mayor parte del tiempo hay por lo menos 5 satélites visibles por encima de los 15° , y muy a menudo hay 6 o 7 satélites visibles.

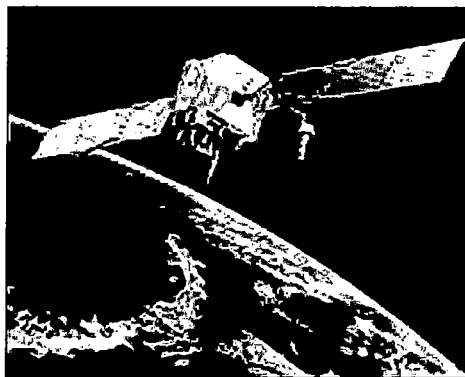


Fig. 4-12 Satélite GPS

Fuente: www.proteccioncivil.org

Cada satélite GPS lleva a bordo 4 relojes atómicos muy precisos, 2 de cesio y 2 de rubidio. Estos relojes operan en una frecuencia de fundamental de 10.23MHz, la cual se emplea para generar las señales transmitidas por el satélite.

Los receptores GPS utilizan los diferentes códigos para distinguir los satélites.

4.3.2 El Segmento de Control

El segmento de control consiste de 1 estación de control maestro y 5 estaciones de observación distribuidas en puntos cercanos al Ecuador.

El segmento de Control es el encargado de determinar la órbita de cada satélite y predecir su trayectoria para las siguientes 24 horas, el comportamiento de los relojes de los satélites, y actualizar periódicamente el mensaje de navegación de cada uno de los satélites. Esta información es cargada a cada satélite y posteriormente transmitida desde allí. Esto permite al receptor GPS conocer la ubicación de cada satélite. Además la estación maestra de control, activa los modos S/A y A-S.

Los segmentos de control de la constelación están ubicadas en:

- ✓ Colorado Springs (U.S.A)
- ✓ Ascensión (Atlántico Sur)
- ✓ Hawaii (Pacífico Horizontal)
- ✓ Kwajalein (Pacífico Occidental)
- ✓ Diego García (Indico)



Fig. 4-13 Red de Estaciones de Observación y Estación Maestra de Control GPS

Fuente: www.gpsis.utp.edu.co

Existe además una red de estaciones de seguimiento extendidas por todo el mundo, cuyo fin es la obtención de las efemérides y registran continuamente datos para estudios geodinámicos. Esta red constituye el IGS.

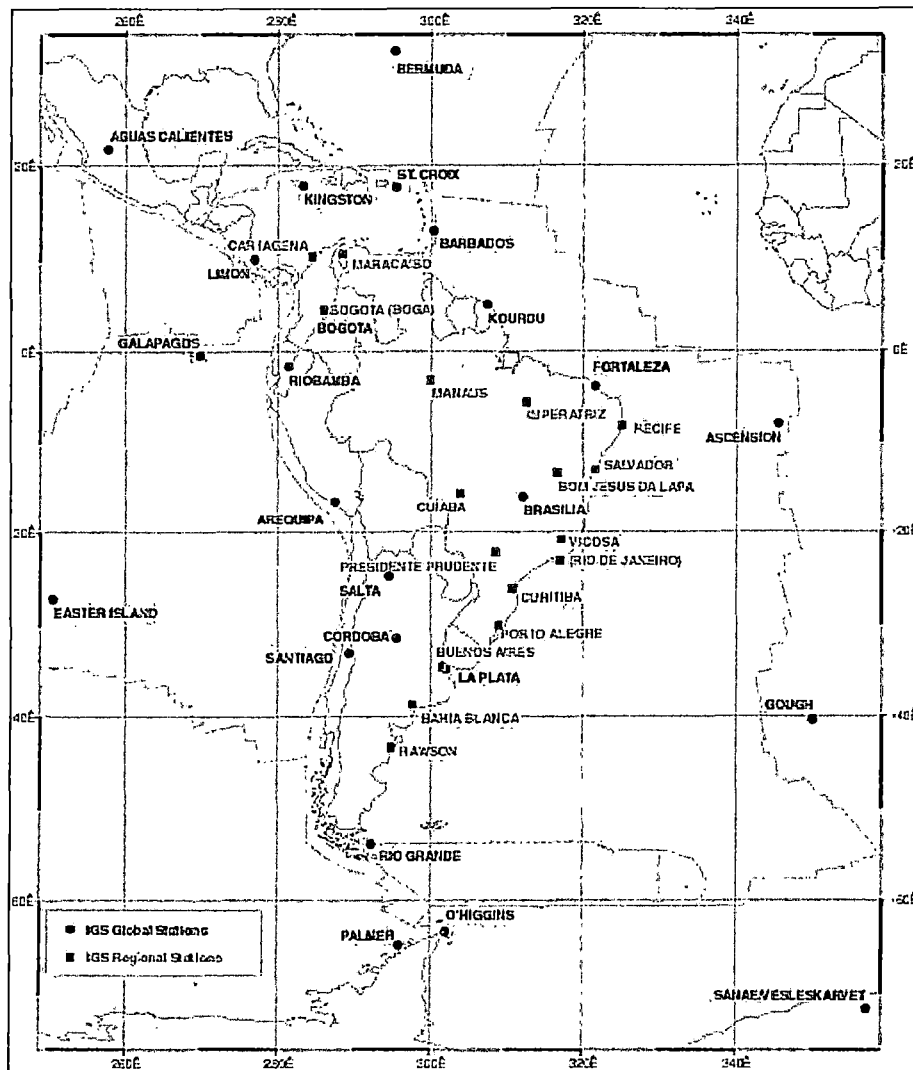


Fig. 4-14 Estaciones GPS de Permanentes en Sudamérica

Fuente: www.fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar

4.3.3 El Segmento de Usuarios

El segmento de Usuarios comprende el instrumental que deben utilizar los usuarios para la recepción, lectura, tratamiento y configuración de las señales.

El receptor es el instrumento que recibe y decodifica la señal del satélite calculando las coordenadas del punto deseado, varía en precisión, tamaño, peso, capacidad de almacenamiento de datos y número de satélites que utilizan para calcular posición. En la actualidad los receptores GPS están diseñados con la tecnología de canales múltiples paralelos conteniendo entre 5 y 12 circuitos receptores sintonizados cada uno ellos a la señal de un satélite en particular.

Los componentes básicos de un receptor GPS son:

1. Antena con preamplificador para recibir la señal.
2. Sección de radio frecuencia o canal.

3. Microprocesador para la reducción, almacenamiento y procesamiento de datos.
4. Oscilador de precisión para la generación de los códigos pseudoaleatorios utilizados en la medición del tiempo de viaje de la señal.
5. Fuente de energía eléctrica.
6. Interfases del usuario constituidas por el panel de visualización y control o pantalla, teclado de comandos y manejo de datos.
7. Dispositivo de almacenamiento de datos o memoria de almacenamiento.

4.4 FUENTES DE ERROR

4.4.1 Errores Relativos del Satélite

a) Errores en la Efemérides

Los satélites en su movimiento orbital se someten a la acción de diferentes agentes (cambios gravitacionales, efectos magnéticos, viento solar, etc.), que alteran sus trayectorias. Dentro de la corrección diaria enviada por la estación maestra, se envía la nueva posición orbital para ajustar el mensaje de navegación.

b) Errores del reloj

Aunque los relojes en los satélites son muy precisos (cerca de 3 nanosegundos), algunas veces presentan una pequeña variación en la velocidad de marcha y producen pequeños errores, afectando la precisión. El Departamento de Defensa de los Estados Unidos, observa permanentemente los relojes de los satélites mediante el segmento de control y puede corregir cualquier deriva que pueda encontrar.

4.4.2 Errores Relativos a la Propagación de la Señal

a) Retrasos Ionosféricos

La Ionósfera, capa de la atmosfera localizada entre 60 y 500 km de altura, se caracteriza por un alto contenido de iones.

Al pasar la señal del satélite a través de la ionósfera, su velocidad puede disminuir, este efecto es similar a la refracción producida al atravesar la luz un bloque de vidrio. Estos retrasos atmosféricos pueden introducir un error en el cálculo de la distancia, ya que la velocidad de la señal se ve afectada.

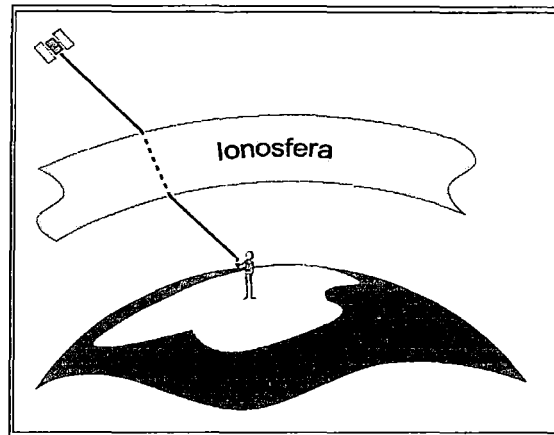


Fig. 4-15 Retrasos Ionosféricos
Fuente: www.leica-geosystem.com

Las señales de satélites que se encuentran en un ángulo de elevación bajo se verán más afectadas que las señales de satélites que se encuentran en un ángulo de elevación mayor. Esto es debido a la mayor distancia que la señal tiene que viajar a través de la ionósfera.

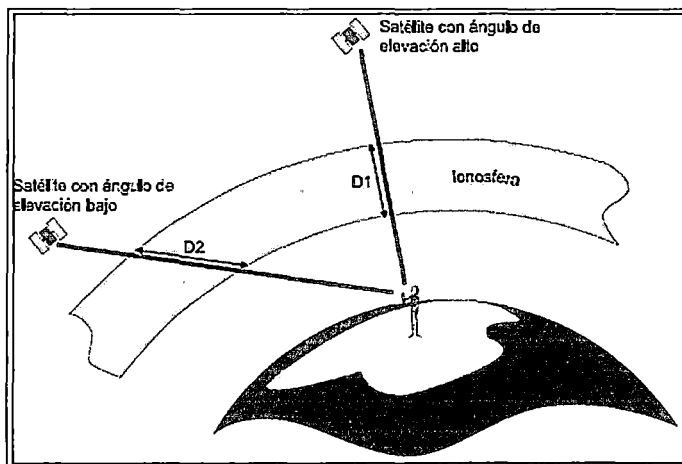


Fig. 4-16 Elevación del Satélite
Fuente: www.leica-geosystem.com

Durante la noche, la influencia ionosférica es mínima. En el día, el efecto de la ionosfera se incrementa y disminuye la velocidad de la señal.

Los errores debidos a la ionosfera pueden ser mitigados empleando los siguientes métodos:

- ✓ El primer método supone la toma de un promedio del efecto de la reducción de la velocidad de la luz causada por la ionosfera. Este factor de corrección puede ser entonces aplicado a una serie de cálculos. Sin embargo, esto depende de un promedio y obviamente esta condición promedio no ocurre todo el tiempo. Por lo tanto, este método no es la solución óptima para la Mitigación del Error Ionosférico.
- ✓ El segundo método supone el empleo de los receptores de "doble frecuencia". Tales receptores miden las frecuencias L1 y L2 de la señal GPS. Es sabido que cuando una señal de radio viaja a través de la ionosfera, ésta reduce su velocidad en una relación inversamente proporcional a su frecuencia. Por lo tanto, si se comparan los tiempos de arribo de las dos señales, se puede estimar el retraso con precisión. Nótese que esto es posible únicamente con receptores GPS de doble frecuencia.

El vapor de agua contenido en la atmósfera también puede afectar las señales GPS. Este efecto, el cual puede resultar en una degradación de la posición, puede ser reducido utilizando modelos atmosféricos.

b) Refracción Troposférica

La troposfera es la capa más baja de la atmósfera, en la cual la temperatura disminuye linealmente al aumentar la altura. Su espesor es variable entre extremos 9 km en los polos y 16 km en el Ecuador. Dentro de esta capa, las ondas electromagnéticas interactúan con átomos y moléculas neutros, lo que produce su refracción, que resulta en un retraso de las señales respecto de una señal ideal que se propagara en el vacío. Este fenómeno ocurre también para capas atmosféricas más altas, pero dado que la mayor parte del efecto proviene de la troposfera por su mayor densidad, es tratado en conjunto y denominado convencionalmente retardo troposférico en lugar de retardo por efecto de la atmósfera neutra, que sería estrictamente más apropiado.

c) Disponibilidad Selectiva (S/A)

La Disponibilidad Selectiva es una introducción artificial de errores en la señal, sobre el código C/A. Es un proceso aplicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos a la señal GPS. Tiene como finalidad denegar, tanto a usuarios civiles como a las potencias hostiles, el acceso a toda la precisión que

brinda el GPS, sometiendo a los relojes del satélite a un proceso conocido como "dithering" (dispersión), el cual altera el tiempo ligeramente. Además, las efemérides son transmitidas ligeramente alteradas respecto a las verdaderas. El resultado final es una degradación en la precisión de la posición.

El S/A afecta a los usuarios civiles que utilizan un solo receptor GPS para obtener una posición absoluta. Los usuarios de sistemas diferenciales no se ven afectados de manera significativa por este efecto.

A partir del 1 de mayo del 2000, se interrumpió la Disponibilidad Selectiva, con el fin de favorecer a usuarios civiles, mejorando así la precisión de los receptores GPS.

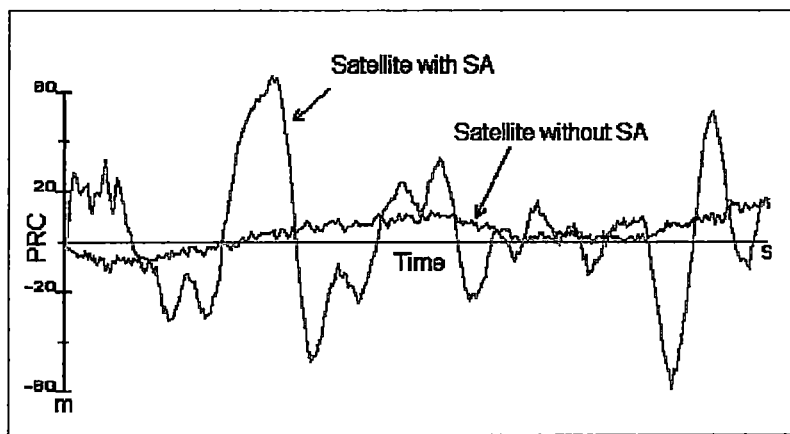


Fig. 4-17 Disponibilidad Selectiva

Fuente: www.infogeo.cl

d) Efecto Multitrayectoria (Multipath)

El efecto de multitrayectoria se presenta cuando el receptor está ubicado cerca de una gran superficie reflectora, tal como un lago o un edificio. La señal del satélite no viaja directamente a la antena, sino que llega primero al objeto cercano y luego es reflejada a la antena, provocando una medición falsa.

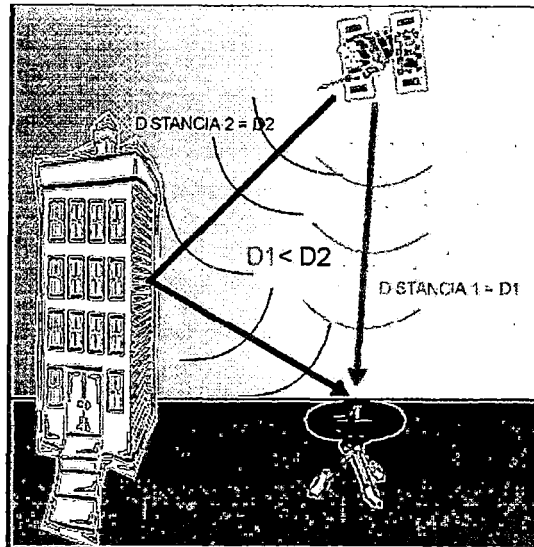


Fig. 4-18 Efecto Multitrayectoria

Fuente: www.gpsis.utp.edu.co

Frente a este efecto debe evitarse, en lo posible, la selección de sitios densamente poblados o cercanos a edificios, bosques, cuerpos de agua, instalaciones eléctricas o de comunicaciones, maquinaria vehículos, etc.

e) Anti-Spoofing (A-S)

El efecto Anti-Spoofing es similar al efecto S/A, ya que ha sido concebido con la idea de no permitir que los usuarios civiles y las fuerzas hostiles tengan acceso al código P de la señal GPS, obligándolos a emplear el código C/A, al cual se aplica el efecto S/A. El efecto Anti-spoofing encripta el código P en una señal conocida como código Y. Sólo los usuarios con receptores GPS militares pueden descifrar el código Y.

Las distancias se pueden calcular con mayor precisión empleando el código P, ya que este se transmite 10 veces más por segundo que el código C/A.

Con los receptores GPS militares generalmente se obtienen precisiones del orden de 5 metros.

f) Pérdidas de Ciclos

Las pérdidas de ciclos suponen un salto en el registro de las medidas de fase, producido por 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 retrasos 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.

La detección de una pérdida de ciclo y su reparación requiere la localización del salto y determinación de su tamaño. La detección se lleva a cabo por medio de un chequeo o test de cantidad, estos test pueden ser medida de la fase en bruto, combinaciones de fase, combinaciones de código y fase, etc. Una vez determinado el tamaño de la pérdida de ciclo, la reparación se hace corrigiendo a todas las observaciones de fase siguientes para este satélite y su portadora, según una cantidad fija. El software interno del receptor es capaz (in situ) de detectar y corregir las pérdidas de ciclo.

4.4.3 Errores Relativos al Receptor

a) 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. La diferencia entre ambos depende de la elevación, del acimut y de la intensidad de la señal que proviene del satélite. Esto es debido a que la respuesta radioeléctrica de la antena no es la misma en todas las direcciones y además varía en función de la intensidad de la señal. La antena presenta centros de fase diferentes para L1 y L2 y estos variarán dependiendo de la dirección de la cual provenga la señal.

b) Errores en la manipulación de los 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.

c) Retardos instrumentales

El hardware de los receptores y satélites GPS introduce un retardo sobre la señal que lo atraviesa. Este retardo tiene una componente debida al satélite y

otra debida al receptor, que dependen de la frecuencia. Por una parte el satélite envía su TGD (Total Group Delay, constantes instrumentales de los satélites) en el mensaje de navegación, mientras que por otra parte el retardo instrumental del receptor se considera incluido en su error de reloj. En el caso de la fase, este efecto se superpone al de la ambigüedad inicial.

4.4.4 Dilución de la Precisión (DOP)

La Dilución de la Precisión (DOP) es una medida de la fortaleza de la geometría de los satélites y está relacionada con la distancia entre los estos y su posición en el firmamento. El DOP puede incrementar el efecto del error en la medición de distancia a los satélites. El DOP es el indicador de calidad más importante en un levantamiento GPS.

Cuando los satélites están bien distribuidos, la posición se puede determinar dentro del área sombreada del diagrama y el margen de error posible es mínimo. Cuando los satélites están muy cerca unos de otros, el área sombreada aumenta su tamaño, incrementando también la incertidumbre en la posición.

Dependiendo de la dimensión, se pueden calcular diferentes tipos de Dilución de la Precisión:

VDOP (*Dilución Vertical de la Precisión*): Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección vertical.

HDOP (*Dilución Horizontal de la Precisión*): Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección horizontal.

PDOP (*Dilución de la Precisión en Posición*): Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D.

GDOP (*Dilución de la Precisión Geométrica*): Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D y en tiempo.

El valor DOP más útil a conocer es el GDOP, ya que es una combinación de todos los factores. Sin embargo, algunos receptores calculan el PDOP o HDOP, valores que no toman en consideración al componente de tiempo.

La mejor manera de minimizar el efecto del GDOP es observar tantos satélites como sean posibles. Recuerde, sin embargo, que las señales de satélites con poca elevación generalmente tienen una gran influencia de las fuentes de error. Como regla general, cuando se utilice el GPS para topografía, lo mejor es observar satélites con un ángulo de elevación de 15° sobre el horizonte.

La geometría ideal consiste en tres satélites a baja altura sobre el horizonte, separados 120° y un cuarto cercano al cenit.

La GDOP es un valor adimensional, el valor ideal es 1 y va creciendo según empeoran las condiciones de los satélites visibles, en valor máximo sobre el cual no debe realizarse ninguna medición es 6.

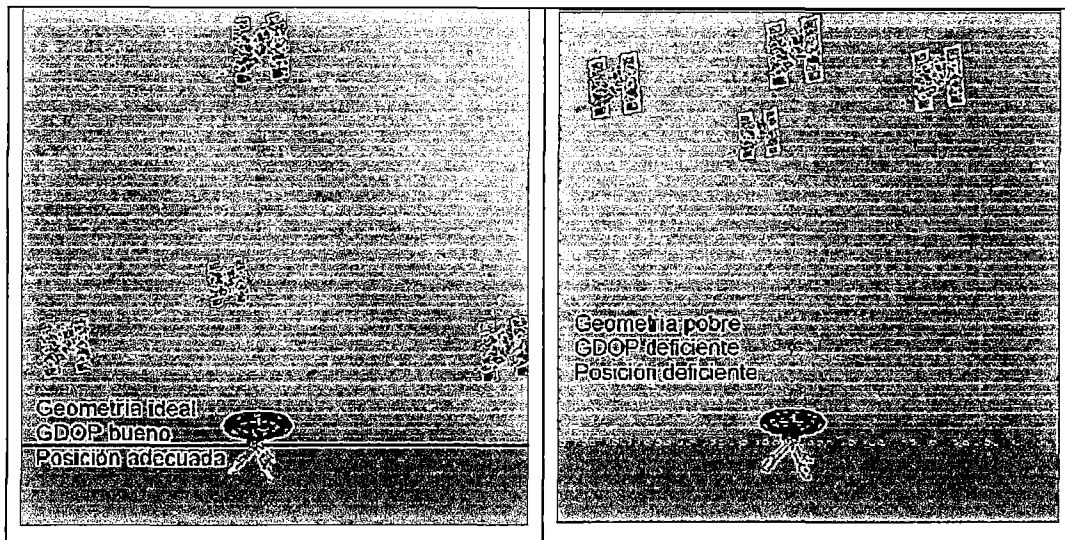


Fig. 4-19 Dilución de Precisión

Fuente: www.gpsis.utp.edu.co

TABLA 4.2
MAGNITUD DE LAS FUENTES DE ERRORES (m)

FUENTES DE ERROR	GPS Navegador	GPS Diferencial
<i>Relojes de los satélites</i>	1.5	0
<i>Errores de órbitas</i>	2.5	0
<i>Ionósfera</i>	5.0	0.4
<i>Tropósfera</i>	0.5	0.2
<i>Multipath</i>	0.6	0.6
<i>S/A</i>	30	0
<i>DOP</i>	25	0.1

Fuente: www.monografias.com

4.5 MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO

4.5.1 Autónomo

Se realiza con un solo receptor, el cual 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 son los códigos (C/A y P), pero también se podrían utilizar las diferencias de fase (L1, L2). El cálculo de las coordenadas está descrito en el ítem 4.2.6.

Este método es apropiado para la navegación. Hoy en día se obtiene precisiones de 10 m (sin S/A).

4.5.2 Diferencial

Se realiza con un mínimo de 2 receptores. Uno permanece fijo en un punto de coordenadas conocidas (base). Los equipos restantes se ubican en los puntos cuyas coordenadas se desea determinar (móvil).

El posicionamiento diferencial calcula las correcciones a cada satélite para aplicar después estas mismas correcciones al receptor móvil, a través de una señal de radio.

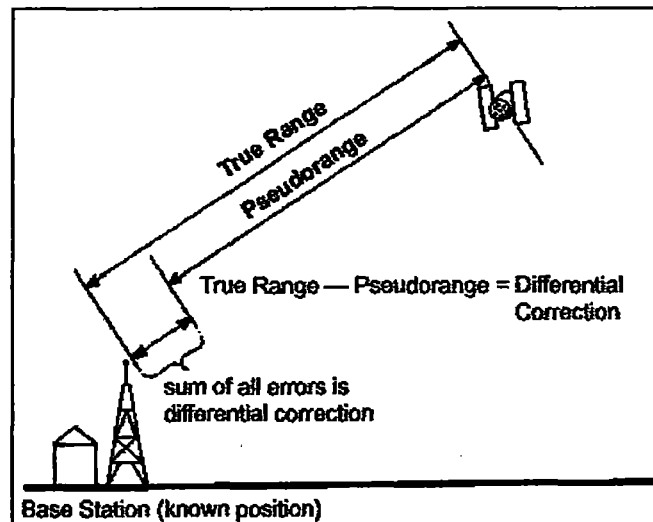


Fig. 4-20 Estación Base del GPS Diferencial

Fuente: www.gpsis.utp.edu.co

El Posicionamiento Diferencial es utilizado principalmente en la Geodesia, Topografía, control de maquinaria, etc. ofrece precisiones de 0.5-20mm.

Los errores que se eliminan utilizando el método diferencial son los siguientes:

- Disponibilidad selectiva (SA).
- Retardo inosférico.

- Retardo troposférico.
- Error en las efemérides.
- Error reloj satélite.

Ambigüedades y Resolución de Ambigüedades

Como los códigos y mensajes de navegación emitidos por cada satélite llegan al usuario modulados en una portadora y la longitud de onda de la portadora L1 es de 19 cm. Al usar esta portadora para determinar la distancia al satélite, tenemos una precisión del 1% de 19 cm, por lo tanto podemos conocer la distancia al satélite con una resolución del orden de 2 milímetros.

Cuando un receptor geodésico realiza observaciones de fase, determina solamente, la fracción de un ciclo de onda de la portadora de la señal GPS, pero desconoce cuantos ciclos enteros en total lo separa del satélite en un instante dado. Para un instante dado:

$$\text{Distancia receptor-satélite} = \text{cantidad de ciclos} + \text{fracción de ciclo medida}$$

Determinar cuantos ciclos enteros de la observación de fase de portadora hay en un momento dado y para un satélite en particular, se conoce como ambigüedad de la fase, o también designada como N.

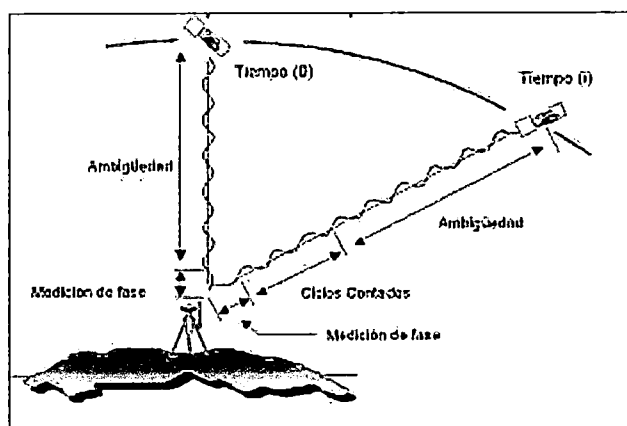


Fig. 4-21 Resolución de Ambigüedades

Fuente: www.geosistemassrl.com.ar

a) DGPS

El sistema funciona usando un Receptor de Referencia, ubicado en un lugar de coordenadas conocidas. La diferencia entre la distancia real desde el receptor de referencia y cada satélite se denomina "distancia de corrección diferencial". Este

error es transmitido por señales de radio al móvil en tiempo real. El Receptor Móvil cuenta con un radio enlace de datos conectado para recibir las correcciones transmitidas por el receptor de referencia. Luego aplica las correcciones de distancia recibidas, esto le permite calcular una posición más precisa.

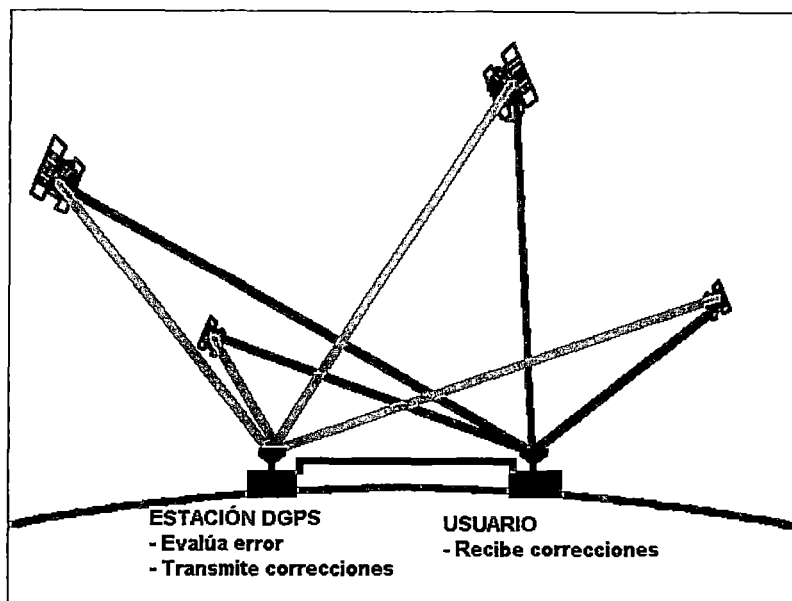


Fig. 4-22 Posicionamiento Diferencial

Fuente: www.leica-geosystem.com

Las señales de corrección diferencial pueden provenir de antenas radiofaros (Beacon) o de satélites geoestacionarios (Ominstar, Racal). Para tener acceso a estas señales hay que pagar una suscripción anual (\$ 2,000).

El sistema Omnistar tiene 5 estaciones de monitoreo en Sudamérica, las cuales reciben y envían la señal corregida a una base central en Barcelona, España, que verifica las correcciones y las retransmite al satélite geoestacionario que se encuentra sobre Brasil, sobre el Atlántico, el cual envía a los demás la señal corregida. El usuario recibe conjuntamente las señales GPS y DGPS y las utiliza en tiempo real.

También se puede recibir correcciones diferenciales, utilizando un formato estándar para la transmisión de datos GPS. Se denomina el formato RTCM (Radio Technical Comisión Maritime Services), una organización sin fines de lucro auspiciada por la industria. Este formato se usa en forma común alrededor de todo el mundo.

La técnica DGPS tiene una precisión de 1 m o menos.

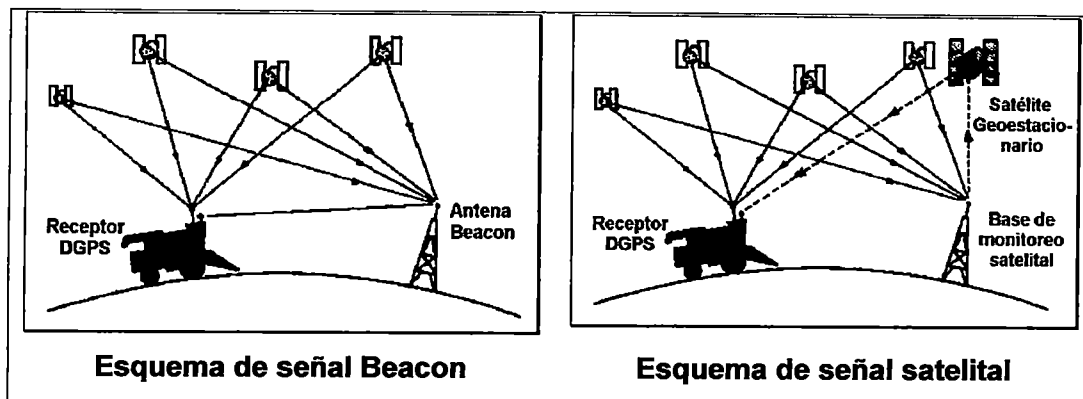


Fig. 4-23 Esquema de Funcionamiento DGPS

Fuente: www.topcon.com

b) Estático

b.1) Estático Convencional

Utilizado para líneas largas, redes geodésicas, estudios de tectónica de placas, etc. Ofrece precisión alta en distancias largas. Es utilizado para la medición de líneas bases largas (generalmente 20 km o más).

Se coloca un receptor en un punto cuyas coordenadas son conocidas, este es conocido como el Receptor de Referencia. El otro receptor es colocado en el otro extremo de la línea base y es conocido como el Receptor Móvil.

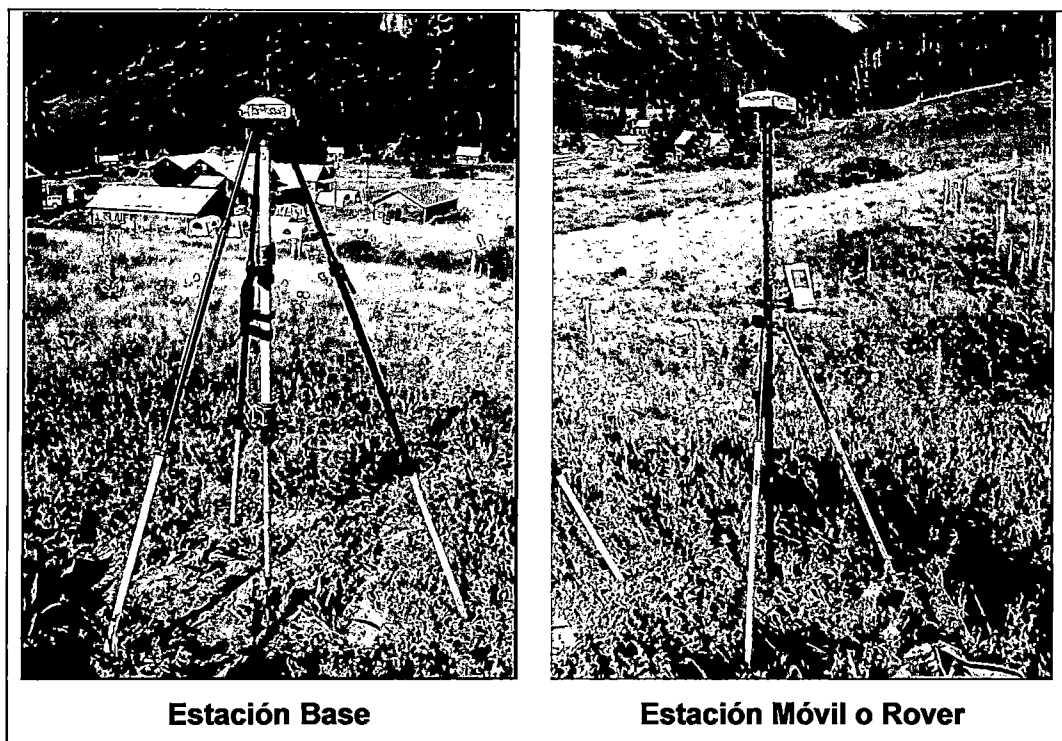


Fig. 4-24 Posicionamiento Estático

Fuente: www.topcon.com

Los datos son registrados en ambas estaciones en forma simultánea. Es importante que los datos sean registrados con la misma frecuencia en cada estación. El intervalo de registro de datos puede ser establecido en 15, 30 ó 60 segundos. Los receptores deben registrar datos durante un cierto periodo de tiempo. El tiempo de observación dependerá de la longitud de la línea, el número de satélites observados y la geometría (Dilución de la Precisión o DOP).

Este tipo de posicionamiento es el que brinda la mayor precisión, y se utilizan equipos de doble frecuencia pero si se emplea un equipo de una sola frecuencia el tiempo de ocupación debe ser mayor.

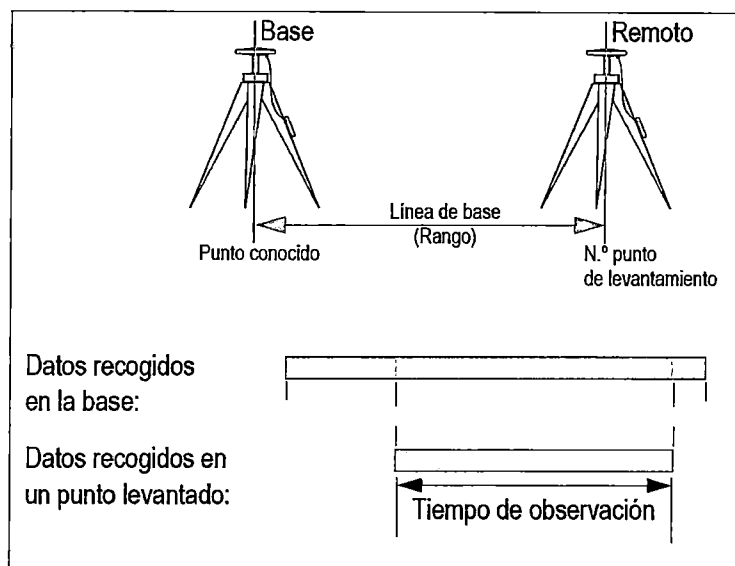


Fig. 4-25 Posicionamiento Estático

Fuente: www.geosistemassrl.com.ar

b.2) Estático Rápido

Usado para establecer redes de control locales, incrementar la densidad de redes existentes, etc. Ofrece alta precisión en líneas base de hasta 20km. y es mucho más rápido que la técnica estática.

El Receptor Base se ubica por lo general sobre un punto conocido y puede ser incluido en los cálculos de los parámetros de transformación. Si no se conoce ningún punto, puede ser ubicado en cualquier lugar de la red.

El Receptor(o los Receptores) Móvil(es), serán colocados entonces en cada punto conocido. El periodo de tiempo que los Móviles deberán observar en cada punto, depende de la longitud de la línea base desde la Referencia y del GDOP.

Los datos son registrados y luego son procesados en gabinete.

Se deben efectuar verificaciones para asegurarse que no se presentan errores gruesos en las mediciones. Esto se puede hacer midiendo los puntos nuevamente en un momento diferente del día.

Este método tiene menor precisión que la brindada por el estático convencional, se realiza con receptores de doble frecuencia, acortándose el tiempo de duración de las sesiones, se recomienda no medir vectores mayores de 10 km.

c) Cinemático

El método cinemático requiere al menos dos receptores que recojan datos simultáneamente. Un receptor se denomina base, y debe permanecer estático durante toda la recogida de datos. Normalmente, el receptor base ocupará un punto de levantamiento cuya posición precisa ya se conoce. Una vez que está operativo, el sistema base simplemente recoge y almacena los datos de los satélites.

Hay dos tipos de levantamiento cinemático:

- Cinemático continuo.
- Stop & Go.

c.1) Cinemático Continuo

Durante la captura de datos de datos cinemática continua, el receptor móvil no tiene que parar de moverse en ningún momento. Un punto se recoge cada vez que el receptor graba un registro de datos.

El intervalo de registro para esta aplicación suele ser de 1 a 5 segundos. El receptor móvil está diseñado para transportarlo fácilmente y se monta completamente en un poste extensible.

Este método tiene la ventaja de su alta productividad. Antes de empezar el levantamiento cinemático, el móvil debe pasar una fase de inicialización.

La inicialización dura entre 15 segundos y 5 minutos, en función de las condiciones.

El receptor móvil, debe mantener la sincronización con al menos 5 satélites comunes con la estación base.

Si el receptor detecta que se reciben menos de 5 satélites, emitirá una alarma indicando que hay que reinicializar el sistema.

En caso de pérdida de la sincronización debida a obstáculos, es posible que la precisión de los resultados procesados se reduzca si no se lleva a cabo una

reinicialización sobre el terreno. Por tanto, después de una pérdida de sincronización, resulta esencial la reinicialización sobre el terreno para mantener la precisión del levantamiento.

Por último, los levantamientos cinemáticos tienen mejores resultados si el receptor base cinemático está cerca del receptor remoto cinemático.

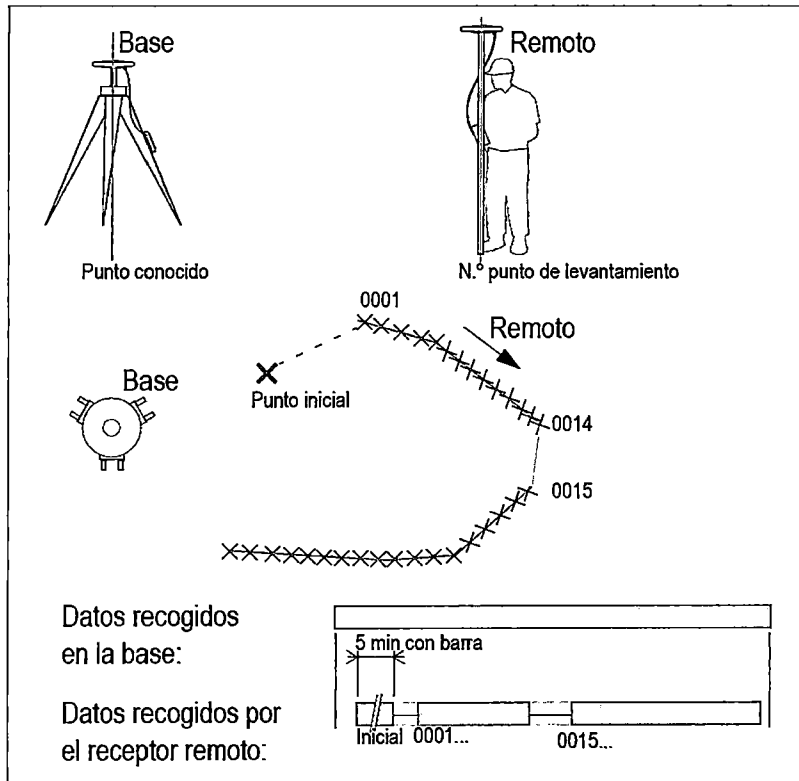


Fig. 4-26 Método Cinemático Continuo

Fuente: www.geosistemassrl.com.ar

c.2) STOP & GO

Durante el proceso Stop & Go, el sistema se centra sobre un punto y recoge datos durante un periodo de tiempo. El tiempo de ocupación de Stop & Go suele variar entre 15 y 60 segundos.

Una vez finalizada la ocupación del punto, el sistema se puede llevar al siguiente punto de levantamiento y el procedimiento se repite.

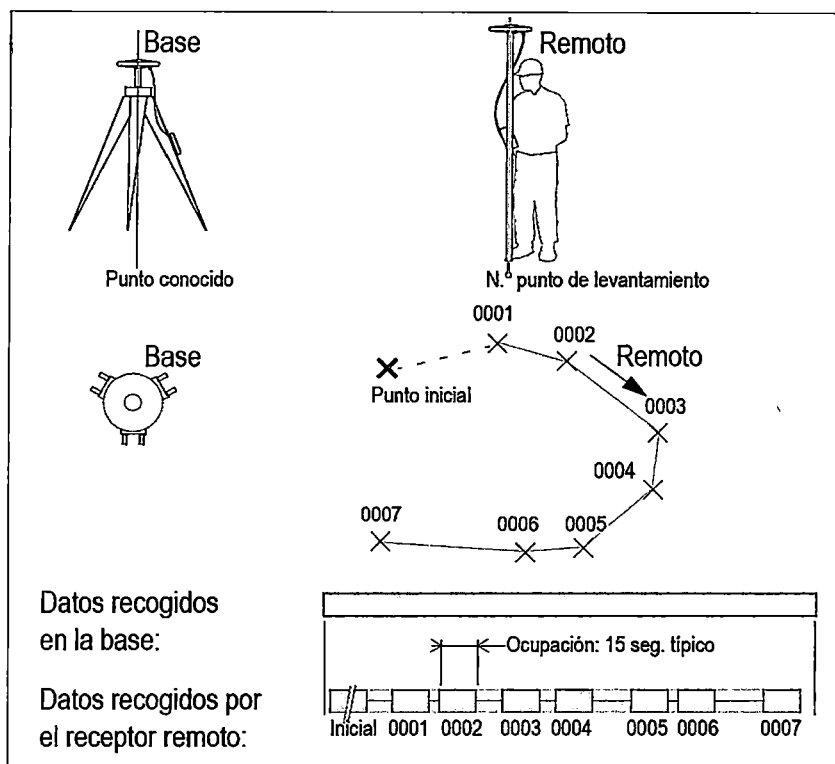


Fig. 4-27 Método STOP & GO

Fuente: www.geosistemassrl.com.ar

c.3) RTK (Real Time Kinematic)

Cinemático en Tiempo Real, es un tipo de levantamiento cinemático al vuelo efectuado en tiempo real.

La Estación de Referencia tiene un radio modem conectado y retransmite los datos que recibe de los satélites, este radio enlace está propenso a recibir interferencias de otras fuentes de radio así como el bloqueo de la línea de vista.

El Móvil también tiene un radio enlace y recibe la señal transmitida de la Referencia. Este receptor también recibe los datos de los satélites directamente desde su propia antena. Estos dos conjuntos de datos pueden ser procesados juntos en el Móvil para resolver las ambigüedades y obtener una posición muy precisa en relación con el Receptor de Referencia.

Una vez que el Receptor de Referencia se ha instalado y está transmitiendo datos mediante el radio enlace, se puede activar el Receptor Móvil.

Cuando está rastreando satélites y recibiendo datos de la Referencia, puede empezar con el proceso de inicio. Esto es similar al proceso de inicio realizado en un levantamiento cinemático OTF con post-proceso, la diferencia principal es que el proceso se realiza en tiempo real.

Una vez que se ha completado el inicio, las ambigüedades son resueltas y el Móvil puede registrar puntos y sus coordenadas. En este punto, las precisiones de las líneas base serán del orden de 1 a 5 cm.

Es importante mantener contacto con el Receptor de Referencia, de otra manera el Móvil puede perder la ambigüedad. Si esto sucede la posición calculada es mucho menos precisa.

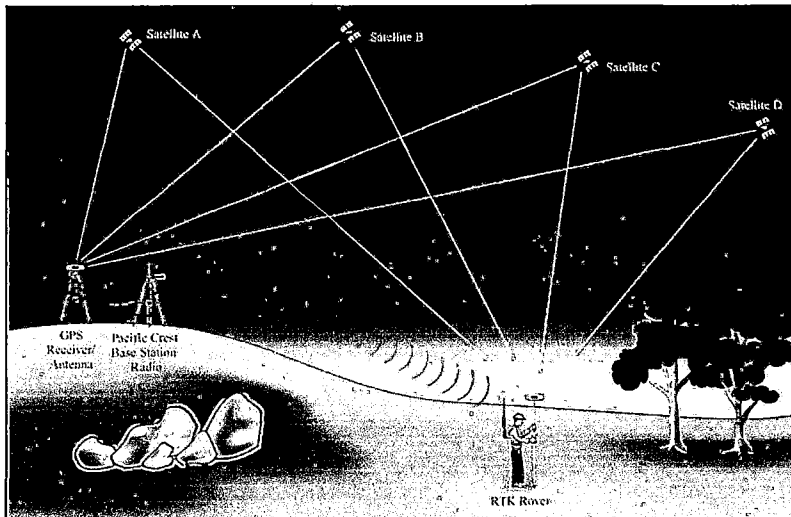


Fig. 4-28 Método RTK

Fuente: www.geosistemassrl.com.ar

El RTK se está convirtiendo en el método más común para realizar levantamientos GPS de alta precisión en áreas pequeñas y puede ser utilizado en aplicaciones donde se utilizan las estaciones totales convencionales. Esto incluye levantamientos de detalles, estacado, replanteo.

Para la obtención de buenos resultados la distancia máxima aconsejada de separación entre la base y el receptor remoto es de 20 km.

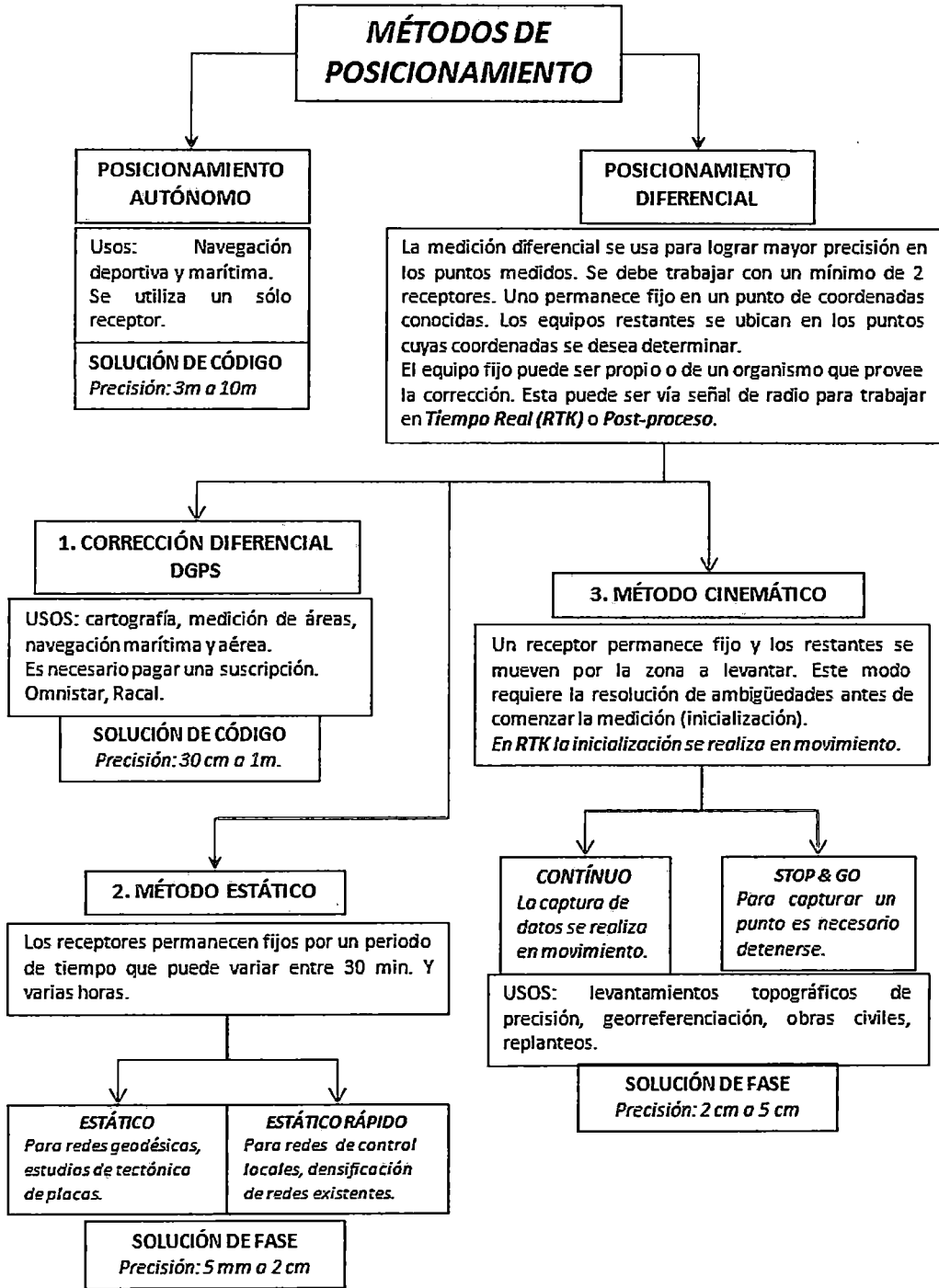


Fig. 4-29 Métodos de Posicionamiento

Fuente: *Elaboración Propia*

4.6 TIPOS DE RECEPTORES GPS

4.6.1 Navegadores Convencionales

Son los receptores más utilizados, debido su bajo costo y multiplicidad de aplicaciones. Consisten en receptores capaces de leer el código C/A, que

pueden tener incluso capacidad para leer señales diferenciales vía radio o conexión software y también capacidad para representar cartografía sencilla en una pantalla de cristal líquido.

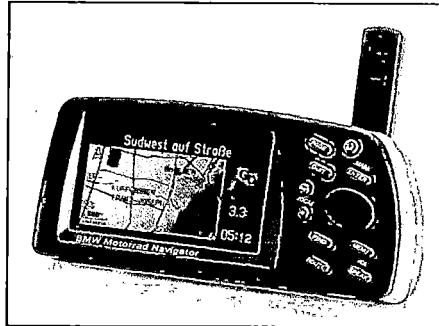


Fig. 4-30 Navegador Garmin

Fuente: www.geosistemassrl.com.ar

Permiten conocer las coordenadas en varios formatos y conversión de baja precisión a datum locales desde WGS84. También permiten la navegación asistida con indicación de rumbos, direcciones y señales audibles de llegada en rutas definidas por el usuario a través de puntos de referencia (waypoints).

Tiene una precisión de 10 m, sin Disponibilidad Selectiva.

4.6.2 Receptores de C/A Avanzados

Son receptores que además de analizar el código C/A disponen de lectura (con ciertas limitaciones) de la fase portadora L1.

Estos receptores permiten el uso de metodologías diferenciales, en ocasiones bajo la forma de suscripciones a servicios vía satélite como OmniStar® o LandStar®, consiguiendo bajo esta metodología precisiones entorno a 1 m. en tiempo real.

Con este tipo de receptores, conectados con ordenadores portátiles y otros dispositivos móviles, es posible tanto capturar como replantear, con una precisión métrica. Ello es posible porque el DGPS vía satélite permite correcciones en tiempo real. Son aptos para aplicaciones GIS.

En cuanto a la corrección diferencial, es muy frecuente que ésta sea proporcionada vía satélite mediante suscripción a un sistema de pago. Este tipo de servicio tiene la enorme ventaja de que se dispone de corrección instantánea sin necesidad de montar ninguna estación de referencia, y para casi para cualquier parte del globo en tiempo real.

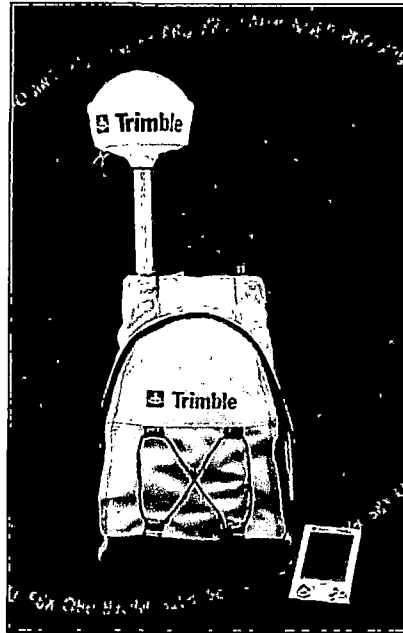


Fig. 4-31 DGPS Pathfinder Pro XR

Fuente: www.prometric.com.mx

4.6.3 Receptores de Frecuencia Simple

Son receptores que trabajan con la onda portadora L1, acumulando información que con postprocesado en gabinete permite obtener precisiones relativas centimétricas en el mejor de los casos para distancias de hasta 25 ó 30 km y submétricas para distancias de hasta 50 km. Permiten el cálculo de vectores con su evaluación estadística, y son aptos para el ajuste de redes locales.

Este tipo de receptores suelen ser usados para métodos estáticos. Muchos de ellos también son compatibles con los servicios DGPS vía satélite, trabajando con lectura de código solamente, mediante la incorporación de una tarjeta de expansión y la suscripción al sistema.

4.6.4 Receptores de Doble Frecuencia

Trabajan con la portadora L1 y L2, lo cual permite disminuir los errores derivados de la propagación desigual de la señal a través de las distintas capas atmosféricas (ionósfera) y resolver un gran número de ambigüedades.

Con este tipo de equipos se pueden llegar a precisiones por debajo del centímetro con postprocesado para distancias de hasta 10 km, y por debajo del metro para distancias de hasta 500 km.

Además, con técnicas de postprocesado en gabinete, los receptores bifrecuencia también se usan con correcciones en tiempo real (RTK), que permiten precisiones centimétricas.

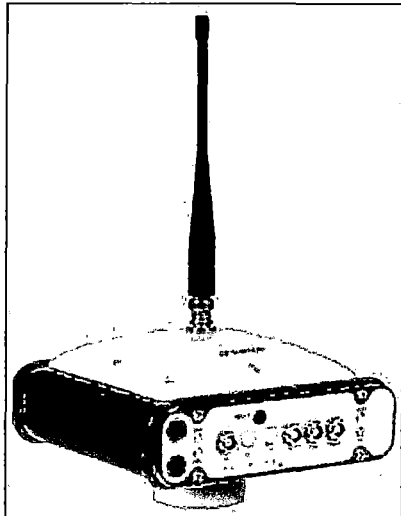


Fig. 4-32 Receptor Topcon Doble Frecuencia, modelo Hiper GD

Fuente: www.topcon.com

Este último tipo de receptores son más apropiados para tareas de geodesia y topografía.

TABLA 4.3
TIPOS DE LOS EQUIPOS GPS

METODO	FRECUENCIA	OBSERVABLE	PRECISION	APLICACIÓN
Autónomo	L ₁	Código C/A	10 m	Navegación
Diferencial DGPS	L ₁	Código C/A	1 – 4 m	SIG
Diferencial	L ₁	Código C/A y Fase	1 cm + 2 ppm	Topografía
Diferencial	L ₁ y L ₂	Código C/A y Fase	5 mm + 1 ppm	Topografía/ Geodesia

Fuente: www.jcyl.es

CAPITULO V

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA

En el presente capítulo se detalla los pasos a seguir de un levantamiento cinemático RTK, el sistema funciona usando un receptor base ubicado en un lugar de coordenadas conocidas. El receptor base recibe las mismas señales que el receptor móvil, pero al conocer su posición exacta puede calcular el error que transmite cada satélite en magnitud y sentido, en ese momento. La diferencia entre la distancia real desde el receptor base y cada satélite se denomina distancia de corrección diferencial. Este error es transmitido desde el receptor base hacia el receptor móvil a través de radio en tiempo real.

Posteriormente, se transforman las alturas elipsoidales a alturas ortométricas usando el modelo geoidal EGM96. Para lo cual se utiliza el software Topcon Tools.

Finalmente, se genera un archivo de puntos con formato norte, este, altura ortométrica, para ser utilizado en la obtención del Modelo Digital de Terreno.

5.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

5.1.1 Posicionamiento Geodésico

Todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico horizontal, debe estar referido al Marco de Referencia Terrestre Internacional 1994 (ITRF94) del

Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) con datos de la época 1995.4, que es el nuevo Sistema Geodésico de Referencia oficial para Perú.

Las Coordenadas Cartesianas ITRF94 Época 1995.4 se deben transformar a coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura elipsoidal) utilizando el elipsoide World Geodetic System 1984 (WGS-84), considerado prácticamente idéntico al elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS 80), y que es definido por los siguientes parámetros:

Semieje Mayor	a	6 378 137 m
Velocidad Angular de la Tierra	w	7 292 115x10 ⁻¹¹ rad/seg
Constante Gravitacional Terrestre	GM	3 986 005x10 ⁸ m ³ /seg ²
Coefficiente armónico zonal de 2º grado del geopotencial	J₂	C _{2,0} = 484.16685x10 ⁻⁶

Constantes geométricas derivadas:

Semieje Menor	b	6 356 752.300 m
Primera Excentricidad Cuadrado	e²	0.006 694 379 990 13
Segunda Excentricidad Cuadrado	e'²	0.006 739 496 775 48
Achatamiento	f	0.003 352 810 664 74
Recíproco del Achatamiento	f⁻¹	298.257 222

Fuente: www.ign.gob.pe

El Dátum o nivel de referencia vertical se determina mediante una serie de observaciones mareográficas que cubran un período no menor de seis meses en forma continua.

El levantamiento geodésico debe formar parte de la Red Geodésica Nacional⁽¹⁾

En nuestro país el IGN; se ha encargado de la red Geodésica SIRGAS, a partir de 1998 ha actualizado toda la red con equipos GPS Geodésicos de doble frecuencia.

En la red geodésica nacional GPS-SIRGAS, existen 4 puntos de orden cero: ubicadas en Arequipa, Lima, Piura e Iquitos. La estación Characato de Arequipa, es una estación permanente.

Cabe resaltar que anteriormente para la clasificación de los levantamientos

geodésicos se establecieron otro tipo de órdenes que fueron los de 1°, 2° y 3° orden, cuyo grado de precisión están por debajo del orden C de esta nueva clasificación. A continuación se detalla los tipos de puntos:

Orden 0: para estudios sobre deformación regional y global de la corteza terrestre y de efectos geodinámicos y en general cualquier trabajo que requiera una precisión de 1:100'000,000.

Orden A: para establecer el sistema geodésico de referencia continental básico, a levantamientos sobre estudios de deformación local de la corteza terrestre, así como cualquier levantamiento que requiera una precisión de 1:10'000,000.

Orden B: para densificación del sistema geodésico de referencia nacional, conectados necesariamente a la red básica; trabajos de ingeniería de alta precisión, así como de geodinámica. Los trabajos que se hagan dentro de esta clasificación deberán integrarse a la red geodésica básica nacional y ajustarse junto con ella, dando como resultado una precisión no menor a 1:1,000,000.

Orden C: Los levantamientos geodésicos horizontales que se hagan dentro de este orden deben destinarse al establecimiento de control suplementario en áreas metropolitanas, al apoyo para el desarrollo de proyectos importantes de ingeniería, con fines de investigación científica, y en general a cualquier trabajo que requiera una precisión no menor a 1:100,000, y debiéndose ligar a la red geodésica básica o a su densificación.⁽²⁾

5.1.2 Control Vertical

El GPS puede ser empleado en la extensión del control vertical sobre aquellas zonas en donde no se cuenta con puntos de nivelación y la precisión requerida esta dentro del orden trigonométrico. El GPS unido a un modelo geoidal, es una herramienta que ayuda a la determinación de puntos de control vertical.

Para los trabajos de Control Vertical se debe considerar los siguientes aspectos:

- ✓ El espaciamiento de puntos de control vertical debe ser como máximo de 0.5 km.
- ✓ Debe evitarse realizar rastreos sobre distancias mayores a 20 km.
- ✓ Se sugiere, como una forma de mejorar los resultados, ejecutar rastreos dobles sobre cada punto de control vertical.

⁽²⁾ IGN. Normas Técnicas de Levantamientos Geodésicos-2005. Pág.31-32.

5.1.3 Plan de Observación

Las operaciones de planeamiento se realizan en gabinete, antes de realizar la toma de datos. Las operaciones de campo eficientes requieren del conocimiento previo de la disponibilidad y configuración de los satélites.

El Plan de observación permite determinar los tiempos óptimos para la toma de datos. El tiempo necesario para ocupar un punto depende de los siguientes factores:

- **Distancia entre puntos de levantamiento**, cuanto mayor sea la distancia entre base y móvil, más largo será el tiempo de observación.
- **Condiciones ambientales**, o la cantidad de obstáculos o arbolado que impiden una visión totalmente despejada del firmamento. Algunos obstáculos pueden bloquear la recepción de la señal satelital, y hacer que sean necesarios tiempos de observación más largos para recoger datos adicionales para un procesado preciso. Si hay demasiados obstáculos, el receptor GPS no podrá recibir suficientes datos para establecer posiciones de levantamiento de calidad.
- **Geometría satelital (PDOP)**, Se refiere a la posición de los satélites que orbitan alrededor de la Tierra. Para obtener un levantamiento preciso es necesario una buena distribución geométrica de los satélites. Para un levantamiento cinemático, deberán estar visibles 5 satélites en todo momento durante la medición.

También es importante contar con un archivo almanaque actualizado. El receptor GPS actualiza continuamente el archivo almanaque interno, así como los datos tomados. Se puede tomar un archivo almanaque tomando datos por lo menos durante 15 minutos, luego descargar el archivo almanaque desde el receptor. Los archivos almanaques cambian constantemente, razón por la que un almanaque dado, llegará a ser obsoleto con el tiempo.

5.1.4 Topografía y Trazado

El levantamiento topográfico puede hacerse usualmente en dos formas alternativas. La más común resulta ser el levantamiento ejecutado en una estrecha franja del territorio, a lo largo de la localización proyectada para el camino y su derecho de vía. La alternativa es hacer levantamientos topográficos sobre un área más amplia que permitirá el estudio en gabinete de variantes en el trazo para optimizar el diseño y minimizar los costos.

Existen dos tipos de trazo:

a) Trazo Directo

Conocida la ruta preliminar en el terreno, la brigada de trazo fija el eje, ubicando los PI's sobre el terreno y midiendo las externas de cada curva. Enseguida realiza el levantamiento topográfico de los PI's, para luego procesar el eje en gabinete y generar los datos de replanteo. Luego se procede al estacado del eje, en cada estaca se realiza la nivelación diferencial y se levanta la sección transversal en un ancho que depende de la naturaleza del proyecto y del terreno. En el gabinete se procede a ingresar los datos de seccionamiento y nivelación en el software AIDC, para luego generar el TIN, curvas de nivel, perfil longitudinal y secciones transversales.

También se debe levantar adicionalmente la referencia de toda edificación, instalación, propiedad, caminos de acceso y accidente natural o artificial, ubicado en la franja levantada. Deberá incluirse también el levantamiento detallado de todos los cursos de agua transversales al camino sean estos permanentes, estacionales y eventuales.

Se fijan entonces en el terreno las referencias topográficas permanentes que permitirán replantear el alineamiento del eje del camino y el estacado del proyecto en los casos en que el estacado desaparezca por cualquier causa; estas referencias o monumentos se construyen en lugares estables no sujetos a cambios.

b) Trazo Indirecto

Se realizan levantamientos topográficos precisos, en una franja amplia del camino; y el trazo del eje se realiza en el gabinete, pudiéndose estudiar con facilidad las alternativas de trazo y variantes.

El replanteo del trazo y su monumentación puede realizarse en cualquier oportunidad posterior, e incluso solo al iniciarse las obras, para lo cual, durante la etapa del levantamiento topográfico se monumentan convenientemente las referencias terrestres.

Para caminos de Bajo Volumen de Transito se considera deseable contar con puntos de Georeferenciación con coordenadas UTM, enlazados a la Red Geodésica Nacional, entre si no mas de 10 km y próximos al camino a una distancia no mayor de 500 m.

TABLA 5.1
TOLERANCIAS PARA TRABAJOS TOPOGRÁFICOS

Fase de trabajo	Tolerancias		Distancias entre Hitos
	Horizontal	Vertical	
Georeferenciación	1:100 000	$e = 5\sqrt{k} *$	40 km
Puntos de Control (Polígonos o triángulos)	1:10 000	$e = 12\sqrt{k} *$	0.5 km
Puntos del eje, (PC), (PT), puntos en curva y referencias	1:5 000	± 10 mm.	--
Otros puntos del eje	± 50 mm.	± 10 mm.	--
Alcantarillas, cunetas y estructuras menores	± 50 mm.	± 20 mm.	--
Muros de contención	± 20 mm.	± 10 mm.	--
Límites para roce y limpieza	± 500 mm.	--	--
Estacas de subrasante	± 50 mm.	± 10 mm.	--
Estacas de rasante	± 50 mm.	± 10 mm.	--
Estacas de Talud	± 50 mm.	± 100 mm.	--

* e = error relativo en milímetros

K = Distancia en kilómetros

Fuente: *Manual CBVT-2005-MTC. Cuadro 6.1.7*

5.2 EQUIPO Y SOFTWARE UTILIZADO

5.2.1 Estación Base

El HiPer GD de Topcon es un receptor de doble frecuencia, y ofrece un sistema cinemático en tiempo real (RTK). Otra característica es la mitigación del efecto multipath y el rastreo Co-Op, garantizan la recepción con condiciones de vegetación densa y con baja fuerza de señal.

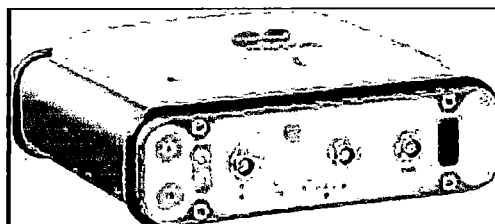


Fig. 5-1 Receptor GPS Topcon Hiper GGD

Fuente: www.topcon.es

5.2.2 Móvil o Rover

Este receptor se puede utilizar para trabajos en RTK y post-proceso, tiene una antena para recibir las señales de radio para realizar las correcciones diferenciales. Este receptor va enroscado al bastón para realizar el levantamiento cinemático.

También tiene la opción de rastreo de constelación dual (GPS y GLONASS), la cual proporciona 40 % más cobertura, esto significa que los retardos causados por una cobertura satelital pobre o causadas por obstrucciones son virtualmente eliminados.

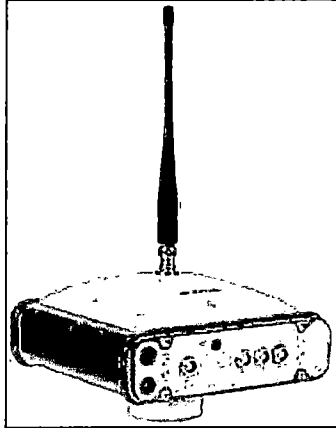


Fig. 5-2 Receptor GPS Topcon Hiper+

Fuente: www.topcon.es

5.2.3 Radio Modem

Utilizado para enviar las correcciones diferenciales en tiempo real, desde la base al móvil. El móvil cuando pierde la señal entra en una rutina de búsqueda hasta que encuentra de nuevo el transmisor de la base y se enlaza en él. El Radio modem tiene la posibilidad de transmisión de 2 watts en BAJA o 35 watts en ALTA potencia.

Cuenta con modulación MSK. Corrección y encriptamiento de mensajes al vuelo.

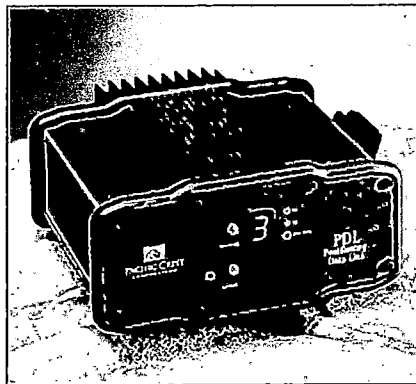


Fig. 5-3 Radio Modem Pacific Crest PDL

Fuente: www.topcon.es

5.2.4 Colectora de Datos

La Colectora de datos utiliza como sistema operativo Windows CE. Cuenta con dos slots para Compact Flash o memoria SD y la transferencia de datos se

realiza por conexión USB o Bluetooth. El software para Colectora de Datos es el TopSURV, se usa para la captura de datos, replanteo, conversiones de datos, etc.

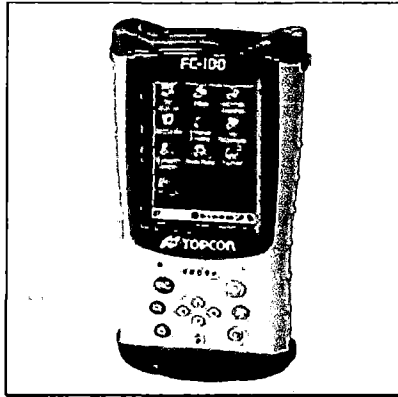


Fig. 5-4 Colectora de Datos Topcon FC-100

Fuente: www.topcon.es

5.2.5 Software

El software estándar del HiPer GD está conformado:

- **PC-CDU:** software controlador que puede correr en una computadora con Windows®.
- **TopSURV:** Software para utilizar la Colectora de Datos FC-100 Topcon.
- **Topcon Tools:** Software para el postprocesamiento de datos.

5.3 TRAZADO

5.3.1 Georeferenciación

Estos puntos están espaciados cada 10 km aproximadamente, ubicados a lo largo de la carretera y están libres de obstrucciones. Representados por hitos monumentados en concreto y una varilla de fierro, indicando claramente con pintura la descripción del punto.

La medición de estos puntos se realizó mediante posicionamiento estático.

5.3.2 Puntos de Control Horizontal y Vertical

Están referidos los puntos de la georeferenciación y existe intervisibilidad entre puntos consecutivos, están espaciados a 0.5 km como máximo.

También están ubicados en lugares cercanos accesibles a la carretera y libres de obstrucciones; y monumentados en concreto y varilla de fierro, indicando claramente con pintura su descripción.

Estos puntos servirán de base para el control horizontal y vertical, y para futuros trabajos de topografía durante el estudio o en la etapa de construcción.

5.3.3 Puntos sobre la Plataforma

El espaciamiento entre puntos de 20 m en tramos en tangente y de 10 m en tramos en curva. Además se ubica sobre alcantarillas, badenes, puentes, pontones, cursos de agua, etc. Los puntos están claramente con pintura su descripción en el borde de la carretera.

5.3.4 Seccionamiento de Puntos

Las secciones transversales del terreno natural están referidas a sobre la plataforma.

Se tomaron puntos de la sección transversal con la suficiente extensión para que puedan detallarse los taludes de corte y relleno. Las secciones además se extienden lo suficiente para evidenciar la presencia de edificaciones, cultivos, canales de riego, etc.

El procedimiento de seccionamiento, se realizó con cinta y eclímetro, a 20m a cada lado del punto.

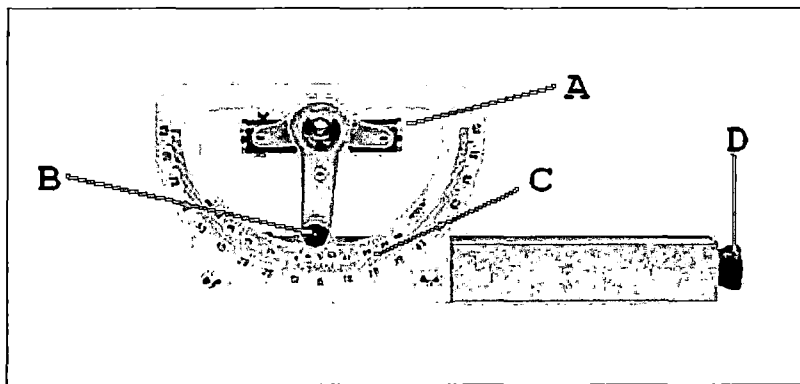


Fig. 5-5 Eclímetro

El Eclímetro, llamado también Nivel Abney, consta de un nivel tórico de doble curvatura [A], sujeto a un nonio [B], el cual puede girar alrededor del centro de un semicírculo graduado [C] fijo al ocular. La imagen de la burbuja del nivel tórico se refleja mediante un prisma sobre el campo visual del ocular [D]. El eclímetro es utilizado para medir pendientes y ángulos verticales.

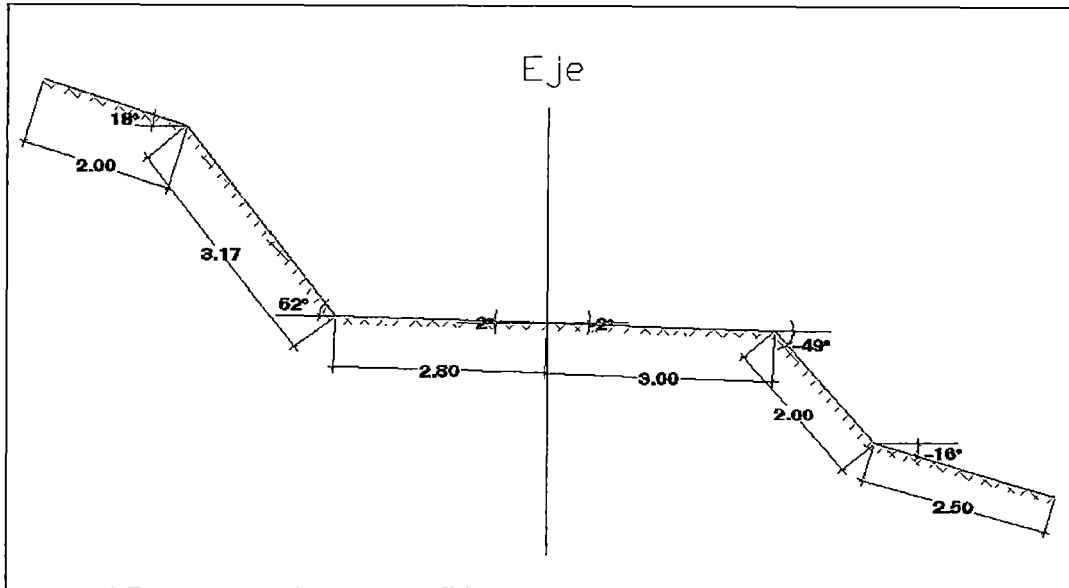


Fig. 5-6 Seccionamiento con cinta y eclímetro

5.4 CONFIGURACION DEL EQUIPO

5.4.1 Configuración de la Estación Base RTK

1. Conecte su receptor y la PC y ejecutar el programa PC-CDU
2. Haga clic *Configuration->Receiver*
3. Haga clic en el botón *Set all parameters to defaults* (Restablecer parámetros por defecto).
4. Seleccione la pestaña *MINTER*. Especifique las configuraciones deseadas.
5. Seleccione la pestaña *Ports* y defina los parámetros de puerto. Use el puerto de serie C para un módem PDL interno.
 - Seleccione el tipo y el formato de las correcciones diferenciales.
 - Ingrese el intervalo en el que el receptor generará correcciones diferenciales.

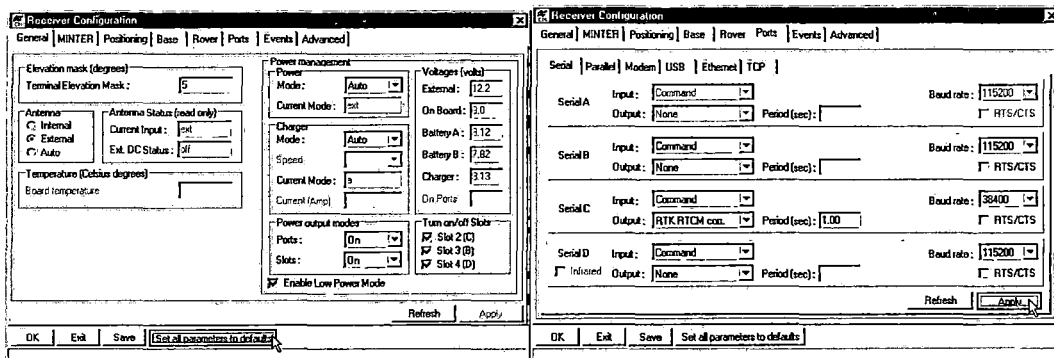


Fig. 5-5 Configuración de la Estación

6. Haga clic en *Apply*. El receptor empezará a enviar datos al puerto seleccionado.

5.4.2 Configuración del Radio Módem UHF

Para acceder a su radio módem PDL UHF, se debe crear una conexión entre el puerto serial del HiPer GD (A o D) y el radio módem (Puerto C) usando PC-CDU. Después activar el programa de configuración PDL en su PC y configurar el radio. Es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Conectar el receptor y la PC.
2. En el cuadro de diálogo *Connection Parameters*, seleccione una velocidad de transferencia en baudios de 38400 y desactive el parámetro RTS/CTS.
3. Una vez conectado, haga clic en el Modo *File->Manual* para crear una conexión entre el puerto del receptor (A o D) y el módem PDL del HiPer GD.

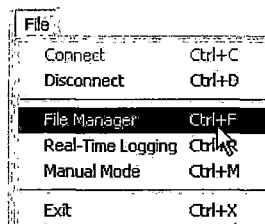


Fig. 5-7 Configuración de Radio Modem

4. Haga clic en *Disconnect*

5.4.3 Configuración del Móvil RTK

1. Conecte su receptor a la PC.
2. Haga clic en *Configuration->Receiver*
3. Seleccione el rótulo *Rover* y defina el Modo de Posicionamiento deseado.
4. Seleccione la pestaña *Ports* y defina los parámetros para la *Serie C*.

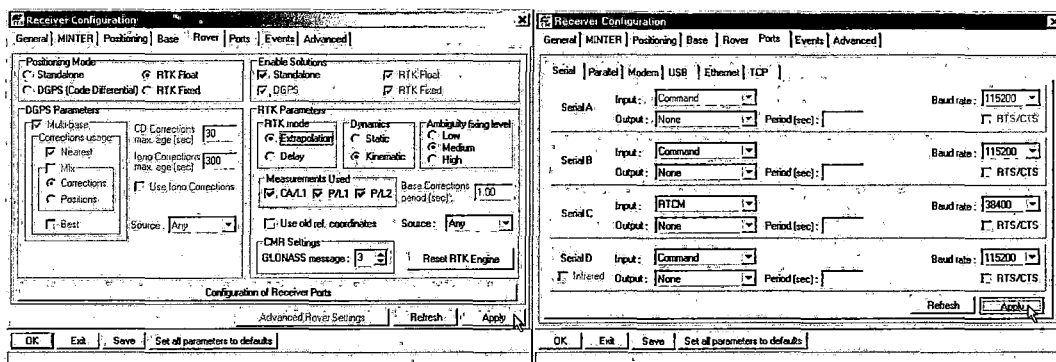


Fig. 5.8 Configuración del Móvil

5. Haga clic en *Apply*.
6. Haga clic en *OK* para cerrar la pantalla de Configuración del Receptor.

5.5 PROCEDIMIENTO DE CAMPO

5.5.1 Instalación de la Estación Base RTK

La Estación Base se ubicó en el punto geodésico de Orden C, ubicado en la plaza de armas del poblado de Andahuasi, cuyas coordenadas están referidas al Datum Geodésico Mundial WGS 84. (Ver ítem 1.4.2)

Para la instalación de la Estación Base se realiza los siguientes pasos:

1. Ubicar el trípode sobre el punto geodésico.
2. Montar el receptor sobre el trípode.
3. Montar el radio modem sobre el trípode y conectar a la antena con el cable.
4. Medir la altura del instrumento.
5. Instale la antena del receptor de la estación Base.
6. Conecte el módem externo al Puerto D para el receptor HiPer GD.
7. Presione la tecla de encendido en el receptor.
8. Verifique la luz de ESTADO de los satélites rastreados.
9. Presione el botón de encendido en el módem externo.
10. Seleccione una potencia de transmisión de radio con la barra de desplazamiento Low/High (Bajo/Alto) en el panel posterior del módem. Utilice el botón Channel para definir el canal de frecuencia. Verifique que el módem transmita las correcciones (el LED TX parpadeará rojo cada vez que se transmitan datos).
11. Encender y conectar la Colectora de datos al receptor.
12. Crear Trabajo: click en el Menú: **Job** ↩ **New** ↩, en el software TopSURV de la colectora.

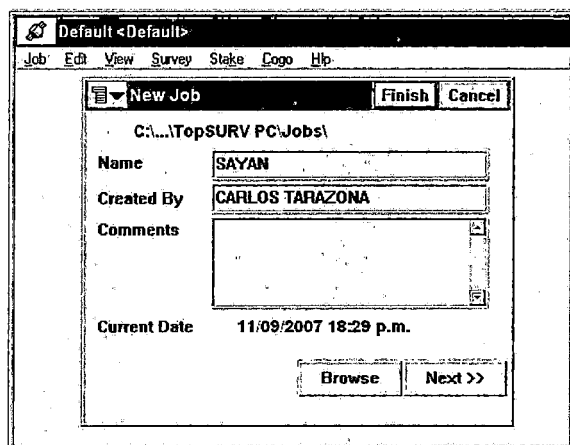


Fig. 5.9 Crear Trabajo

13. Seleccionar Método de Posicionamiento

Click en el Menú: **Job** ↘ **Config** ↘ **Survey** ↘

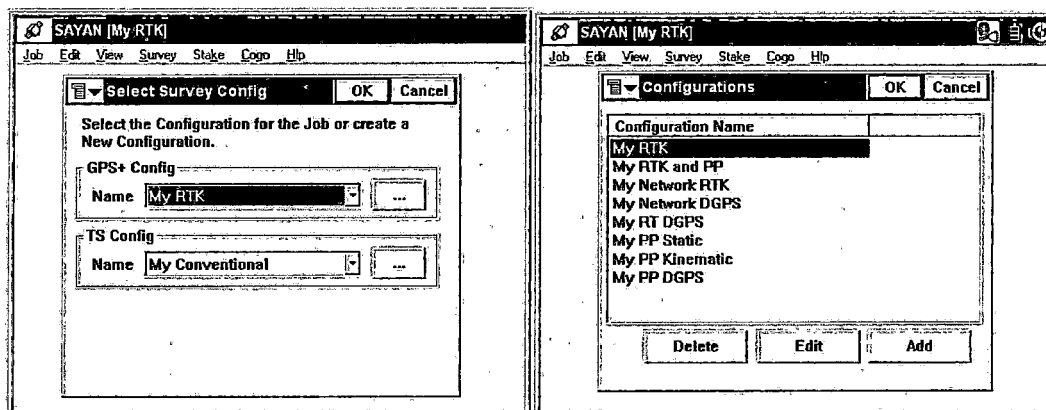


Fig. 5-10 Método de Posicionamiento

14. Seleccionar Sistema de Coordenadas

Click en el Menú: **Job** ↘ **Config** ↘ **Coord Sys** ↘

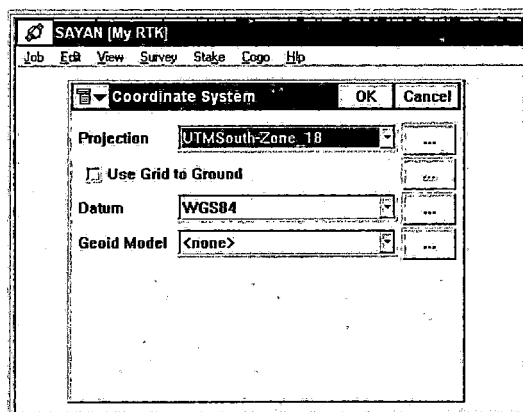



Fig. 5-11 Sistema de Coordenadas

- *Projection*: especifica la proyección cartográfica a utilizar, UTM Zona18S
- *Datum*: muestra el datum geocéntrico WGS -84
- *Geoid Model*: muestra el modelo geoidal seleccionado. El icono  abre la pantalla Lista de Modelos Geoidales, para diferentes países.

15. Seleccionar Unidades

Click en el Menú: **Job**  **Config**  **Units** 

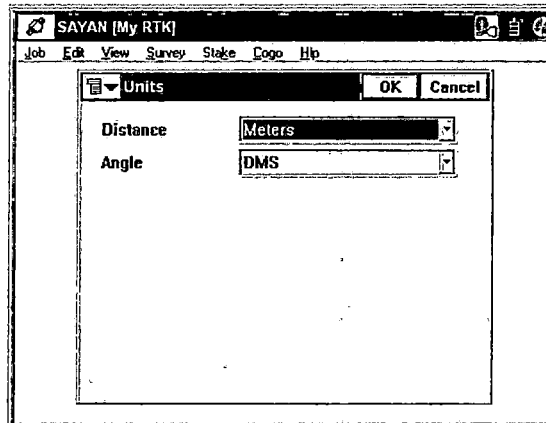


Fig. 5-12 Tipo de Unidades

- *Distance*: unidades de medida lineal en el trabajo (*metros, pies*).
- *Angle*: unidades de medida angular utilizadas en el trabajo. Puede ser en *Grados Sexagesimales (DMS)*, *Centesimales (Gons)*, *Radianes (solo para Cogo)*.

16. Personalizar el Pantalla de coordenadas:

Click en el Menú: **Job**  **Config**  **Display** 

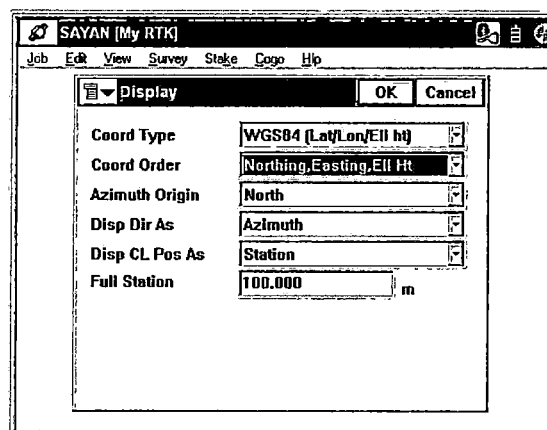


Fig. 5-13 Pantalla de Coordenadas

- *Coord Type*: tipo de coordenadas mostradas.

- *Coord Order*: orden X / Y y tipo de altura de las coordenadas locales.
- *Azimuth Origin*: dirección de referencia del acimut.
- *Disp Dir As*: selecciona modo de mostrar la dirección, lectura o acimut.
- *Disp CL Pos As*: selecciona como mostrar la posición en la línea central

18. Configurar Alarma

Click en el Menú: **Job** ↪ **Config** ↪ **Alarm** ↪

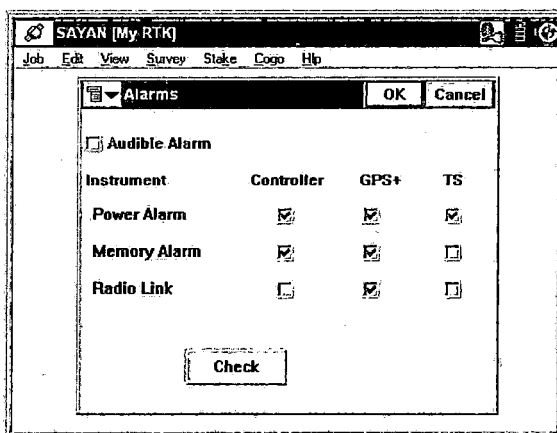


Fig. 5-14 Configuración de Alarma

La pantalla **Alarms** configura las alertas de sonido para situaciones de poca batería, poca memoria, radio enlace pobre, pérdida de inicialización por parte del controlador, receptor GPS+ (columna GPS+).

17. Seleccionar Mascara de Elevación

Click en el Menú: **Survey** ↪ **Status** ↪ **Settings** ↪

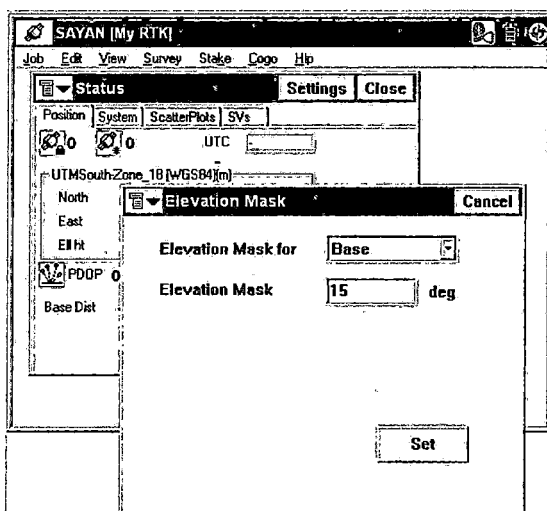


Fig. 5-15 Selección Máscara de Elevación

Se sigue el mismo procedimiento para configurar el rover.

18. Ingresar Coordenadas de la Base

Click en el Menú: **Survey** ↩ **Start Base** ↩

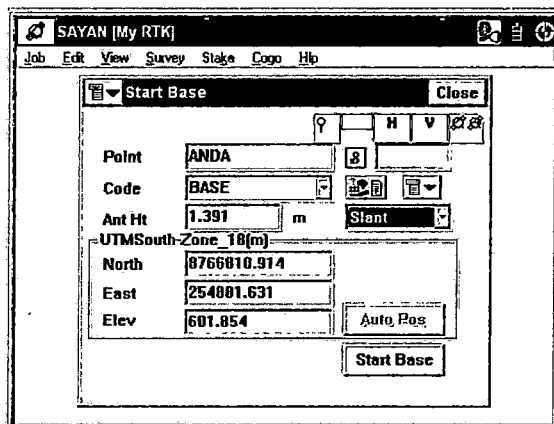


Fig. 5-16 Ingreso de Coordenadas de la Base

Aquí se ingresa las coordenadas de la Estación Base de Orden C, ubicada en el poblado de Andahuasi



Foto 5-1 Instalación del receptor Base

5.5.2 Instalación de Móvil RTK

1. Montar el receptor Móvil sobre el bastón.



Foto 5-2 Instalación del receptor Móvil

2. Encender el receptor Móvil, y dar la orden de comienzo de grabación de datos. Esperar que el receptor haya capturado suficiente información como para haber resuelto las ambigüedades.
3. Configurar Antena del receptor Móvil

click en el Menú: **Survey** ↘ **Status** ↘  ↘

Rover Antenna Setup ↘

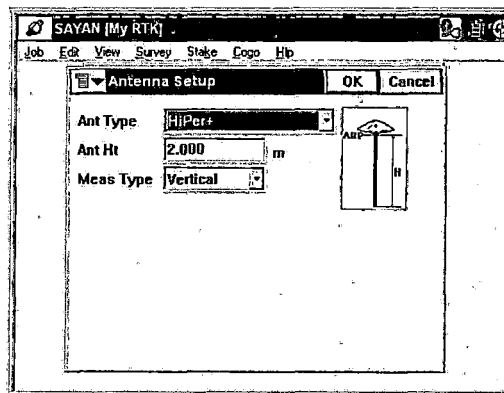


Fig. 5-18 Ingreso de Datos del receptor Móvil

4. Configurar Parámetros de Registro y Tiempo de Ocupación
click en el Menú: **Survey** ↘ **Topo** ↘ **Settings** ↘

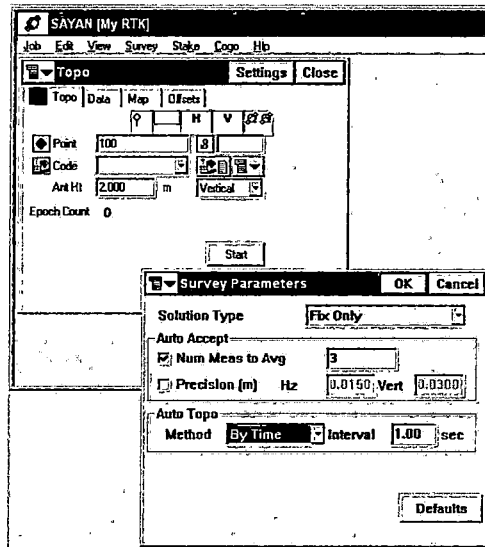


Fig. 5-19 Configuración de Parámetros de Ocupación

5.5.3 Captura de Datos

1. Comenzar a circular por el terreno (los puntos de control horizontal y vertical, y puntos sobre la plataforma, previamente señalados)



Foto 5-3 Captura de Datos

2. Registro de Datos de Campo
Click en el Menú: **Survey** ↩ **Topo** ↩

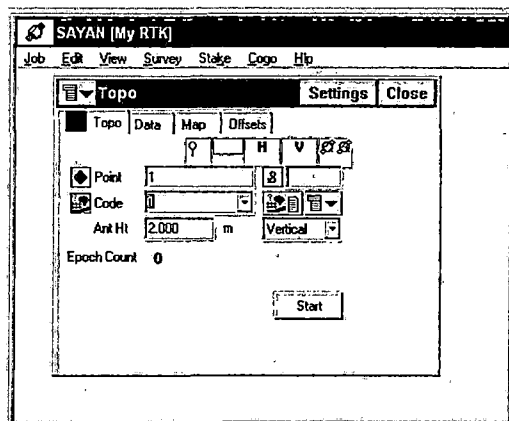


Fig. 5-20 Registro de Datos de Campo

Aquí se ingresa el # de punto y código o descripción, luego presionar **Start**, para registrar el punto, una vez registrado la colectora de datos emite un pitido, indicando la finalización del registro.

Este procedimiento es repetitivo, la numeración del punto cambiará automáticamente, solo es necesario cambiar el código o descripción.

3. Una vez finalizado todo el recorrido o barrida del terreno se apagan el receptor.
4. Exportar Job como Archivo txt

Click en el Menú: **Job** → **Export** → **to File** →

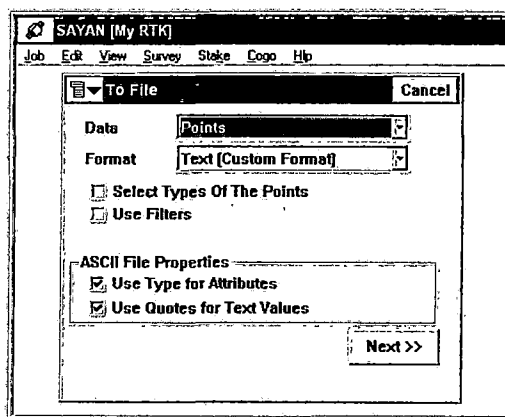


Fig. 5-21 Exportación de Datos

Luego dar la ruta donde se guarda el archivo **txt**.

5.6 PROCESAMIENTO DE DATOS

5.6.1 Transferencia de Datos a la PC

Los datos del levantamiento RTK se guardan en el archivo de nombre:

sayan.tlsv, el cual se descarga con el programa TopSURV.

Para descargar los datos insertar el cable de conexión al puerto USB de la PC y a la colectora, y proceder a copiar en una ubicación en la PC.

5.6.2 Análisis de Datos y Resultados Finales

Los datos deben pasar por un proceso de depuración, eliminando los puntos que no han recibido la corrección diferencial. El software utilizado para el postproceso es el Topcon Tools, donde se pueden realizar conversión y transformación de coordenadas.

Características principales del software de Postproceso:

- Procesamiento de datos GPS+ de Topcon.
- Procesamiento de datos RINEX.
- Interfaz gráfica de mapas.
- Vista tabular de los datos.
- Ajuste de red por mínimos cuadrados de los datos de GPS+.
- Transformación de alturas elipsoidales a ortométricas, mediante el modelo Geoidal Global EGM96.
- Exportación a formatos csv, txt.

a) Vista de Datos

Proporciona un interface para editar y procesar los datos.

- Use la vista tabular para ver información sobre los puntos, ver información sobre los vectores de ocupación, ver los datos con los mismos nombres, clasificar líneas en orden alfabético por tiempo o por incremento o disminución de valores.
- Use la vista del mapa para desplegar la configuración de la red, estimar la posición mutua para puntos y vectores y encontrar el vector o punto necesario.
- Use la vista de ocupación para desplegar las ocupaciones.

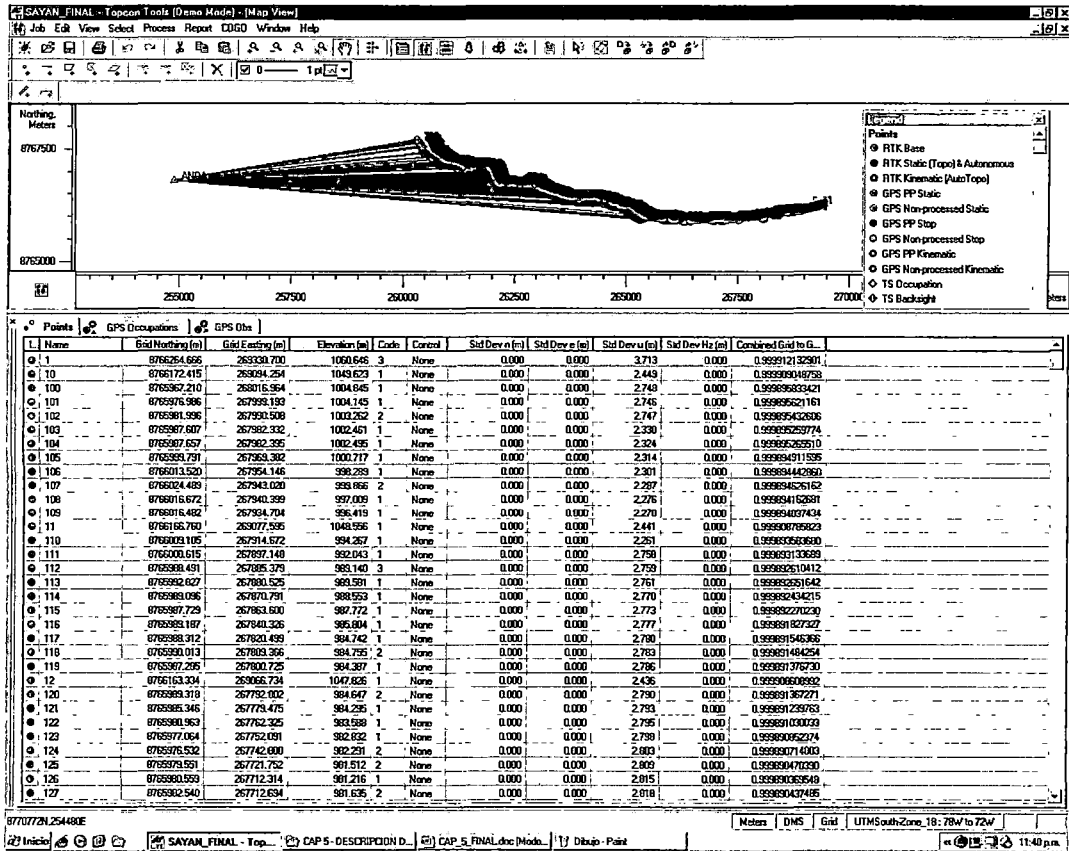


Fig. 5-22 Vista Tabular

b) Vista del Mapa

Click menú View – Map View

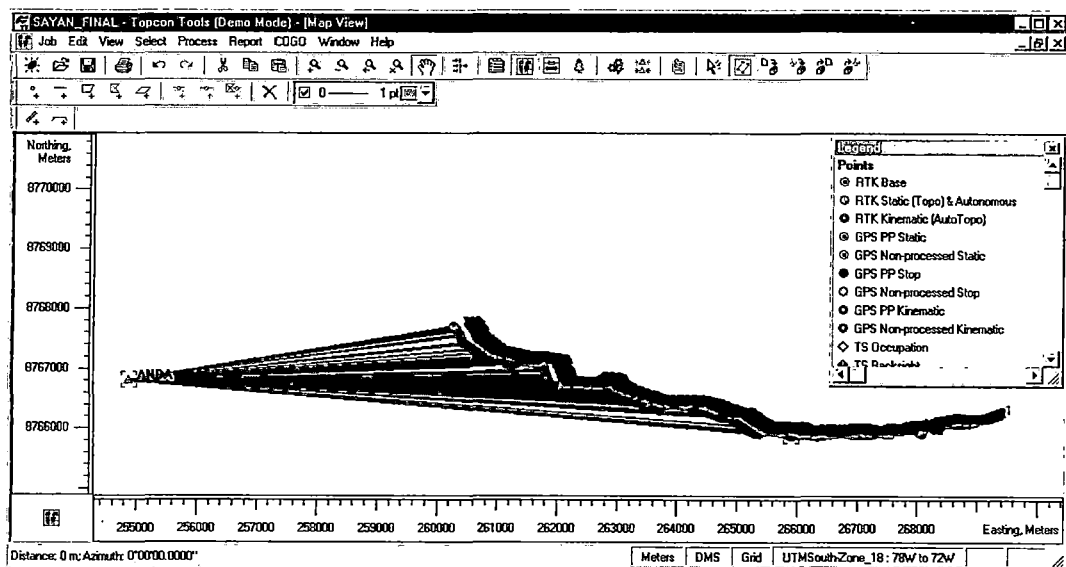


Fig. 5-23 Vista del Mapa

c) Ver propiedades de los puntos y vectores

Click derecho y click en *properties* en el punto o vector en la vista del mapa.

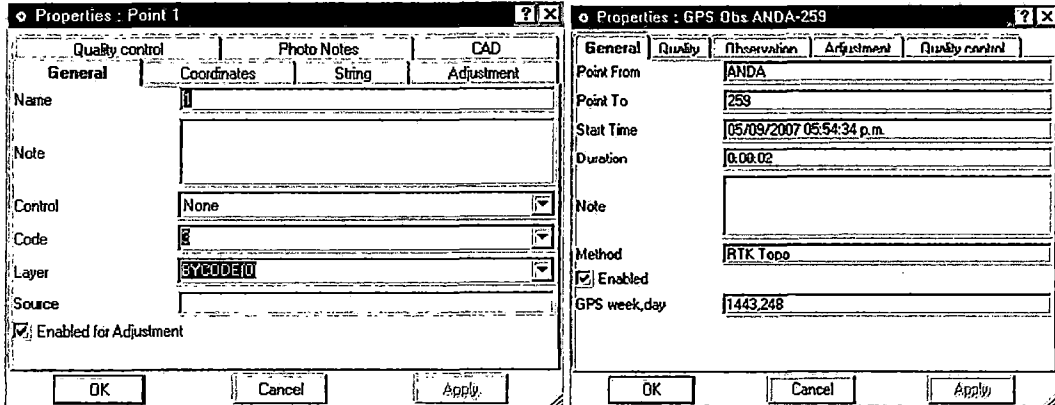


Fig. 5-24 Propiedades de los puntos y vectores

d) Ajustando la red

Para ajustar la red, elija el botón de *Adjust Network* en la barra de herramientas.

La leyenda de los puntos desplegados en la vista tabular; los vectores auto rechazados son marcados con rojo los cuales deben ser eliminados debido a que son datos con un nivel de confiabilidad bajo.

L.	Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code	Control	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m)	Std Dev Hz (m)
474		8766502.239	263126.460	841.230	1	None	0.007	0.012	0.022	0.014
475		8766503.369	263121.603	840.951	1	None	0.010	0.020	0.031	0.022
476		8766504.877	263115.022	816.337	1	None	0.000	0.000	2.517	0.000
477		8766508.199	263097.102	841.772	1	None	0.085	0.131	0.780	0.157
478		8766513.413	263077.330	839.527	1	None	0.006	0.011	0.019	0.013
478		8766518.668	263057.933	838.436	1	None	0.006	0.012	0.020	0.014
48		8766583.457	268528.306	1020.155	2	None	0.000	0.000	2.253	0.000
480		8766520.165	263054.165	838.204	1	None	0.009	0.015	0.025	0.017
481		8766522.521	263048.644	837.888	1	None	0.006	0.011	0.019	0.013
482		8766527.615	263039.636	837.298	1	None	0.006	0.011	0.019	0.013
483		8766538.026	263022.368	836.022	1	None	0.006	0.011	0.019	0.013
484		8766539.491	263019.588	835.854	1	None	0.006	0.013	0.019	0.014
485		8766544.742	263003.737	834.714	1	None	0.006	0.011	0.019	0.013
486		8766550.389	262986.786	833.704	1	None	0.006	0.011	0.018	0.013
487		8766551.650	262984.103	833.603	1	None	0.006	0.011	0.018	0.013
488		8766560.786	262965.857	832.733	1	None	0.007	0.011	0.020	0.013
488		8766563.490	262957.534	832.468	1	None	0.006	0.011	0.018	0.013
49		8766595.477	268511.953	1019.147	1	None	0.000	0.000	2.429	0.000
490		8766585.568	262947.653	832.233	1	None	0.008	0.015	0.024	0.017
491		8766588.870	262928.033	832.051	1	None	0.030	0.029	0.152	0.041
492		8766570.732	262918.181	831.882	1	None	0.019	0.031	0.145	0.036

Fig. 5-25 Ajuste de la Red

- Vectores auto rechazados son detectados usando un nivel de confiabilidad. Un vector con el más grande error es rechazado y repite ajustes libres hasta que todos los vectores con errores no rechazados. Los vectores rechazados no son usados en el ajuste final.

- Posteriormente desviaciones estándar de unidad de peso son calculadas separadamente para coordenadas planas y alturas. Desviaciones estándar de los puntos ajustados de la red son mostrados en la vista tabular.
- Residuales de los vectores del ajuste de red son mostrados en la tabla de Observaciones GPS en la vista tabular. Para escoger el nivel de confianza para el ajuste elija *Process – Process Properties* y seleccione el nuevo valor del nivel de confianza. Elija *OK* para ajustar la red.

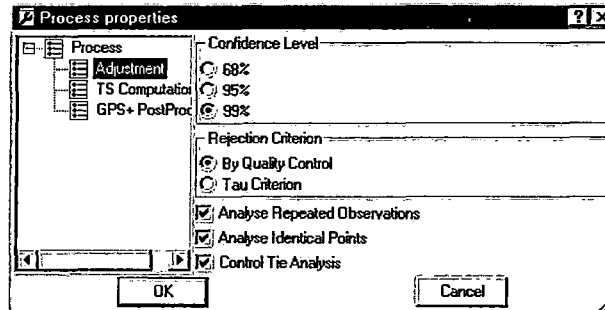


Fig. 5-26 Ajuste del Nivel de Confiabilidad

e) Exportando archivos

1. Elija el botón *Export to file* en la barra de herramientas.
2. Ingrese un nombre al archivo y seleccione el nombre del formato (nombre, N, E, Z, Code)
3. Elija *Save*. Si exporta coordenadas de terreno seleccione la opción "Ground" y entonces exporta a un archivo que almacena coordenadas N, E, Z.

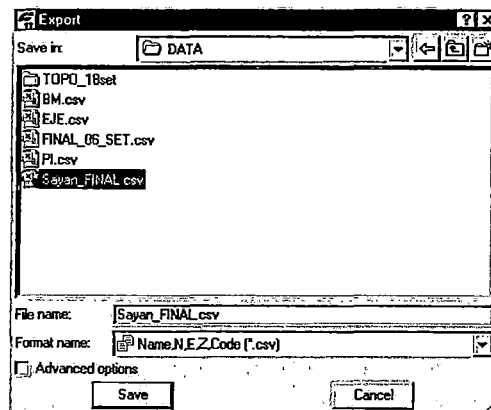


Fig. 5-27 Exportación de archivos

El archivo **Sayan_FINAL**, será utilizado para la obtención del Modelo Digital de Terreno.

CAPITULO VI

DISEÑO GEOMÉTRICO

El diseño geométrico de una vía, debe cumplir condiciones como: operación, seguridad, confort, arquitectura y economía. Además se requiere evaluar la demanda del camino, la velocidad de diseño, la sección transversal y el tipo de superficie de rodadura.

En este tema de investigación se construye un Modelo Digital del Terreno con GPS, y posteriormente generar secciones transversales y perfiles longitudinales, curvas de nivel, volumen de explanaciones y diagrama curva masa.

En la actualidad en el diseño geométrico de carreteras se cuenta con software especializado, que permite realizar en corto tiempo el procesamiento con alta precisión en los cálculos de elementos y metrados de explanaciones. Entre los cuales se ha utilizado el AIDC, Autodesk Land.

Finalmente, se ha realizado un Análisis Comparativo entre Perfiles Longitudinales, Volúmenes de Explanaciones y Análisis de Costos, entre la metodología propuesta y convencional.

6.1 CONTEO DE TRÁFICO

La carretera Sayán - Acotama transitada por vehículos tanto privado como de servicio público de pasajeros, situación que se da por la existencia de centros poblados cercanos aledaños a esta vía. Las características básicas de los conteos vehiculares fueron los siguientes:

- Los conteos fueron realizados durante 7 días, con la finalidad de ver el comportamiento del tránsito durante los días de la semana.
- Los conteos se realizaron durante 24 horas, con el objetivo de identificar lo más claramente posible, el comportamiento del flujo vehicular durante el día y la noche.
- Las horas de conteo fueron desde las 06:00 am – 06:00 am del día siguiente, dos turnos de día y de noche de 12 horas respectivamente.
- Los conteos vehiculares fueron cerrados cada hora, con el objetivo de evaluar posibles intensidades de flujo extraordinarios.
- La clasificación vehicular utilizada fue la siguiente:

TABLA 6.1
TRAFICO VEHICULAR (Veh./día)

TIPO DE VEHICULOS	IMD	%
Autos	38	37.78
Camioneta	25	25.00
C. Rural	12	11.51
Micro	7	7.10
Omnibus 2E	2	1.85
Omnibus 3E	0	0.43
Camión 2E	15	15.34
Camión 3E	1	0.99
TOTAL IMD =	101	100.0

Fuente: *Estudio de Tráfico PVD-MTC(2006)*

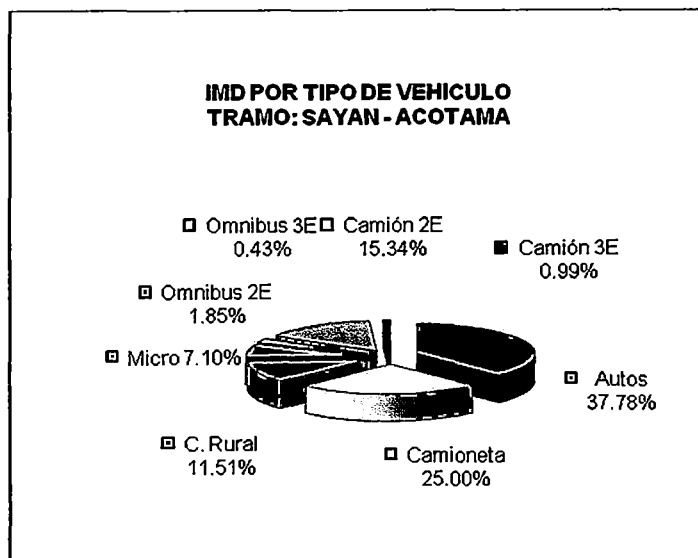


Fig. 6.1 IMD por tipo de vehículo

Fuente: *Estudio de Tráfico PVD-MTC(2006)*

El camino se diseña para un volumen de tránsito que se determina como demanda diaria promedio a servir, al final del periodo de diseño, calculado como el número de vehículos promedio que utilizan la vía por día actualmente y que incrementa con una tasa de crecimiento anual.

El IMD proyectado se calcula utilizando la fórmula:

$$T_n = T_o (1+i)^{n-1}$$

Donde:

- T_n** : Tránsito proyectado al año "n" en veh/día
- T_o** : Tránsito actual (año base 0) en veh/día
- n** : Años del período de diseño
- i** : Tasa anual de crecimiento del tránsito. Definida en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico, normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

Para la presente investigación, se usará una tasa anual de crecimiento de tránsito, igual 6% y el periodo de diseño de 5 años.

$$IMD = 101 * (1+0.06)^{5-1} = 128 \text{ veh./día}$$

6.2 PARAMETROS Y ELEMENTOS BASICOS DEL DISEÑO

6.2.1 Clasificación de la Red Vial

- Según su Función, la carretera pertenece a la **Red Vial Vecinal**.
- Según la Demanda, como el $IMD = 128 \text{ veh/día}$, la carretera es de **Bajo Volumen de Tránsito**. ($IMD < 400$).
- Según las condiciones Orográficas, la carretera en la mayor parte del tramo presenta una topografía ondulada, corresponde al **Tipo 3**.

6.2.2 Velocidad de Diseño

La Velocidad directriz o de diseño es de **30 km/h** (Tabla 2.4)

6.2.3 Sección Transversal

a) Calzada

En ancho de calzada esta en función de la velocidad directriz (30 km/h) y el $IMD = 128 \text{ veh/día}$. De la Tabla 2.8 se tomará un ancho de 5.50 m

b) Bermas

No se considera.

c) Bombeos

El bombeo utilizado para el diseño será de 2.5 %.

d) Peralte

El peralte máximo tendrá como valor máximo normal 8% y como valor excepcional 10% (Tabla 2.10).

La fricción transversal máxima para una velocidad de 30 km/h es $f=0.17$.

e) Longitud de Transición de Peralte.

Las transiciones se introducen dentro de la curva circular hasta en un 50%, siempre que por lo menos la tercera parte de la longitud de la curva quede con peralte completo ($L_c/3$).

f) Sobreancho

El valor mínimo de sobreancho es de 0.30 m No se requerirá sobreancho cuando el radio sea mayor a 500 m. La formula utilizada para el cálculo del peralte:

$$Sa = e \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + V / 10 \sqrt{R}$$

g) Taludes

Los taludes de corte que se emplean se encuentran en el Informe de Geológico-Geotécnico, si no se dispone de este informe se pueden utilizar los taludes mostrados en la Tabla 2.16.

Igualmente los taludes de relleno se encuentran en el Informe de Geológico-Geotécnico, sino utilizar la Tabla 2.17 (1:1.5, V:H)

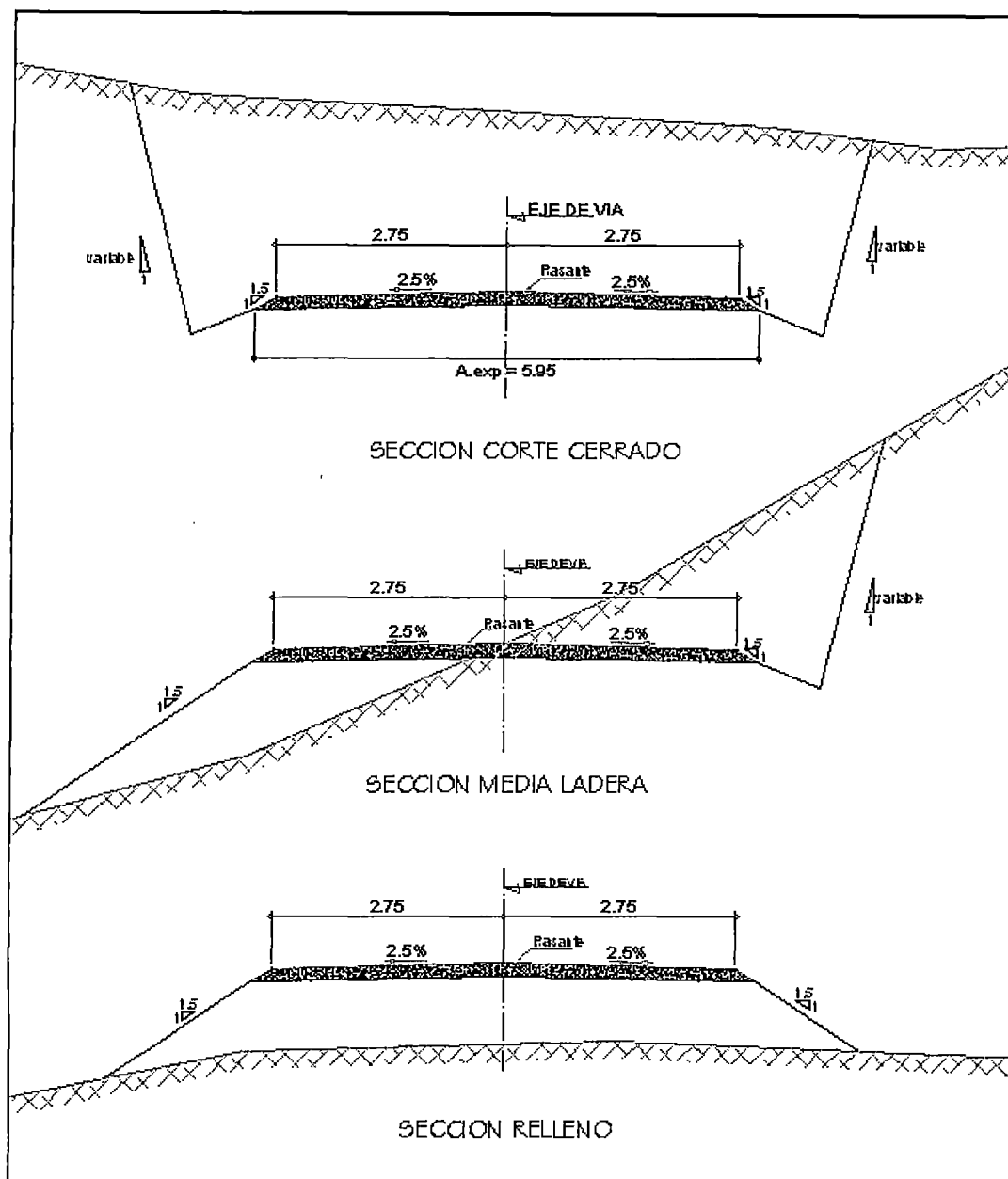


Fig. 6.2 Sección Típica

Fuente: *Elaboración Propia*

h) Cunetas

Las dimensiones de cuneta para el presente informe es la mostrada (Tabla 2.18)

Región	Profundidad (m)	Ancho (m)
Lluviosa	0.30	0.75

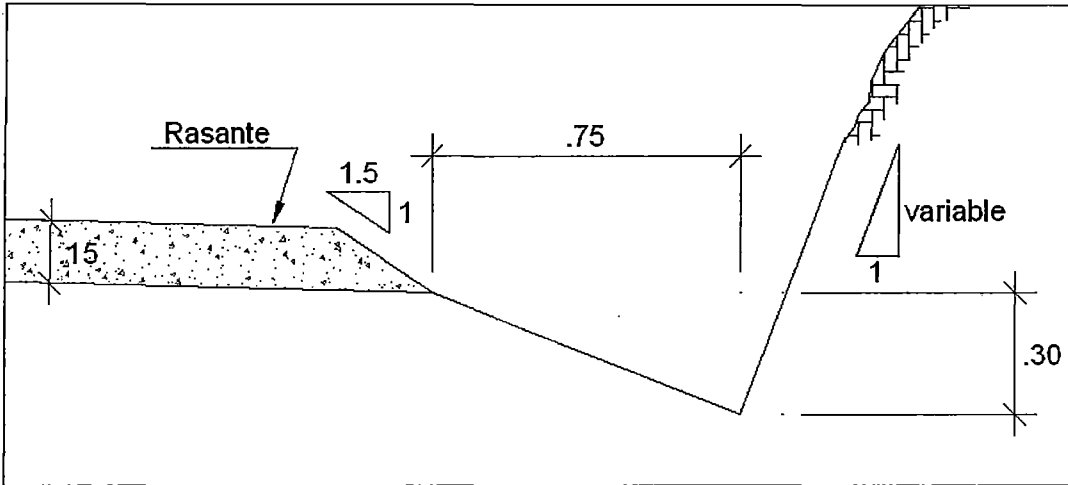


Fig. 6.3 Detalle de Cuneta de Tierra

Fuente: *Elaboración Propia*

6.2.4 Diseño Geométrico en Planta y Perfil

a) Alineamiento Horizontal

En la *Tabla 2.20*, se muestran los ángulos de inflexión máximos para los cuales no es requerida la curva horizontal:

Velocidad Directriz Km/h	Deflexión Máxima aceptable sin curva circular
30	2° 30'

a.1) Radios Mínimos

Los radios mínimos que se usan en las diferentes carreteras esta en función de la velocidad directriz y del peralte de acuerdo a la *Tabla 2.12*, $R_{\min} = 30$ m.

Excepcionalmente se han adoptado radios menores al mínimo, para no afectar un canal de riego. En el presente trabajo se utilizó excepcionalmente $R = 23$ m (PI-37)

a.2) Curvas Compuestas

El radio de una de las curvas no será mayor de 1.5 veces el radio de la otra.

b) Perfil Longitudinal

b.1) Curvas Verticales

Los tramos consecutivos de rasante, son enlazados con curvas verticales parabólicas cuando la diferencia algebraica es mayor a 2%.

Como consideración estética la longitud de curva vertical debe ser mayor o igual a la velocidad directriz ($L \geq V$).

Por razones de reducir cortes, la rasante debe adaptarse al perfil del terreno.

Para el presente informe se tomará $L = 30$ m.

c) Pendiente

La pendiente mínima será de 0,5%, para facilitar el drenaje.

La pendiente máxima será de 9%, excepcionalmente se usará 12%, el tramo con esta pendiente no debe exceder a 180 m.

En resumen para el presente trabajo de investigación se asumen las características de diseño:

Red Vial	Vecinal
Clasificación Vial	Bajo Volumen de Transito
Velocidad Directriz	30 Km/h
Longitud del Tramo	6.00 km
Ancho de Calzada	5.50 m
Bermas	0.00 m
Bombeo	2.5 %
Peralte Max.	8.0 %
Cunetas	Triangular 0.30 x 0.75m (sin revestir)
Talud en Corte	De acuerdo al Estudio Geológico.
Talud en Relleno	1:1.5
Radio Mínimo	30 m
Longitud Curva Vertical Min.	30.00 m
Pendiente Máxima	9 %
Pendiente Mínima	0.50 %
Espesor de afirmado	0.15 m
Ancho de Explanación	5.95 m

6.3 DISEÑO GEOMÉTRICO

6.3.1 Construcción del MDT

a) Importación de Puntos

Los puntos obtenidos en el capítulo anterior se importan en el Autocad Land, estos puntos son aquellos que han sido levantados sobre la plataforma de la carretera, a su vez han sido seccionados.

b) Trazo del eje

Se procede a unir los puntos consecutivos con una polilínea, esta, desde al inicio hasta el final (fig 6.3), esta polilínea representa la poligonal de trazo

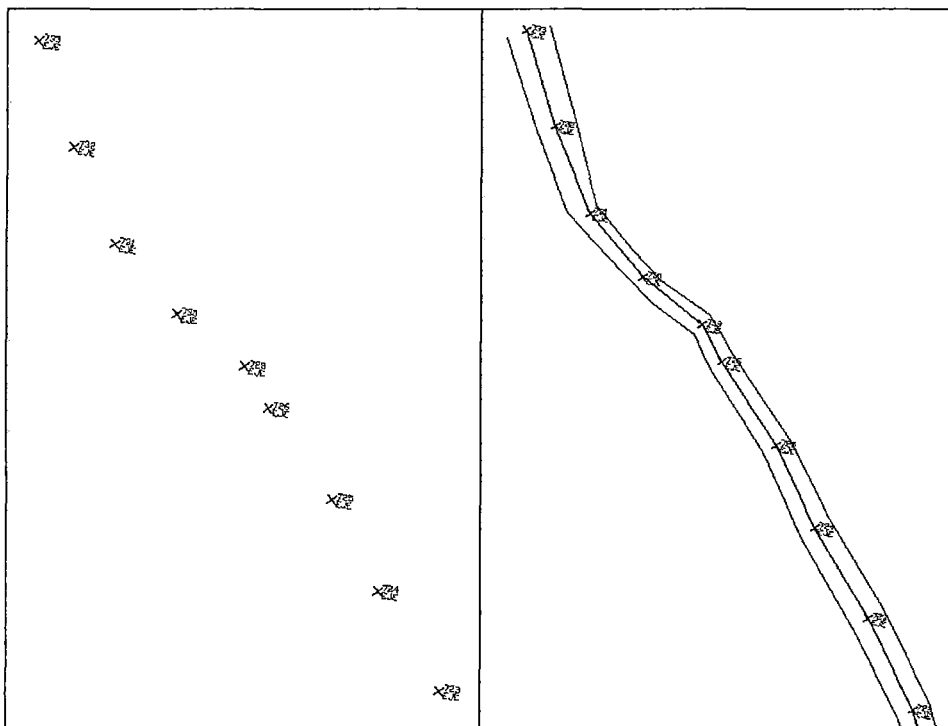


Fig. 6.4 Trazo del Eje

En la fig 6.4, se muestra eje, cabe destacar que cada punto representa un punto de inflexión, es decir en todos los PI's los radios son iguales a cero.

Edición del Eje

Eje02 GPS_km.0-6

Nº PI	Ang.Der/Azim	Prog/Dist	Radio	L.Espiral	Norte	Este
	148°26'50"	5.674				
21	170°25'00"	325.297	0.000	0.000	8767426.116	260441.556
	138°51'50"	11.729				
22	159°24'50"	337.026	0.000	0.000	8767417.282	260449.272
	118°16'50"	12.065				
23	169°03'10"	349.091	0.000	0.000	8767411.566	260459.897
	107°19'60"	9.781				
24	181°51'40"	358.872	0.000	0.000	8767408.652	260469.234
	109°11'40"					
25	180°30'40"	380.092	0.000	0.000	8767401.676	260489.274
	109°42'20"	18.507				
26	187°10'50"	398.598	0.000	0.000	8767395.436	260506.697
	116°53'00"	12.455				

Insertar Fila Eliminar Fila Tabla Mostrar Ayuda Salir

Fig. 6.5 Eje para obtener el Tin

c) Secciones Transversales del Terreno

Inicialmente hay que crear las estacas, precisando la progresiva en metros. Luego se ingresa las secciones transversales de los puntos sobre la plataforma, se ingresan los ángulos y distancias, mediante las casillas correspondientes. El ángulo se debe ingresar en grados, y la distancia el valor de la medida indicada que puede ser acumulada o parcial desde el eje. Posteriormente se ingresan las cotas de cada estaca. Cabe destacar que las progresivas de las estacas deben coincidir con la progresiva de los PI's.

Finalmente, se procesa esta información asociada al eje, y como resultado nos dará un archivo que tendrá el siguiente formato: número de punto, coordenada norte, coordenada este, elevación, descripción del punto

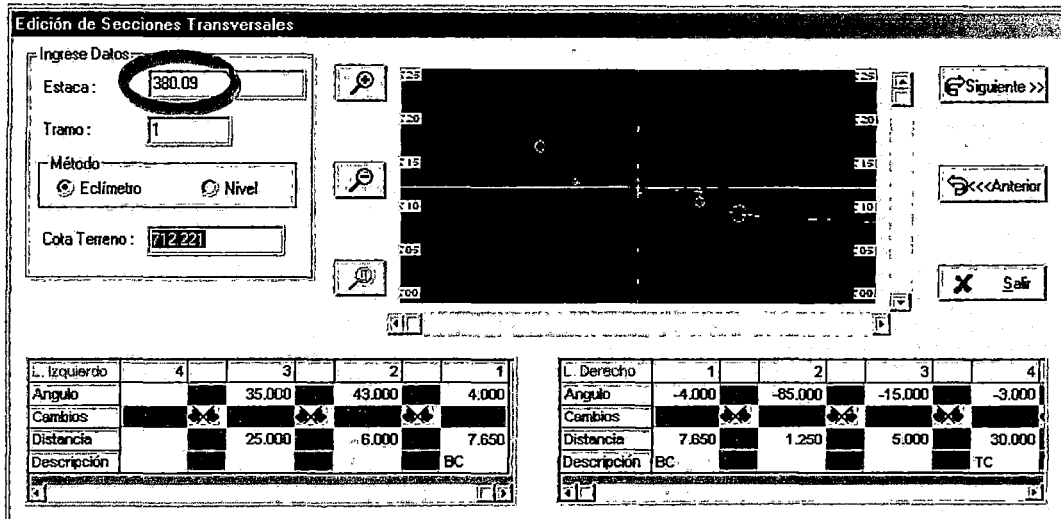


Fig. 6.6 Secciones Transversales del terreno

d) Generar de TIN

1. Para generar el Tin es necesario importar al Autocad Land el grupo de puntos de la faja topográfica. (fig. 6.7)

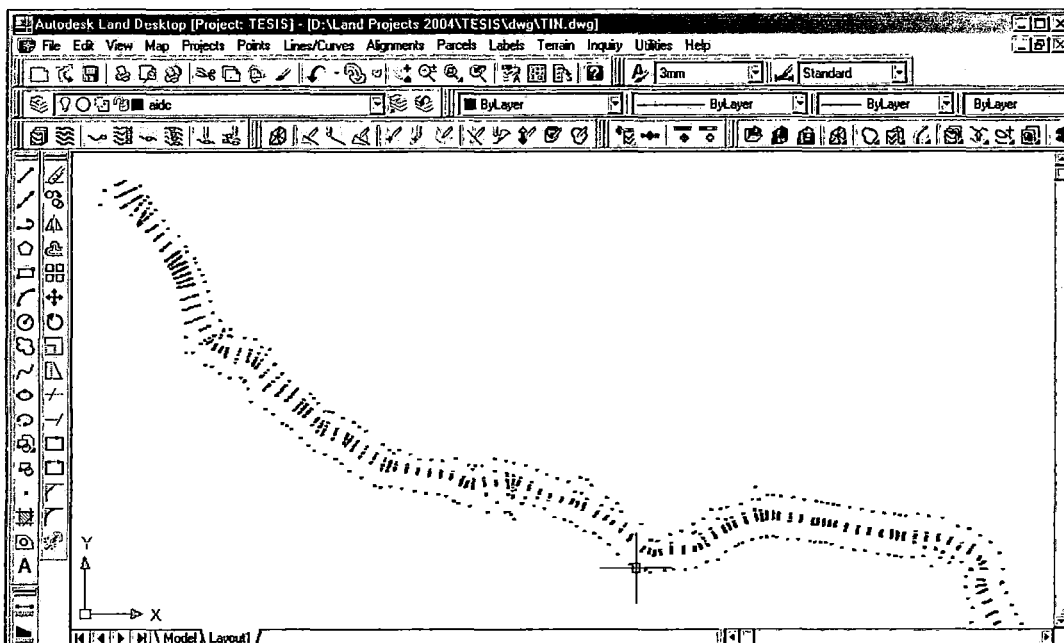


Fig. 6.7 Puntos del Tin

2. Luego se construye el Tin con los puntos (fig 6.7)

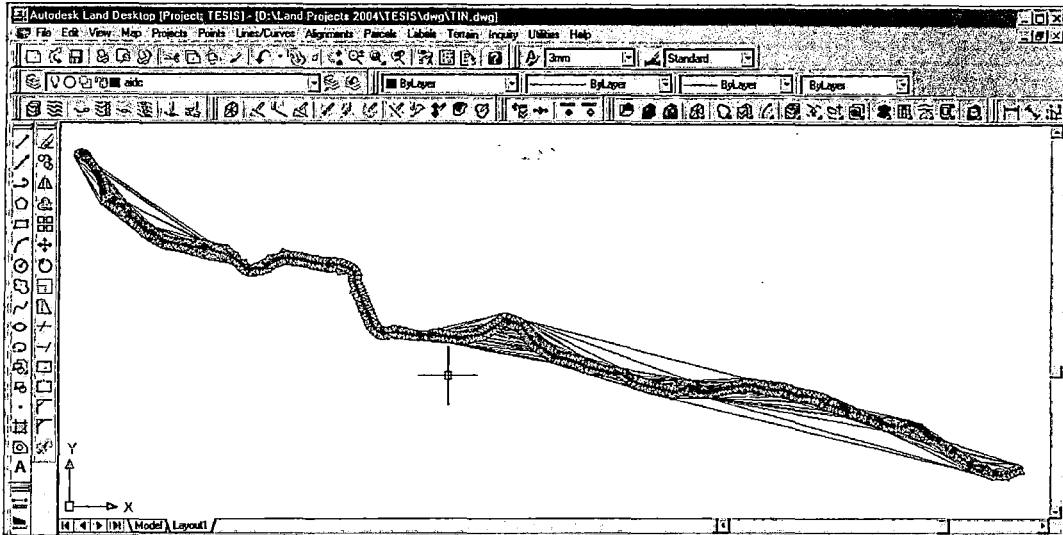


Fig. 6.8 Construcción del Tin

3. Una vez generado el Tin, se procede a eliminar las líneas que distorsionan la topografía (fig 6.8).

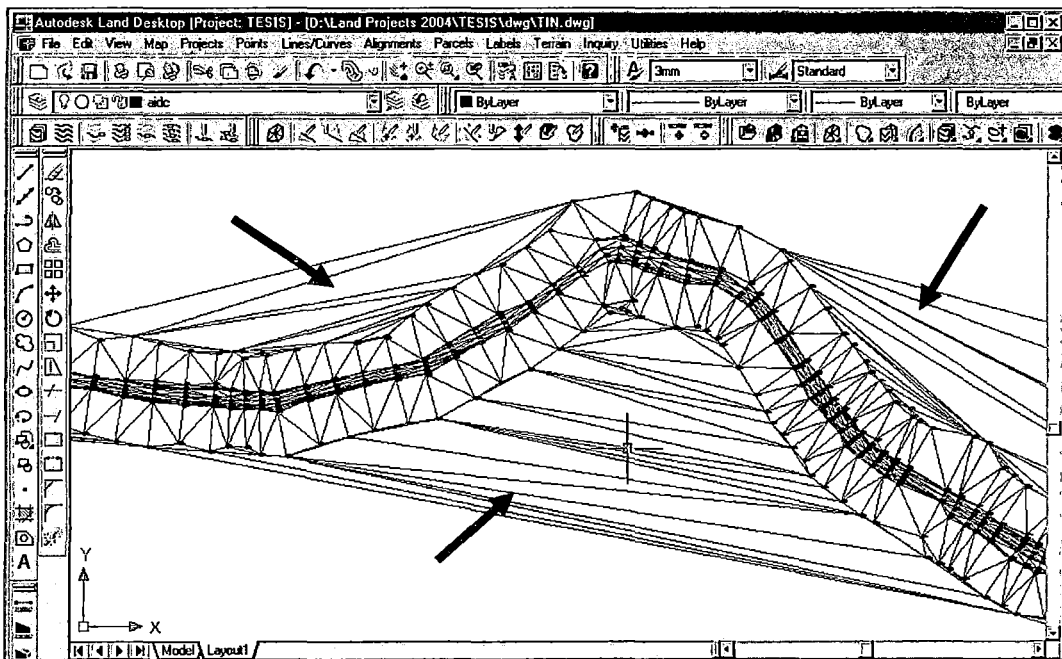


Fig. 6.9 Edición del Tin

4. Una vez finalizado la edición del Tin, en la fig. 6.9 muestra ya podemos asociar un eje a esta topografía.

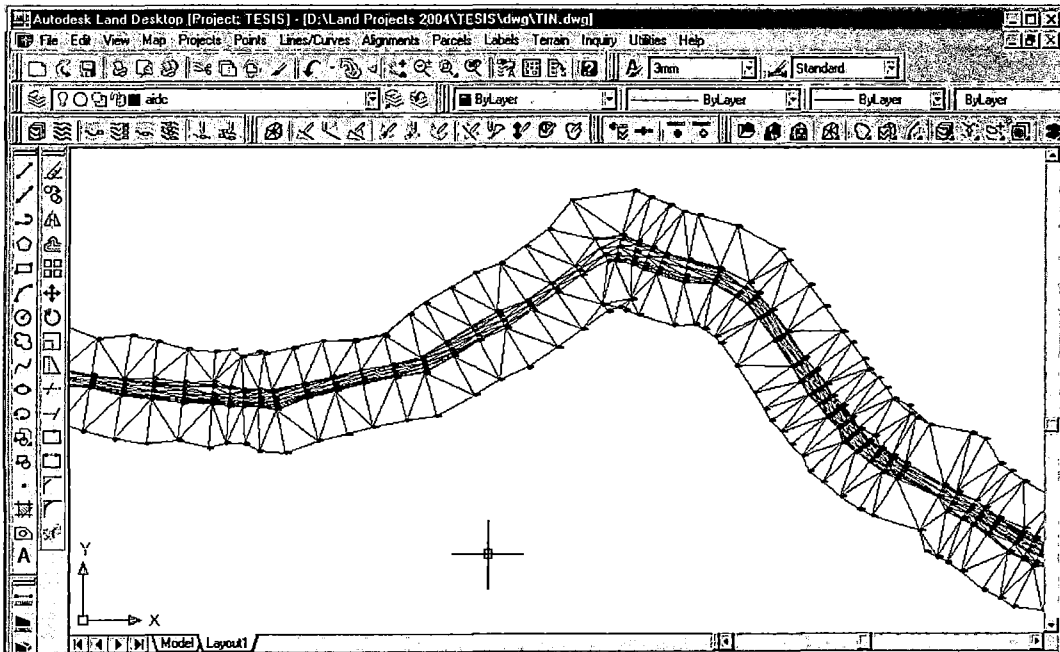


Fig. 6.10 Tin Final

6.3.2 Trazo en Planta (Método Indirecto)

a) Trazo del Eje

Una vez que se ha editado el Tin, se procede a dibujar la plataforma existente, luego se procede al trazo del eje en planta (fig. 6.11). Para trazar el eje en planta se debe realizar sobre la plataforma existente y en lo posible seguir la sinuosidad de la carretera, para evitar realizar grandes cortes que encarecen el proyecto.

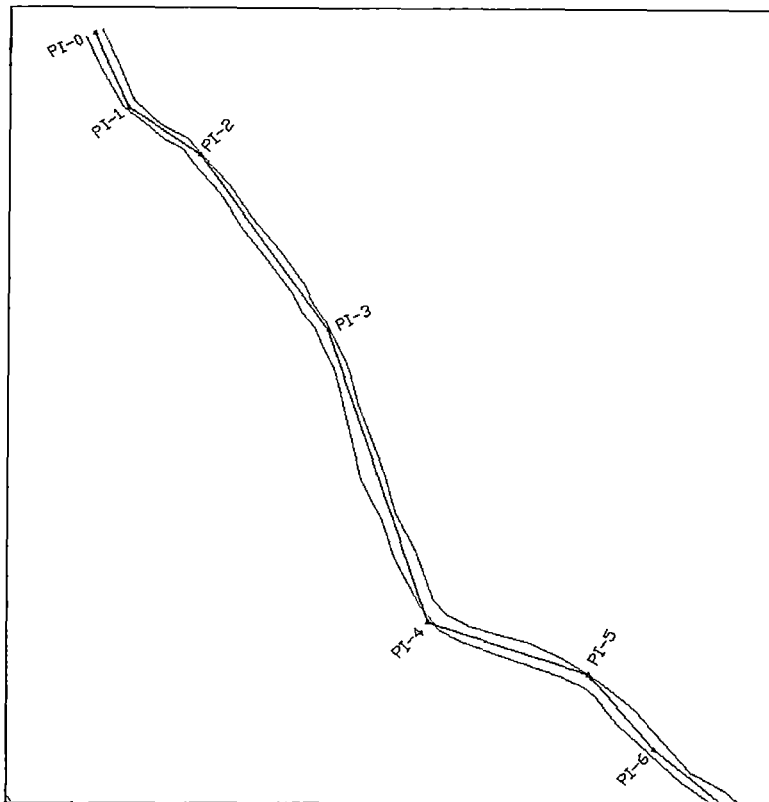


Fig. 6.11 Trazo del Eje por el Método Indirecto

b) Cálculo de Elementos de Curva Horizontal

Consiste en la introducción o modificación de los elementos de un eje. Aquí se ingresa los radios de las curvas horizontales, cuidando de que no exista traslapes, radios y tangentes mínimas.

Edición del Eje

Eje04 Eje_FINAL

Nº PI	Ang.Der/Azim	Prog/Dist	Radio	L.Espiral	Norte	Este
0		0.000			8767701.088	260280.154
	154°33'00"	39.081				
1	148°29'20"	39.081	35.000	0.000	8767665.799	260296.948
	123°02'20"	40.689				
2	200°21'20"	79.270	105.000	0.000	8767643.615	260331.058
	143°23'40"	104.496				
3	197°46'20"	183.368	200.000	0.000	8767559.730	260393.369
	161°10'00"	150.169				
4	127°01'50"	333.035	42.000	0.000	8767417.601	260441.846
	108°11'50"	81.178				
5	210°02'20"	411.189	40.000	0.000	8767392.250	260518.964
	138°14'10"	47.915				
6	170°19'30"	458.610	120.000	0.000	8767356.511	260550.878

Insertar Fila Eliminar Fila Tabla Mostrar Ayuda Salir

Fig. 6.12 Edición del Eje

Finalmente, se obtiene el eje con las curvas horizontales, como se ve en la fig 6.12, eje sigue la sinuosidad de la carretera existente.

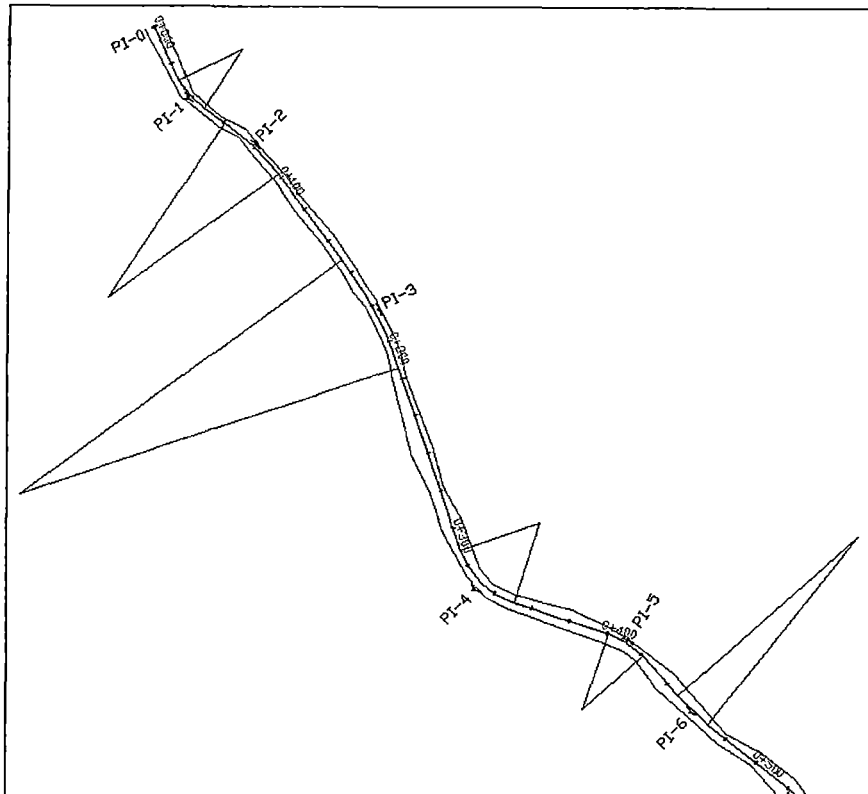


Fig. 6.13 Eje con curvas horizontales

6.3.3 Cálculo de Peraltes, Sobreanchos y Longitud de Transición

Para el cálculo de estos elementos, se realizó con una hoja de cálculo (Ver Anexo) donde se ajustan los las longitudes de transición para que no existe traslapes.

Edición de Peraltes y Sobreanchos

Eje activo: 04 Proyecto: 008.TESIS.GPS

Nº PI	Radio	Peralte	Sobreancho	Long. Trans. (en PC)	% en Curva (en PC)	Long. Trans. (en PT)	% en Curva (en PT)
1	35.000	8.000	1.200	10.000	45.000	10.000	45.000
2	105.000	6.000	0.800	10.000	50.000	10.000	50.000
3	200.000	3.000	0.500	10.000	50.000	10.000	50.000
4	42.000	8.000	1.200	19.000	50.000	19.000	50.000
5	40.000	8.000	1.200	10.000	50.000	10.000	50.000
6	120.000	5.000	0.700	10.000	50.000	10.000	50.000
7	110.000	6.000	0.800	12.000	30.000	12.000	30.000
8	45.000	8.000	1.200	12.000	30.000	12.000	30.000
9	93.000	7.000	0.900	17.000	30.000	17.000	30.000
10	175.000	3.000	0.500	10.000	50.000	10.000	50.000
11	51.000	8.000	1.200	10.000	50.000	10.000	50.000
12	36.000	8.000	1.200	10.000	50.000	10.000	50.000
13	49.000	8.000	1.200	17.000	30.000	17.000	30.000

Inicializar Ver Grafico Reporte Ayuda Salir

Fig. 6.14 Edición de Peraltes y Sobreanchos

6.3.4 Trazo de la Subrasante y Curva Vertical

Antes de definir el alineamiento vertical se extrae un perfil de la superficie del terreno a lo largo del alineamiento horizontal (eje de la carretera). Luego se utiliza este perfil del terreno sobre el cual se traza la subrasante tomando en cuenta las pendientes máximas especificadas.

Los datos necesarios para la definición de la subrasante son los siguientes:

- ✓ Progresiva de PI vertical.
- ✓ Elevación o cota de cada PI vertical
- ✓ Longitud de la curva del PI vertical

Las curvas que se aplica en alineamientos verticales son las parábolas, en la fig. 6.14, podemos visualizar el perfil del terreno y el alineamiento vertical y sus respectivos PI's verticales.

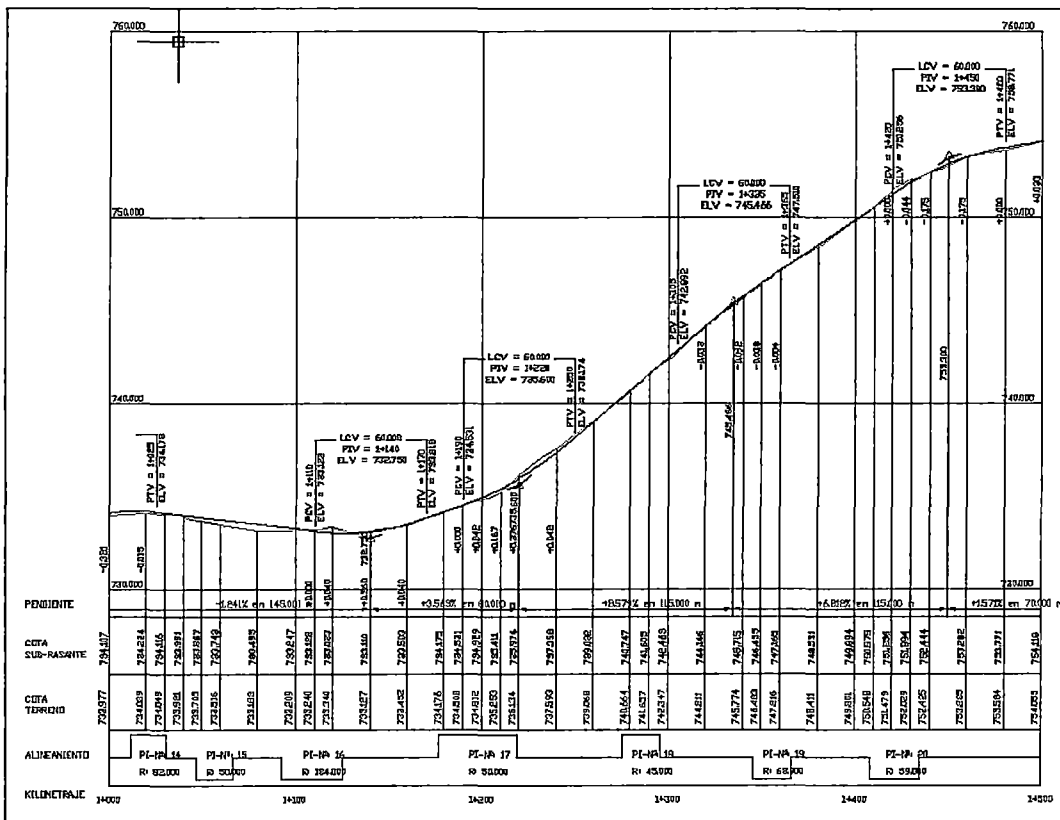


Fig. 6.15 Perfil Longitudinal

6.3.5 Secciones Transversales

La sección transversal, se desplaza a lo largo de la rasante diseñada con el fin de poder calcular las áreas de corte y relleno así como los volúmenes entre cada estación a cada 20 m. Se debe crear secciones tipo con las dimensiones del ancho de explanaciones, dimensión de cuneta y talud de corte y relleno. Una vez

ubicadas las cajas propuestas sobre las secciones de terreno, se procede a correr las secciones, que permite calcular las áreas de corte y de relleno.

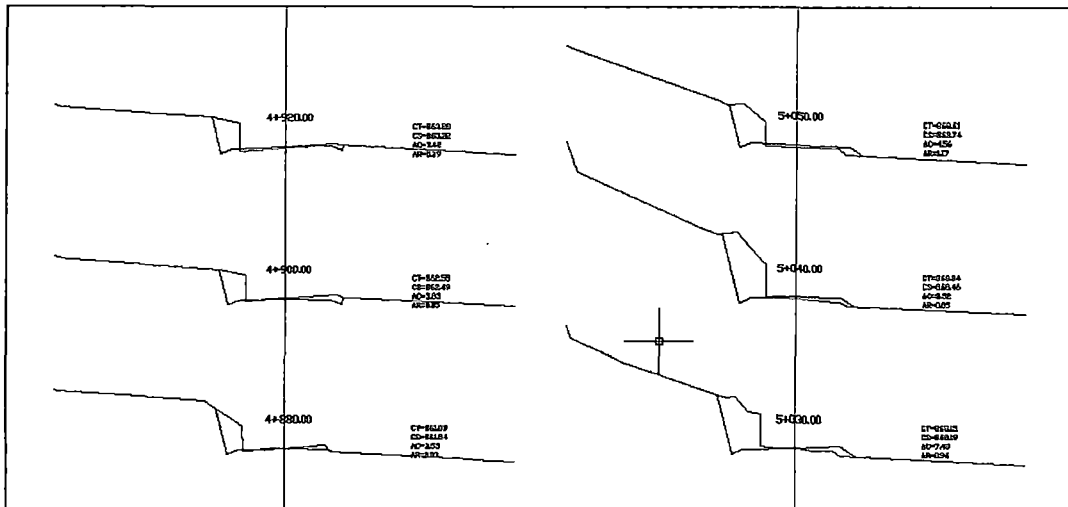


Fig. 6.16 Secciones Transversales

6.3.6 Metrados de Explanaciones

TABLA 6.2

RESUMEN METRADOS DE EXPLANACIONES								
Progresiva	CORTE				RELLENO			Material Exced. Corte (m3)
	Total Corte	Mat. Suelto	Roca Suelta	Roca Fija	Total Relleno	Propio	Cantera	
	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	
1,000.00	1,187.90	414.20	198.33	575.37	454.50	201.28	253.23	986.63
2,000.00	1,462.20	412.83	407.97	641.40	605.15	416.87	188.29	1,045.34
3,000.00	1,664.70	998.82	665.88	0.00	614.75	307.54	307.21	1,357.16
4,000.00	1,477.55	886.53	591.02	0.00	1,086.45	547.54	538.91	930.01
5,000.00	2,023.50	1,214.10	809.40	0.00	1,531.75	591.74	940.01	1,431.76
6,000.00	4,599.25	1,427.55	1,017.75	2,153.97	847.00	611.01	236.00	3,988.25
	12,415.10	5,354.03	3,690.35	3,370.74	5,139.60	2,675.97	2,463.64	9,739.14

6.4 DIAGRAMA DE MASAS

Se efectúa el diagrama de masas con el cual se procede a diseñar las líneas de balance, calculándose los puntos de balance, cortes, rellenos, préstamos, longitudes de transporte y los volúmenes totales.

En la fig 6.17 se muestra los cálculos de la curva masa. En los anexos se presenta el cuadro completo de cuadro de curva masa.

Progresiva	Cota		Espesores		Áreas		Volumen		F.A	Vol. Abundado		Suma Alg. De Vol.		Vol. Acum.
	Terreno	Sub-rasante	C	R	C	R	C	R		C	R	C (+)	R (-)	
0+000	699.06	699.00	0.06		0.00	0.00								0.00
0+020	701.68	701.40	0.28		2.94	0.00	14.70		1.3	19.11		19.11		19.11
0+040	703.66	703.65	0.01		1.51	0.55	44.50	2.75	1.3	57.85	2.75	55.10		74.21
0+060	704.00	704.20		0.20	0.00	6.62	7.55	71.70	1.3	9.82	71.70		61.89	12.33
0+080	705.43	705.52		0.09	4.82	0.62	24.10	72.40	1.3	31.33	72.40		41.07	-28.75
0+100	706.04	706.16		0.12	1.88	0.63	67.00	12.50	1.3	87.10	12.50	74.60		45.86
0+120	706.78	706.80		0.02	1.76	0.28	36.40	9.10	1.3	47.32	9.10	38.22		84.08
0+140	707.15	707.21		0.06	0.76	0.33	25.20	6.10	1.3	32.76	6.10	26.66		110.74
0+160	707.71	707.61	0.10		1.92	0.00	26.80	1.65	1.3	34.84	1.65	33.19		143.93
0+180	707.98	708.02		0.04	0.73	1.06	26.50	5.30	1.3	34.45	5.30	29.15		173.08
0+200	708.36	708.44		0.09	0.77	0.40	15.00	14.60	1.3	19.50	14.60	4.90		177.98
0+220	709.03	709.00	0.03		1.63	0.22	24.00	6.20	1.3	31.20	6.20	25.00		202.98
0+240	709.74	709.72	0.03		1.33	0.03	29.60	2.50	1.3	38.48	2.50	35.98		238.96
0+260	710.79	710.54	0.26		3.01	0.00	43.40	0.15	1.3	56.42	0.15	56.27		295.23
0+280	711.30	711.17	0.13		3.22	0.00	62.30		1.3	80.99		80.99		376.22
0+300	711.47	711.57		0.10	0.36	0.60	35.80	3.00	1.3	46.54	3.00	43.54		419.76
0+320	711.48	711.77		0.29	0.00	1.60	1.80	22.00	1.3	2.34	22.00		19.66	400.10
0+340	711.61	711.93		0.32	0.37	2.24	1.85	38.40	1.3	2.41	38.40		36.00	364.10
0+360	712.08	712.09		0.01	0.37	0.13	7.40	23.70	1.5	11.10	23.70		12.60	351.50
0+380	712.24	712.17	0.07		1.13	0.04	15.00	1.70	1.5	22.50	1.70	20.80		372.30
0+400	712.20	712.16	0.04		0.52	0.00	16.50	0.20	1.5	24.75	0.20	24.55		396.85
0+420	712.10	712.07	0.03		0.99	0.04	15.10	0.20	1.5	22.65	0.20	22.45		419.30
0+440	712.13	711.99	0.14		1.53	0.00	25.20	0.20	1.5	37.80	0.20	37.60		456.90
0+460	712.02	712.06		0.04	0.94	0.59	24.70	2.95	1.5	37.05	2.95	34.10		491.00
0+480	712.36	712.30	0.06		2.92	0.00	38.60	2.95	1.5	57.90	2.95	54.95		545.95
0+500	712.94	712.69	0.25		2.82	0.11	57.40	0.55	1.5	86.10	0.55	85.55		631.50

Fig. 6.17 Cálculo de Curva Masa

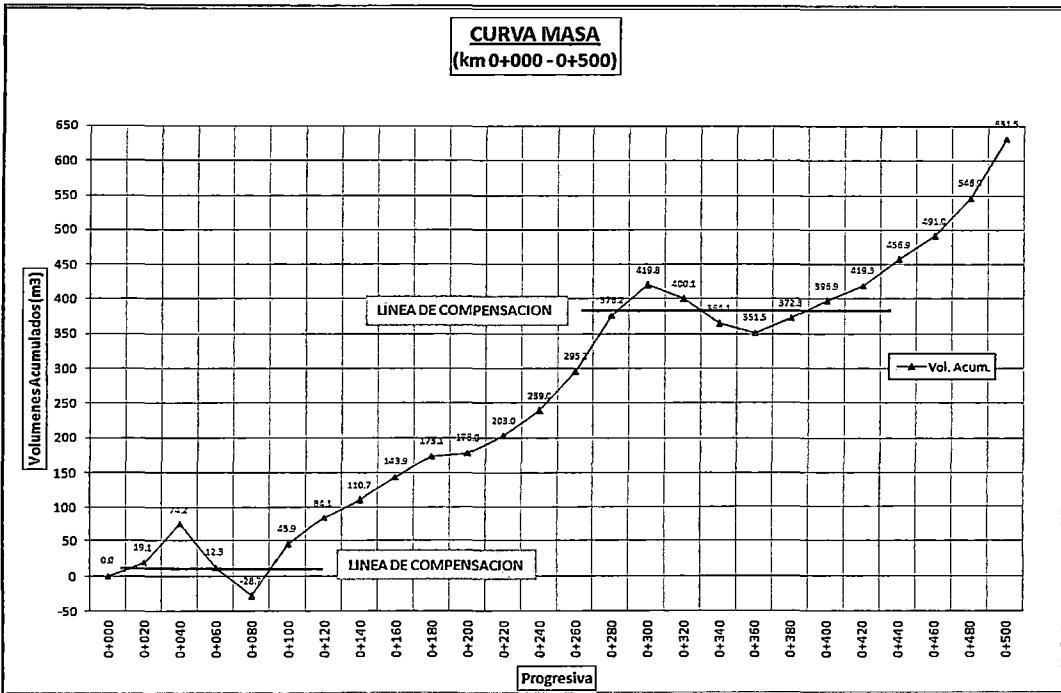


Fig. 6.18 Diagrama de Curva Masa

6.5 ANALISIS DE RESULTADOS

6.5.1 Análisis Comparativo de Perfiles Longitudinales

Para este análisis se usó un eje común para ambos modelos digitales de terreno, en la Fig. 6.19, se muestra las cotas obtenidas correspondientes a cada progresiva.

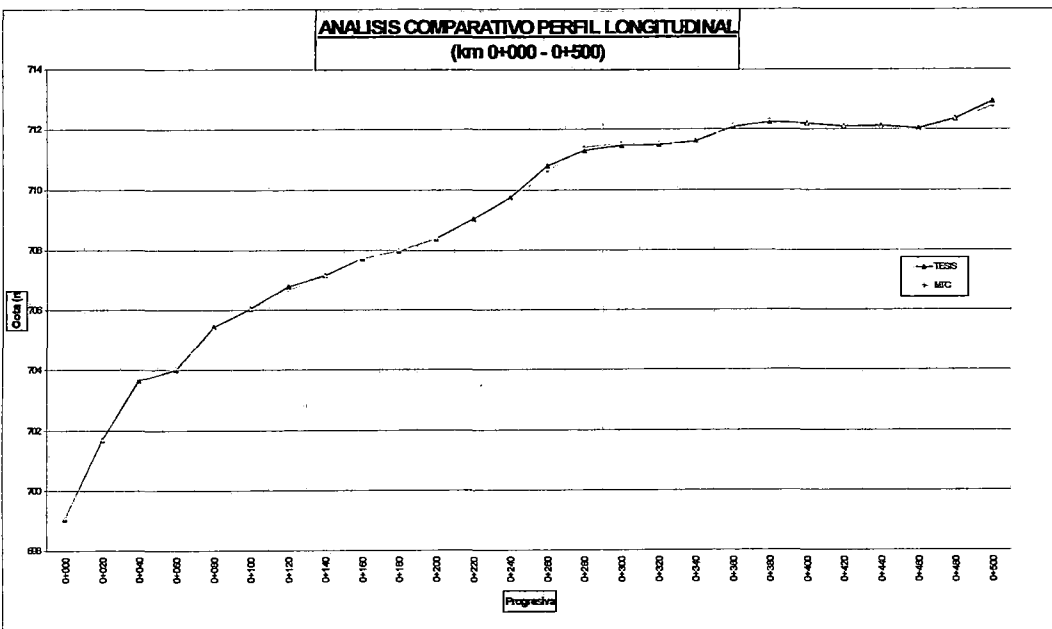


Fig. 6.19 Perfiles Longitudinales

De la Fig. 6.20, en el tramo 0+000-0+500 el delta max. es igual 16 cm.

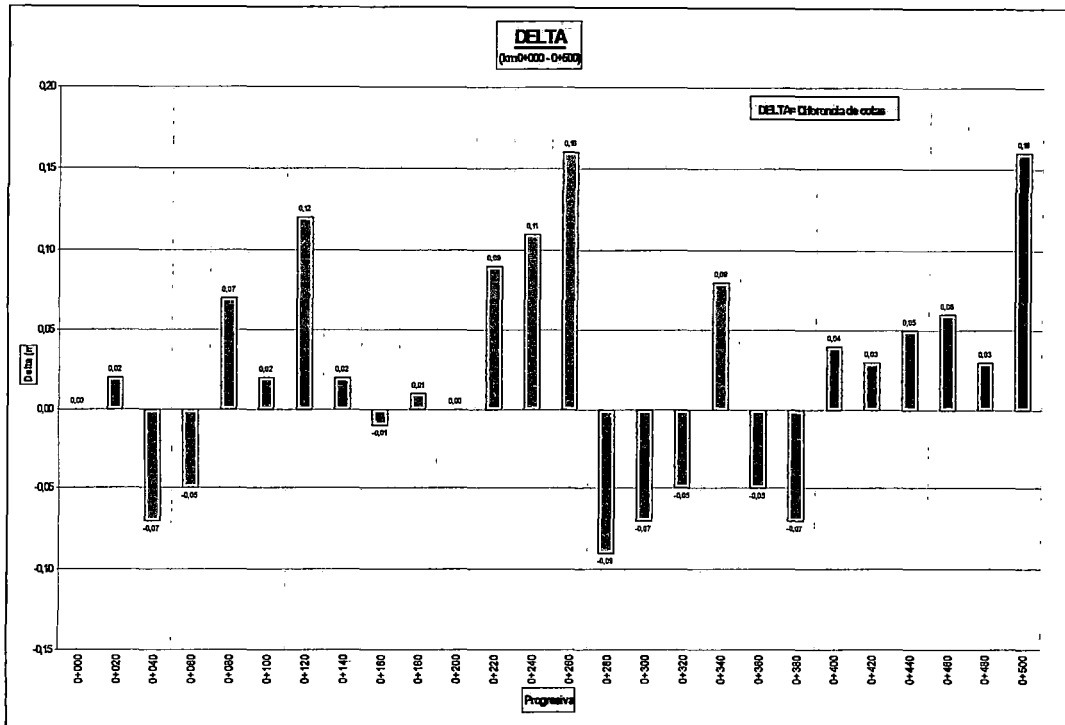


Fig. 6.20 Diferencias de cotas

En la Fig. 6.21, se han agrupado los datos de acuerdo de a los deltas (diferencia de cotas), se observa que el 46% de puntos tienen un delta menor a 10 cm.

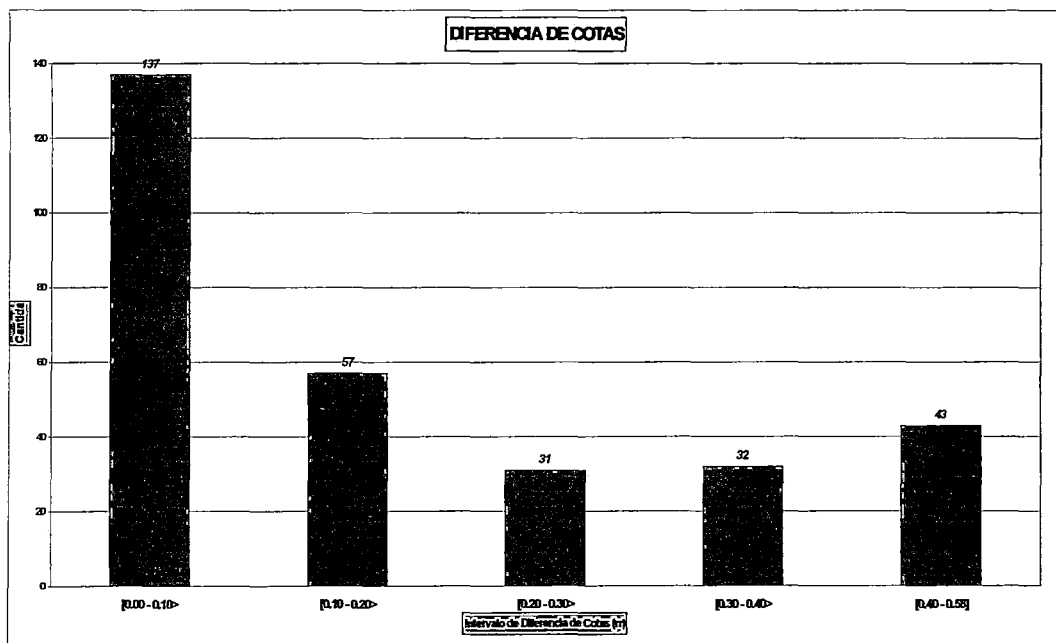


Fig. 6.21 Diferencia de cotas por intervalos

En la Fig. 6.22, se muestra que el 65% de los datos tienen un delta menor a los 20 cm, observándose un delta máximo de 58 cm.

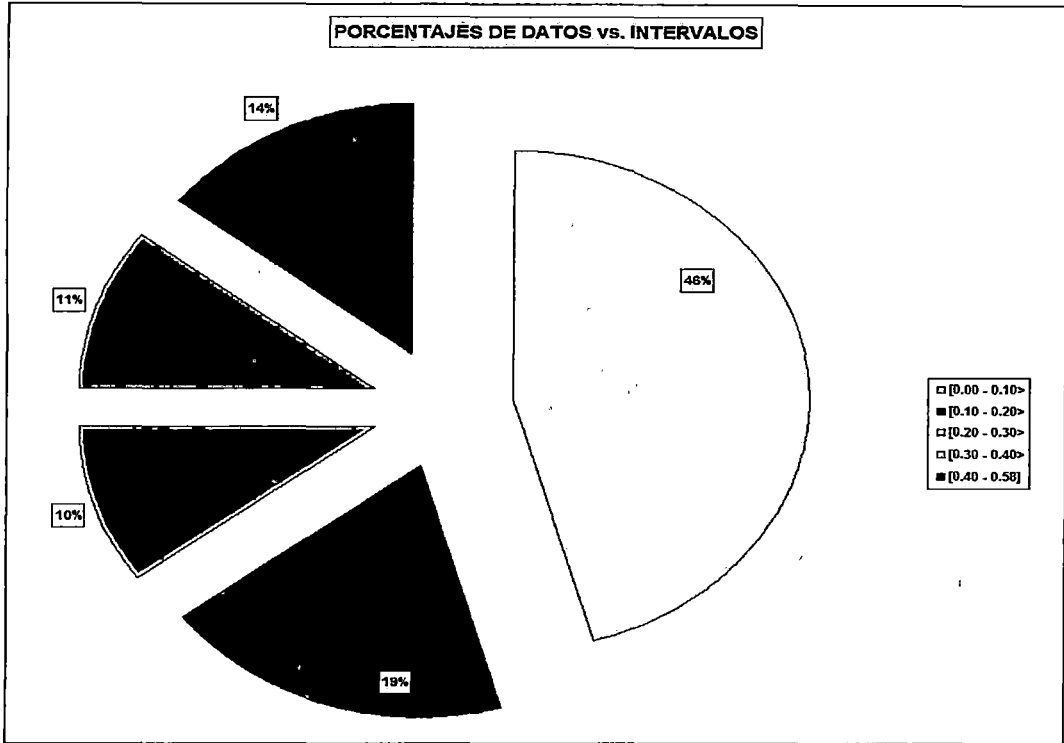


Fig. 6.22 Porcentajes de Datos por intervalos

En la Fig. 6.23, se muestra los delta promedio por km, se observa que el delta se incrementa a medida que el receptor móvil se aleja de la base.

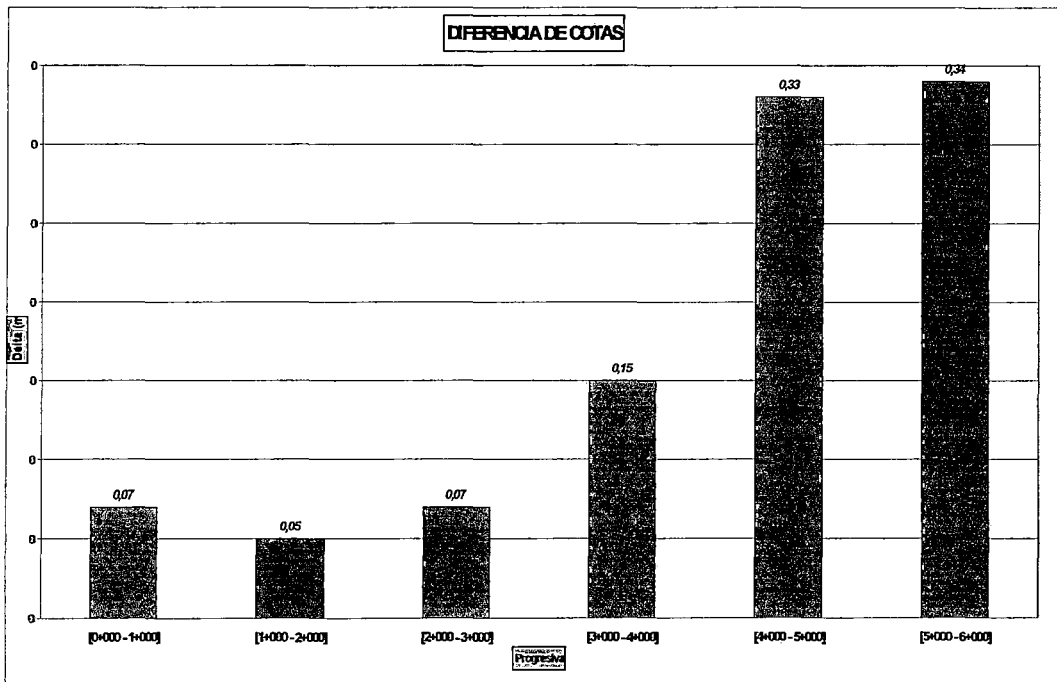


Fig. 6.23 Diferencia de cotas vs. Progresiva

6.5.2 Análisis Comparativo de PI's

En la Fig. 6.24, se muestra que el delta se incrementa a medida que el receptor móvil se aleja de la estación base.

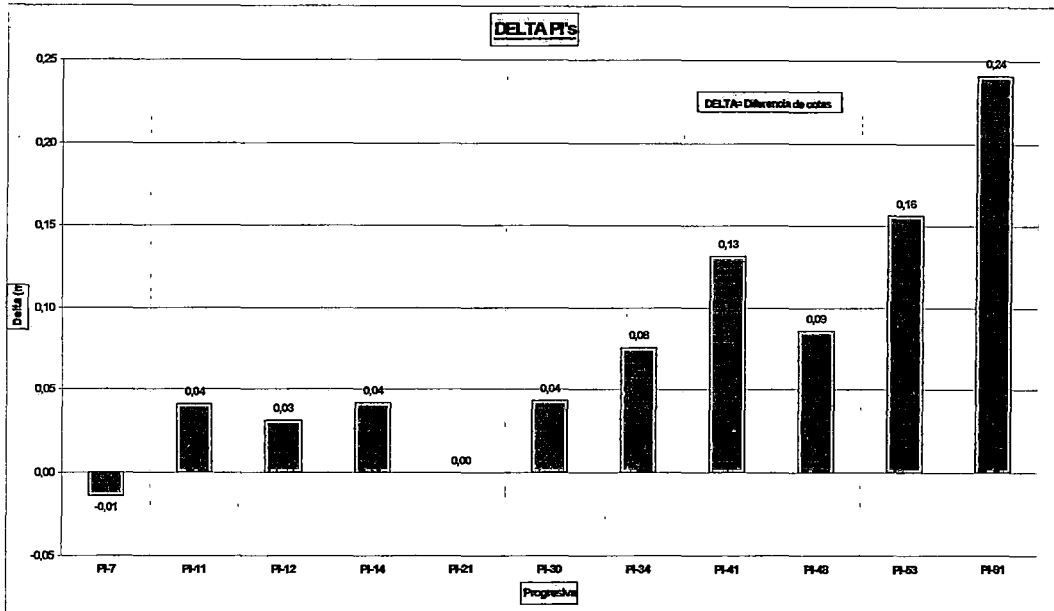


Fig. 6.24 Delta de PI's

6.5.3 Análisis Comparativo de BM's

En la Fig. 6.25 similar a la fig. anterior el delta se incrementa a medida que el receptor móvil se aleja de la estación base, se aprecia una tendencia creciente.

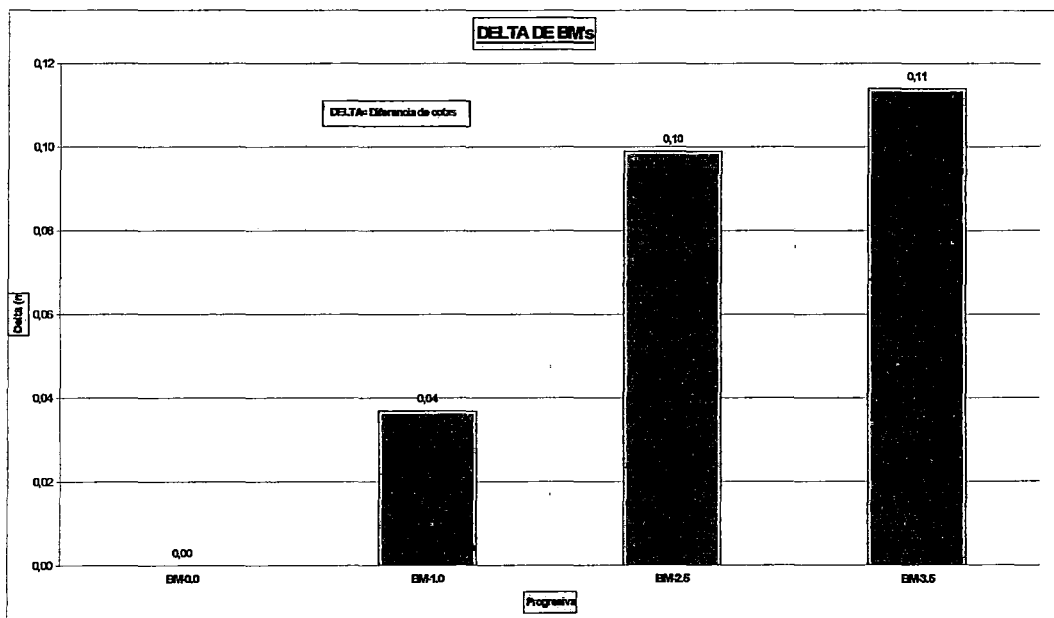


Fig. 6.25 Delta de BM's

6.5.4 Análisis de Movimiento de Tierras

TABLA 6.3

ANÁLISIS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS				
	VOLUMEN (m ³)		DIFERENCIA	PORCENTAJE
	MTC	TESIS	(m ³)	
1. CORTE	10981,60	12415,12	1433,52	13%
2. RELLENO	7530,80	5139,60	-2391,20	-32%

En la Tabla 6.3 se muestra la diferencia porcentual de volúmenes de corte igual a 13% y de relleno igual -32%.

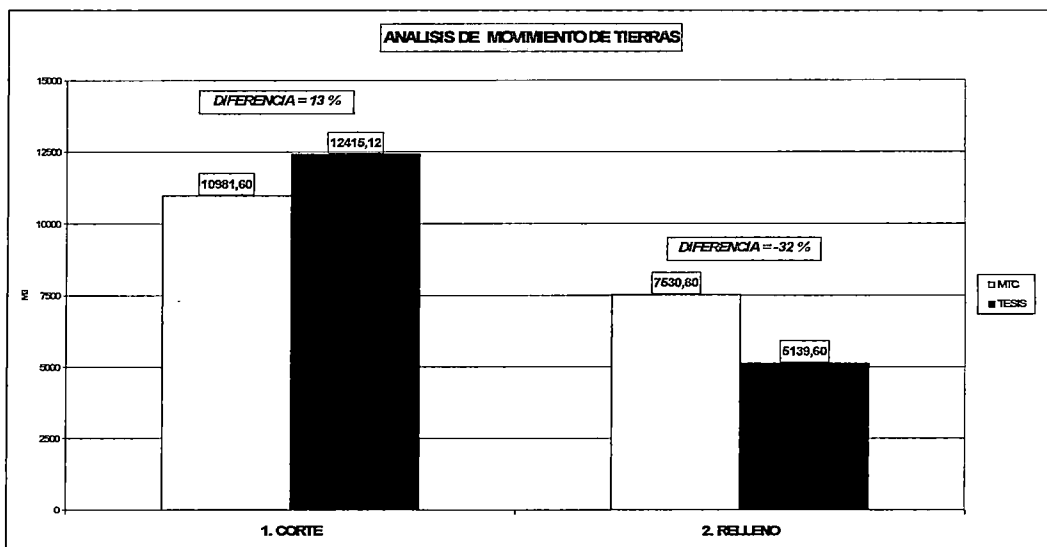


Fig. 6.26 Análisis de Movimiento de Tierras

6.5.5 Análisis de Costos

TABLA 6.4

INCIDENCIA EN EL COSTO DE LAS PARTIDAS					
	MTC (m ³)	TESIS (m ³)	P.U. (S/.)	MTC (S/.)	TESIS (S/.)
1. EXCAVACION					
1.1 material suelto	5010,71	5354,03	2,63	13178,16	14081,09
1.2 roca suelta	3442,72	3690,35	10,84	37319,03	40003,38
1.3 roca fija	2528,17	3370,74	19,27	48717,91	64954,20
2. TERRAPLENES					
2.1 relleno con mat. propio	3430,73	2675,97	4,53	15541,22	12122,12
2.2 relleno con mat. cantera	4100,07	2463,64	20,04	82165,35	49371,25
			TOTAL (S/.)	196921,68	180532,04
				INCIDENCIA	-9,08%

En la Tabla 6.4, se muestra que la incidencia en el costo de la partida Movimiento de Tierras es de 9.08%.

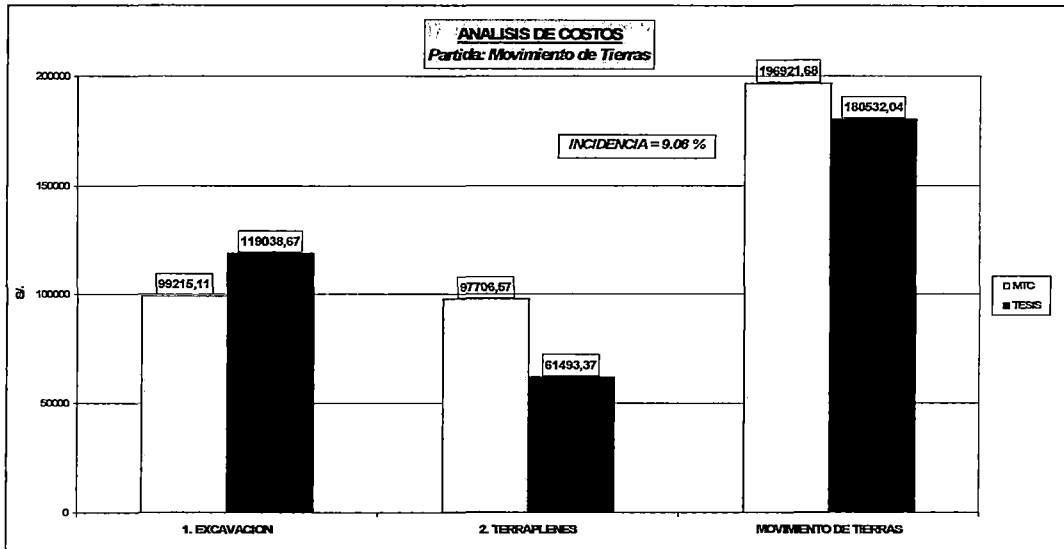


Fig. 6.27 Análisis de Costos

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Los parámetros y elementos básicos de diseño, fueron tomados en su mayoría del Manual de diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito-2005, aplicable a caminos de IMD menor a 400 veh./día. En esta categoría se encuentran el 87% de la red vial, cuyos valores representan el límite inferior de tolerancia de diseño.
- En la elaboración de proyectos de infraestructura vial es importante que éste tenga un sustento técnico que demuestre su vialidad (SNIP), por ende es necesario determinar las características técnicas de la vía, que están en función de la clasificación de la carretera e IMD proyectado y el tipo de orografía.
- La metodología propuesta es aplicable estudios de Pre-inversion, llámese perfiles, pre-factibilidad, en los cuales se requiere estimaciones preliminares a grandes rasgos de los costos, por ende no debe demandar mucho tiempo ni recursos. Esta metodología no pretende sustituir a la técnica clásica, sino ser una herramienta más para la obtención de modelos digitales de terreno, pues ha quedado demostrado que con el GPS se obtienen mejores rendimientos en campo a menores costos.

- En el presente trabajo no se consideró bermas debido a que en la mayor parte del tramo hay terrenos agrícolas a ambos lados de la carretera y la plataforma existente tiene 6m de ancho; al tener un ancho de explanaciones de 5.95m, considerar bermas se hubiera afectado propiedad privada. Este estudio fue concebido como elaboración de un expediente de mantenimiento.
- El sistema GPS tiene ventajas sobre los métodos topográficos clásicos, debido a que no requiere intervisibilidad entre las estaciones, puede ser usado en cualquier momento del día y la noche, se obtiene mejores rendimientos, en menos tiempo y con menos personal.
- La precisión del levantamiento con GPS, depende en gran parte de la precisión de las coordenadas de la estación base. La Estación Andahuasi fue medida en Diciembre del 2001, es decir el IGN no realiza un oportuno mantenimiento a su red geodésica, y considerando que el Perú está localizado en una zona donde interaccionan dos placas tectónicas, estos puntos están desplazados. Se puede corregir usando modelos que calculan la velocidad de coordenadas (2 cm/año aprox.), es decir en 6 años habría un desplazamiento tridimensional de 12 cm. Otra manera es usar el OPUS, que es un servicio de procesamiento en línea, que calcula las coordenadas de una Estación Base, mediante posicionamiento estático utilizando datos de la Red de Estaciones Permanentes.
- Respecto a la planimetría el GPS diferencial tiene precisiones aceptables (1cm+1ppm), cuando se trabaja en RTK. No obstante las precisiones en la vertical (1.5cm+1ppm), son aplicables a alturas elipsoidales, para transformar a alturas ortométricas (cotas) se utiliza el modelo geoidal EGM96, que tiene una precisión de ± 50 cm. En el análisis de perfiles longitudinales se muestra que el 46% de datos tienen un error menor a 10 cm, para una distancia de 6 km de la base.
- La diferencia de cotas promedio entre los perfiles es de 0.17 cm. y el rango valores absolutos de los delta's es de 0 a 0.58 cm.
- La calidad de datos en un levantamiento RTK depende principalmente de: distancia de la estación base, precisión del modelo geoidal, obstrucciones o vegetación. Durante el trabajo de campo, se observó que el receptor móvil no recibe señal con la corrección diferencial de la base a más de 11 km. No

obstante las especificaciones del radio modem indicaban que la señal alcanza los 25 km. Esto se debe a las obstrucciones producidas por la vegetación.

- Del análisis comparativo de la partida Movimiento de Tierras se obtiene una diferencia de 13% en volumen de corte y -32% en volumen de relleno. Finalmente del análisis de costos de las partidas, la incidencia es de 9.08%.

7.2 RECOMENDACIONES

- Los proyectos de infraestructura vial, al igual que todo proyecto de inversión pública, pasan una fase de evaluación de viabilidad, para lo cual el SNIP asigna montos de inversión máximos por km. No obstante se recomienda no perder de vista que el principal criterio de diseño es la seguridad.
- En la elaboración de proyectos de carreteras (construcción, mejoramiento y rehabilitación), se debe tener en cuenta que dicho proyecto pasará por una evaluación económica (SNIP), en dicha evaluación se maneja montos máximos de inversión por km, por lo cual los proyectistas deben adecuar sus diseños a dichos montos.
- Para realizar este tipo de trabajos con GPS es necesario realizar un Plan de Observación previo para determinar las horas en las cuales hay mayor disponibilidad de satélites en el firmamento, para no realizar recopilación de datos que no se ajusten a la precisión requerida.
- Al elaborar el trabajo de campo es conveniente trabajar con un eje, una nivelación y secciones transversales, sin importar si este eje será el eje final. Con esta información se debe definir el Modelo Digital del Terreno (DTM), una vez obtenido el modelo, se procede a determinar la ubicación final del eje de la carretera y sobre éste se ubican las obras de arte. No es recomendable tomar el eje de campo como definitivo pues conlleva a generar ecuaciones de empalme innecesarias.
- La principal limitación y fuente de equivocaciones en la aplicación de esta tecnología GPS, radica en el insuficiente manejo de los conceptos geodésicos y cartográficos como: sistemas y marcos de referencia geodésicos, proyecciones cartográficas, tipos de coordenadas.

- Para mejorar las precisiones de los levantamientos en RTK es recomendable postprocesar los datos. Además solo se debe utilizar para distancias menores a 10 km entre la estación base y móvil.
- La metodología propuesta es aplicable a Estudios de Perfil, Pre-factibilidad, Mantenimiento. Para aplicar esta metodología a levantamientos de mayor precisión, es necesario realizar una nivelación geométrica o diferencial. Con ello se puede utilizar para la elaboración de Estudios de Factibilidad y Definitivos de carreteras.
- Los resultados obtenidos del análisis de un diagrama de masas deben considerarse únicamente como indicativos del trabajo a realizar y los valores que de él se deduzcan serán aproximaciones a la realidad, ya que este no refleja totalmente las condiciones en que se realizará la obra.

GLOSARIO

Afirmado: capa de material natural selecto procesado o semiprocesado de acuerdo a diseño, que se coloca sobre la subrasante de un camino. Funciona como capa de rodadura y de soporte al tráfico en carreteras no pavimentadas.

Alcantarilla: es una obra de arte del sistema de drenaje de una carretera, construida en forma transversal al eje. Por lo general se ubica en quebradas, cursos de agua y en zonas que se requiere para el alivio de cunetas.

Almanaque: Conjunto de datos crudos de las órbitas de los satélites, empleados para calcular la posición, hora de salida, elevación y acimut de los mismos.

Ambigüedad: Número entero de ciclos desconocidos de la fase portadora reconstruida, presentes en una serie de mediciones continuas, de un solo paso de satélite en un mismo receptor.

Berma: franja longitudinal paralela y adyacente a la calzada del camino. Que se utiliza como zona de seguridad para estacionamiento de vehículos en emergencia y de confinamiento del pavimento.

BM (bench mark): referencia topográfica de coordenada y altimetría de un punto marcado en el terreno, destinado a servir como control de la elaboración y replanteo de los planos del proyecto de un camino.

Bombeo: inclinación transversal de la superficie de rodadura del camino, que facilita el drenaje superficial.

Calzada: superficie de la vía sobre la que transitan los vehículos, puede estar compuesta por uno o varios carriles de circulación.

Carril: parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

Código Seudoaleatorio del Ruido (PRN): Grupo de secuencias binarias que parecen tener una distribución aleatoria como el ruido, pero que en realidad se pueden distribuir de manera ordenada.

Constelación de Satélites: Disposición en el espacio de todo el grupo de satélites de un sistema, como el de GPS.

Cuneta: canal generalmente triangular o rectangular localizado al lado de la berma destinada a recolectar las aguas de lluvia o de otra fuente, que caen sobre la plataforma del camino.

Curva horizontal: curva circular que une los tramos rectos de un camino o carretera en el plano horizontal.

Curva vertical: curva parabólica o similar en elevación que une las líneas rectas de las pendientes de un camino en el plano vertical.

Datos de Mensaje: Mensaje incluido en la señal GPS que informa de la ubicación del satélite y las correcciones del reloj. Se incluye también información general de las condiciones de otros satélites de la constelación.

Derecho de Vía: franja de terreno dentro de la cual se ubica el camino y todas sus obras complementarias y accesorias, incluyendo áreas de servicios y zonas de seguridad, elementos paisajistas y de protección del medio ambiente así como áreas de reserva para futuras ampliaciones del camino.

Distancia de visibilidad de adelantamiento: distancia mínima de visibilidad necesaria para que en condiciones de seguridad un vehículo pueda adelantar a otro.

Distancia de visibilidad de cruce: distancia mínima de visibilidad a lo largo del camino en ambas direcciones, que requiere observar el conductor de que pretende atravesar un camino.

Distancia de visibilidad de parada: distancia mínima que necesita ver el conductor de un vehículo, delante de su vehículo, para detenerlo al observar un obstáculo ubicado en su carril, para evitar impactarlo.

Efemérides: Lista de posiciones o ubicaciones de un objeto celeste en función del tiempo.

Eje del camino: línea longitudinal a lo largo del camino, que define el trazado en planta y perfil longitudinal de un camino. El eje esta normalmente diseñado en el centro de la calzada.

Época: Instante fijo y particular de tiempo, empleado como punto de referencia en una escala temporal.

Error de las Efemérides: Diferencia entre la ubicación actual del satélite y la ubicación predicha por los datos orbitales de satélite (efemérides).

Estación Base: El posicionamiento diferencial, extremo de la línea base que se asume conocido y su posición fija.

Estación Permanente: Es un receptor GPS con que rastrea los satélites en forma continua y un sistema informático para el almacenamiento en una base de datos, de los registros captados por el receptor y colocados a disposición de los usuarios, junto con las coordenadas de la estación.

Factor de escala: El factor de escala es un ajuste de escala aplicado a distancias elipsoidales para reducir las distancias a distancias de cuadrícula. Este es el segundo y último paso para convertir distancias medidas en distancias de cuadrícula. El primer paso es reducir las distancias medidas a distancias elipsoidales aplicando el factor de elevación.

Geodesia: ciencia que estudia la forma y dimensiones de la tierra.

Huso Horario: Huso Horario = Hora Local – Tiempo medio de Greenwich (GMT). Nótese que el Tiempo medio de Greenwich es aproximadamente el mismo que el Tiempo GPS.

Intervalo de Grabación: Intervalo de tiempo de la grabación de datos GPS en la memoria del receptor GPS.

Línea Base: También llamado Vector, es la longitud del vector tridimensional entre un par de estaciones en las que se han registrado simultáneamente datos GPS y se procesan con técnicas diferenciales.

MDT (modelo digital del terreno): representación geométrica en 3D del terreno en formato digital.

MDE (modelo digital de elevaciones): estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. Puede describirse como una función: $z = f(x,y)$. Donde z es la altitud del punto, y los valores de x e y , corresponde las abscisas y ordenadas de un sistema de coordenadas plano, habitualmente un sistema de proyección cartográfica.

Número PRN: Número de identificación del satélite.

Observable: En la medición GPS, observable es otro nombre para los datos que están siendo grabados (observados) por el receptor GPS.

Pendiente del camino: inclinación del eje del camino, en el sentido de avance.

Peralte: inclinación transversal del camino en los tramos de curva, destinada a contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo.

Plataforma: superficie superior del camino, que incluye la calzada y las bermas.

Post-proceso: Reducción y procesamiento de datos GPS después que los datos fueron grabados en terreno. El post-proceso se lleva a cabo en un computador en ambiente de oficina.

Pseudodistancia: Medición del tiempo de propagación aparente desde el satélite a la antena del receptor, expresado como distancia. La pseudodistancia se obtiene al multiplicar el tiempo de la señal de propagación aparente por la velocidad de la luz. La pseudodistancia difiere de la distancia real porque los relojes del satélite y del usuario no están perfectamente sincronizados, por el retraso de la propagación y otros errores.

Rastreo: Proceso por medio del cual un receptor GPS encuentra y enlaza un satélite GPS. Una vez que un receptor GPS ha rastreado 4 o más satélites, puede comenzar a calcular posiciones.

RTK (Real Time Kinematic): Término empleado para describir el proceso mediante el cual, se resuelven las ambigüedades de fase en el receptor GPS, de manera que ya no es necesario el post-proceso.

Salto de Ciclo: Discontinuidad de un número entero de ciclos en la medición de señal de fase portadora, que resulta de una pérdida temporal de la señal de satélites GPS.

Sesión de Observación: Período de tiempo en el cual se registran datos GPS en forma simultánea por dos o más receptores.

Sobreancho de calzada: es el ancho adicional que se debe dar a la superficie de rodadura en los tramos en curva para compensar el mayor espacio requerido por los vehículos.

Subrasante (nivel de): representación altimétrica (cota) del eje del camino, antes de la colocación de la estructura de la capa de rodadura.

Superficie Equipotencial: Superficie definida matemáticamente en la cual el potencial de gravedad es el mismo en cualquier punto. Un ejemplo de esta superficie lo constituye el geoide.

Tiempo GPS: Sistema de tiempo continuo basado en el Tiempo de Coordenadas Universales (Coordinated Universal Time (UTC)) del 6 de enero de 1980.

Transición de sobreancho: es la traza del borde de la calzada, en la que se modifica gradualmente el ancho de la calzada hasta alcanzar el máximo ancho de la sección requerida en la curva.

Transición del peralte: es la traza del borde de la calzada en la que se desarrolla el cambio gradual de la pendiente del borde de la calzada, entre la que corresponde a la zona tangente, y el que corresponde a la zona peraltada de la curva.

TIN (red de triángulos irregulares): Es una estructura de datos que se compone de un conjunto de triángulos irregulares adosados. Los triángulos se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales, quedando el terreno representado por el conjunto de superficies planas.

Velocidad directriz o de diseño: es la velocidad establecida en el proceso de planeamiento, para adoptar en el diseño, como elemento rector de las características geométricas del camino.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALCANTARA GARCIA, Dante (1990). **Topografía**. Ed. Mc Graw Hill.
2. BANNISTER A., RAYMOND S (1994). **Técnicas Modernas de Topografía**. Ed. Alfaomega.
3. BERTO LEON, Antonio Nazario. **Diseño Geométrico de un Proyecto de Carretera usando el Programa AIDC**. Informe de Suficiencia de Ing. Civil FIC-UNI.
4. GARCIA, Augusto (2005). **Autodesk Land Desktop 2005**, Ed. Macro, 1ra. Edición.
5. J.G.R. CONSULT S.R.L. (2000). **Manual AIDC2000**.
6. LEYVA URPI, José Arturo. **Diseño Geométrico de un Proyecto de Carretera usando el Programa Topo**. Tesis Profesional de Ing. Civil. FIC-UNI.
7. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (2001). **Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2001**.
8. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES – PROVIAS RURAL (2005). **Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito**.
9. SCIPION PINELLA, Eddy. **Apuntes del Curso de Caminos I DATV-FIC-UNI**.
10. TOPCON POSITIONING SYSTEM (2003), **Manual de Instrucciones de Receptor Hiper GD**.
11. TOPCON POSITIONING SYSTEM (2004), **Manual de Referencia de Topcon Tools**.
12. TOPCON POSITIONING SYSTEM (2005), **Manual de Referencia de TopSURV**.
13. TRIMBLE (2001). **Manual de Receptor GPS**.
14. WOLF, Paul y BRINKER, Russel (1994). **Topografía**, Ed. Alfaomega, 9na. Edición.

PAGINAS WEB DE INTERES:

www.agriculturadeprecision.org

www.agrimensoreschubtul.com.ar

www.cartesia.org

www.cartografia.cl

www.gabrielortiz.com

www.geosistemassrl.com.ar

www.ibge.gov.br

www.igac.com.co

www.mundogeo.com.br

www.topcon.es

www.topografiaglobal.com.ar

<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/data/daily/>

ANEXOS

1. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS

1.1 Receptor GPS Topcon Modelo Hiper GGD

Descripción	Antena/recetor GPS+ integrado de 40 canales.
Especificaciones de Rastreo	
Canales de Rastreo, estándar	40 L1 GPS (20 GPS L1+L2 en días cenicienta)
Canales de Rastreo, opcional	20 GPS L1+L2 (GD), GPS L1 + GLONASS (GG), 20 GPS L1 + L2+GLONASS (GGD)
Señales Rastreadas	L1/L2 C/A y Código P y Portadora GLONASS
Especificaciones de Desempeño	
Estático, Estático Rápido	H: 3mm + 0.5ppm V: 5mm + 0.5ppm
RTK	H: 10mm + 1ppm V: 15mm + 1ppm
Especificaciones de Energía	
Batería	Batería de Litio internas para operar hasta 14 horas (10 horas TX)
Entrada de energía externa	6 a 28 voltios DC
Consumo de energía	Menos de 4.2 watts
Especificaciones de la Antena GPS+	
Antena GPS/GLONASS	Integrada
Tipo de Antena	Microstrip
Ground Plane	Antena en ground plane
Especificaciones del Radio	
Tipo de Radio	Integrado UHF o GSM
Radio Modem Integrado UHF	Interno Rx
Modem GSM Integrado	Banda Dual 900/1800 MHz
I/O	
Puerto de Comunicaciones	2x serial (RS232), USB
Otras señales I/O	1pps, Marcador de Evento (opcional)
Indicador de estado	LEDs a color 4x3, 2 teclas de función MINTER
Unidad de Control y Pantalla	Controlador de Campo Externo FC-100
Memoria y Almacenamiento	
Memoria Interna	Hasta 128 MB
Velocidad de Actualización de los Datos	Hasta 20 veces por segundo (20Hz)
Tipo de Dato	Código y Portadora desde L1 y L2, GPS y GLONASS
Entrada/Salida de Datos	
Salida de datos en tiempo real	RTCM SC104 ver 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, CMR,
Salida ASCII	NMEA 0183 versión 3.0
Otras salidas	Formato TPS
Velocidad de Salida	Hasta 20 veces por segundo (20 Hz)
Especificaciones Ambientales	
Material	Extrusión de aluminio, impermeable
Temperatura de Operación	-30°C a 55°C
Dimensiones	W:159 x H:172 x D:88 mm
Peso	1.65 kg

1.2 Receptor GPS Topcon Modelo Hiper+

Descripción	Antena/recetor GPS+ integrado de 40 canales.
Especificaciones de Rastreo	
Canales de Rastreo, estándar	40 L1 GPS (20 GPS L1+L2 en días cenicienta)
Canales de Rastreo, opcional	20 GPS L1+L2 (GD), GPS L1 + GLONASS (GG), 20 GPS L1+L2+GLONASS (GGD)
Señales Rastreadas	L1/L2 C/A y Código P y Portadora GLONASS
Especificaciones de Desempeño	
Estático, Estático Rápido	H: 3mm + 0.5ppm V: 5mm + 0.5ppm
RTK	H: 10mm + 1ppm V: 15mm + 1ppm
Especificaciones de Energía	
Batería	Batería de Litio internas para operar hasta 14 horas (10 horas TX)
Entrada de energía externa	6 a 28 voltios DC
Consumo de energía	Menos de 4.2 watts
Especificaciones de la Antena GPS+	
Antena GPS/GLONASS	Integrada
Tipo de Antena	Antena Spread Spectrum Centrada
Ground Plane	Antena en ground plane
Especificaciones del Radio	
Modem SpSp de 915 MHz	Tx/Rx Interno
Salida de Energía	1.0W/0.25W
Comunicación inalámbrica*	
Comunicación	Bloetooth versión 1.1 comp.
I/O	
Puerto de Comunicaciones	4x serial (RS232), USB
Otras señales I/O	1pps, Marcador de Evento (opcional)
Indicador de estado	LEDs a color 4x3, dos teclas de función (MINTER)
Unidad de Control y Pantalla	Controlador de Campo Externo FC-100
Memoria y Almacenamiento	
Memoria Interna	Hasta 128 MB
Velocidad de Actualización de los Datos	Hasta 20 veces por segundo (20Hz)
Tipo de Dato	Código y Portadora desde L1 y L2, GPS y GLONASS
Entrada/Salida de Datos	
Salida de datos en tiempo real	RTCM SC104 ver 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, CMR, CMR+
Salida ASCII	NMEA 0183 versión 3.0
Otras salidas	Formato TPS
Velocidad de Salida	Hasta 20 veces por segundo (20 Hz)
Especificaciones Ambientales	
Material	Extrusión de aluminio, impermeable
Temperatura de Operación	-30°C a 55°C
Dimensiones	W:159 x H:172 x D:88 mm
Peso	1.65 kg

1.3 Colectora de Datos Topcon FC-100

Alimentación	
Baterías	Sistema recargable de ión litio 2200mAh / 7,4V
Capacidad de la batería	20-45 horas
Tiempo de carga	3 horas con cargador rápido
Características físicas	
Tipo de colector de datos	Controladora portátil
Dimensiones	255 x 130 x 61 mm
Peso	800 gramos (con baterías)
Condiciones ambientales	
Temp. de funcionamiento	-20 a +50 °C
Temp. de almacenamiento	-30 a +60 °C
Resistente al agua	66 IP
Caídas	Diseñado para aguantar una caída a una superficie dura desde una altura de 1,0 m
EMC	EN55022, EN55024
ESD	EN61000
Obligatorio	FCC Clase B, CE, CSA (Objetivo)
Externo	
Pantalla	Tipo transreflectiva TFT a color de 3,5 pulgadas QVGA (apaisado), dimensiones 240 x 320 píxeles
Retroiluminación	Retroiluminación por LED
Teclado	Diez teclas alfanuméricas, tecla de encendido, teclas del cursor, 56 teclas en total
Pantalla táctil	Pantalla táctil pasiva
Alimentación externa	En modo carga
Sonido	Altavoz integrado, micrófono hermético
Interfaz	
Serie	Serie RS-232C (D-sub 9), Serie RS-232C (6 pins para la estación total)
USB	Tipo B mini Ver1.1
Compact Flash	1 Tipo I/_ (Tarjeta de memoria y E/S)
Interno	
Microprocesador	Intel PXA255 Xscale
Velocidad de procesador	400 MHz
Sistema operativo	Windows CE.NET 4.2
Memoria	2 MV Eboot, 32 MB SDRAM, 128 MB (tarjeta CF incorporada) ROM
Retención de RAM	<20 segundos
Otros	
Accesorios	Batería_2 (BT-62Q), Cargador de batería (BC-30), conversor ca-cc (AD-9), manual, cinta para mano, cinta para cuello, estuche blando, lápiz Stylus, lámina de protección de pantalla_5, cable de interfaz (F-25)

2. RESEÑA FOTOGRÁFICA



Foto 1: Inicio de Tramo, salida del distrito de Sayán presenta una pendiente de 15%, Km 0+000.



Foto 2: La plataforma presenta ahuellamientos, Km. 4+400.

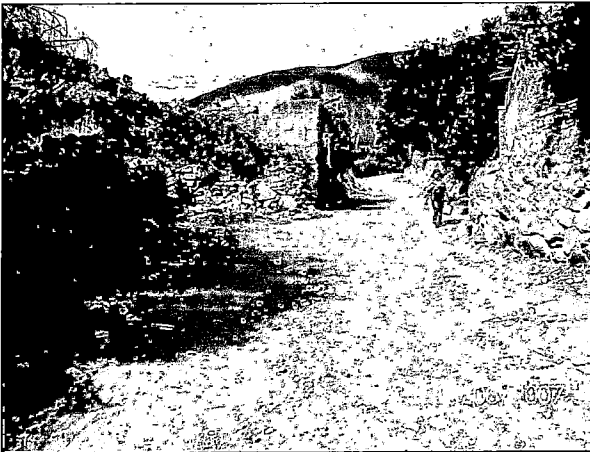


Foto 3: Alineamiento horizontal sinuoso, km 5+300.

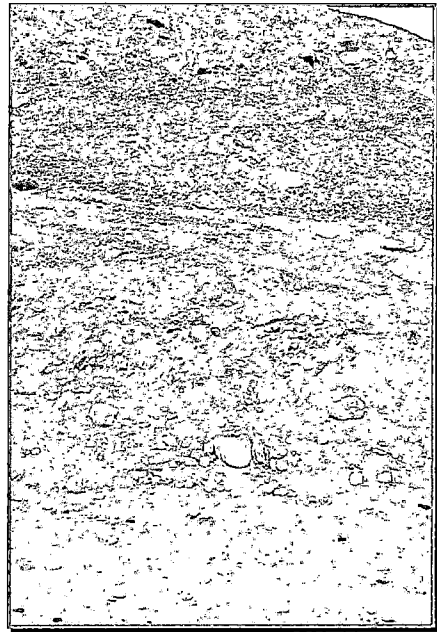


Foto 4: Talud conformado por cantos rodados, Km 0+040-0+330.



Foto 5: La carretera presenta una pendiente de 15%, Km 6+300



Foto 6: Se presentan zonas de cultivo en ambos lados de la carretera. Km. 3+500.



Foto 7: Se observan terrenos de cultivo a ambos lados de la carretera, los cuales están protegidos por muros de piedra. Km. 2+500.

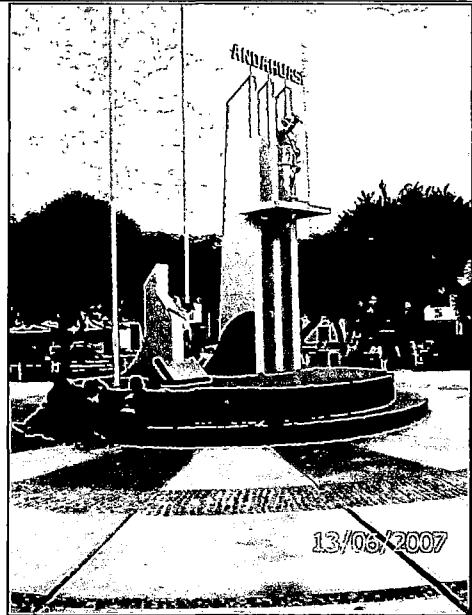


Foto 8: Ubicación del punto geodésico (IGN), en el poblado de Andahuasi.


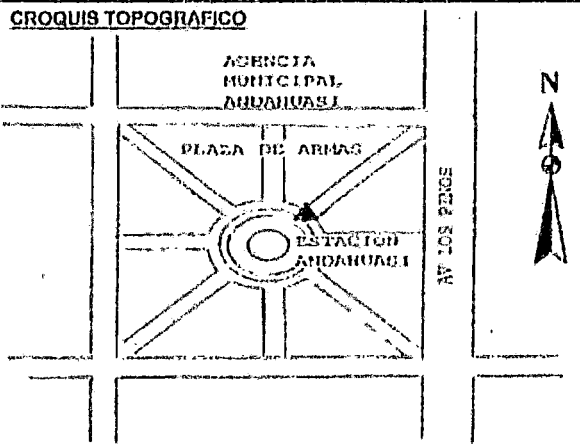
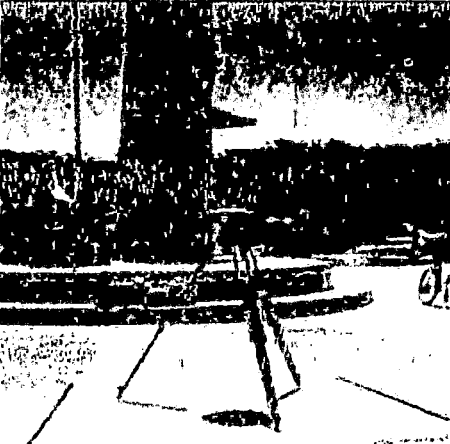


Foto 9: Centro Poblado de Acotama. Km. 16+000, Fin de Tramo.

3. CUADRO DE CLASIFICACION DE MATERIALES

PROGRESIVA	LA DO	% RF	% RS	% MS	TALUD	TALUD CORTE	DESCRIPCION
0+000-0+040	i	-	-	-	-	1:4	La carretera presenta una pendiente de 15%, la altura es de 693m.
0+040-0+340	l	-	30	70	25	1:4	Material aluvional, presencia de cantos rodados de un diámetro de 20-40cm. Sin clasificación
0+350-0+500	i	90	10	-	45	1:10	Macizo rocoso intrusivo meteorizado, cortado por pequeños diques de una roca intrusiva mas alterable. Se observa la presencia de grandes bloques rodados, debido a la intemperismo esferoidal.
0+500-1+120	i	80	10	10		1:8	macizo rocoso intrusivo (adamelita) alterado por meteorización esferoidal
1+120-1+450	i	80	20	-	45	1:8	macizo rocoso intrusivo mas competente(adamelita), martillo smith(indice de rebote:67-61-68)
1+450-1460	i-d	-	20	80	30	1:4	Zonas de cultivo a ambos márgenes de la carretera sobre los depósitos aluvionales y las terrazas fluviales.
1+460-5+400	i	-	40	60	20	1:4	material aluvional de quebrada , bloques sueltos afectados por meteorización esferoidal
5+410-5+420	i	80	10	10	45	1:8	Cambio litológico: transición de depósitos aluvionales a un macizo intrusivo (tonalita), esto se observa también por el cambio de pendiente la cual se ha vuelto más fuerte.
5+420-5+660	i	70	15	15	70	1:6	macizo rocoso intrusivo (tonalita) fracturado
5+660-5+820	i	85	10	5	45	1:10	Macizo rocoso alterado en la base (tonalita), encima roca fracturada (adamelita), zona crítica, desatar las rocasas sueltas.
5+820-6+300	i	90	5	5	80	1:10	Macizo rocoso alterado en la base (tonalita) presenta meteorización esferoidal, encima el macizo es mas competente pero esta regularmente fracturado (contacto horizontal), zona crítica.

4. DESCRIPCION DE LA ESTACION ANDAHUASI - IGN

 INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL DIRECCION DE GEODESIA DESCRIPCION DE ESTACION			
NOMBRE/ESTACION ANDAHUASI	NUMERO ANDA	LOCALIDAD ANDAHUASI	ESTABLECIDA POR: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL
UBICACIÓN: Plaza de Armas de la localidad Andahuasi.		CARACTERISTICAS: Disco de bronce de 0,09 m de diámetro.	
LATITUD (S) 11° 8' 50.08606"	LONGITUD (W) 77° 14' 39.69459"	ELEVACION 601.8541m (elipsoidal)	ORDEN C
NORTE (Y) 8766810.9137	ESTE (X) 254081.6308	ZONA UTM Y ESFEROIDAL 18	DATUM WGS-84
CROQUIS TOPOGRAFICO 			
DESCRIPCION: La Estación ANDAHUASI se encuentra localizado en el distrito Sayán, provincia Huaura, departamento Lima, situado en la plaza de armas del centro poblado Andahuasi, y es un disco de bronce de 9 cm de diámetro incrustado sobre la losa de concreto de la plaza de armas de la localidad antes mencionada. El disco de bronce lleva grabado la siguiente inscripción: <p style="text-align: center;">"ANDAHUASI"</p>			
ITINERARIO: Vía terrestre: Lima - Andahuasi en vehículo liviano por carretera asfaltada, por aproximadamente 04 horas de recorrido.			
REF: Hoja 23-i Huaral, Carta Nacional Esc: 1/100 000			
DESCRITA / RECUPERADA POR: G. Pérez S.		JEFE PROYECTO: Tte. J. Sáenz A.	REVISADO: CrI (R) J. Tasayco Del S.
			FECHA: Dic. 2001

5. CUADRO DE PERALTES SOBREALCHOS Y LONGITUD DE TRANSICION

CALCULO DE PERALTES, SOBREALCHOS Y LONGITUD DE TRANSICION															
Número de carriles =		2		Sobrealcho maximo =		1.2		Peralte máximo =		8					
Velocidad Directriz (km/h) =		30		Long. Eje Vehiculo =		7.3		friccion (f) =		0.17					
Ancho de Calzada (m) =		5.5		Nomenclatura Vehiculo Diseño		C2									
Bombeo (%) =		2.5		Vehiculo de Diseño		Camión simple 2 ejes									
CH ²	Sentido	Radio	PI	Tangente	PC	Longitud de Curva	PT	Sobrealcho	Peralte	Longitud Transición	Distancia Pc-Pt	% Curva Pc	Long. Trans. en Pc	% Curva Pt	Long. Trans. en Pt
0			0.000												
1	I	35	39.061	9.875	29.206	19.249	48.455	1.2	8.0	10	29.2	45	10	45	10
2	D	105	79.270	18.850	60.420	37.304	97.724	0.8	6.0	10	12.0	50	10	50	10
3	D	200	183.368	31.269	152.099	62.037	214.136	0.5	3.0	10	54.4	50	10	50	10
4	I	42	333.035	20.926	312.109	38.829	350.938	1.2	8.0	19	96.0	50	19	50	19
5	D	40	411.189	10.733	400.456	20.971	421.427	1.2	8.0	10	49.5	50	10	50	10
6	I	120	456.610	10.156	448.454	20.263	468.717	0.7	5.0	10	27.0	50	10	50	10
7	D	110	531.882	10.307	521.575	20.553	542.128	0.8	6.0	12	52.9	30	12	30	12
8	I	45	572.894	10.512	562.382	20.654	583.036	1.2	8.0	12	20.3	30	12	30	12
9	D	93	620.228	10.429	609.799	20.772	630.571	0.9	7.0	17	28.8	30	17	30	17
10	I	175	711.669	43.777	667.892	65.793	753.685	0.5	3.0	10	37.3	50	10	50	10
11	D	51	816.651	10.285	806.366	20.297	826.663	1.2	8.0	10	52.7	50	10	50	10
12	I	36	848.539	10.430	838.109	20.303	858.412	1.2	8.0	10	11.4	50	10	50	10
13	D	49	933.708	10.161	923.547	20.038	943.585	1.2	8.0	17	65.1	30	17	30	17
14	I	82	1021.295	9.556	1011.739	19.027	1030.766	1.0	8.0	10	68.2	50	10	50	10
15	D	50	1057.052	10.082	1046.980	19.897	1066.877	1.2	8.0	10	16.2	50	10	50	10
16	D	184	1108.989	16.062	1092.927	32.043	1124.970	0.5	3.0	10	26.1	50	10	50	10
17	I	50	1199.287	22.596	1176.691	42.445	1219.136	1.2	8.0	19	51.7	50	19	50	19
18	I	45	1286.045	10.281	1275.764	20.215	1295.979	1.2	8.0	17	56.6	30	17	30	17
19	D	68	1355.984	10.014	1345.970	19.886	1365.956	1.1	8.0	17	50.0	30	17	30	17
20	D	59	1421.836	13.347	1408.489	26.253	1434.742	1.2	8.0	17	42.6	30	17	30	17
21	D	0	1514.269	0.000	1514.269	0.000	1514.269	0.0	0.0	0	79.5	50	0	50	0
22	I	270	1654.744	9.999	1644.745	19.999	1664.734	0.4	3.0	10	130.5	50	10	50	10
23	D	56	1730.566	10.068	1720.500	19.922	1740.422	1.2	8.0	19	55.8	30	19	30	19
24	D	28	1810.166	20.460	1789.706	35.338	1825.044	1.2	8.0	14	49.3	40	14	40	14
25	I	36	1852.303	10.448	1841.855	20.337	1862.192	1.2	8.0	14	16.6	40	14	40	14
26	D	380	1976.522	10.098	1966.424	20.191	1986.615	0.3	3.0	10	104.2	50	10	50	10
27	I	550	2032.363	10.134	2022.229	20.265	2042.494	0.0	3.0	10	35.6	50	10	50	10
28	I	100	2119.705	18.722	2100.963	37.015	2137.998	0.8	6.0	16	58.5	50	16	50	16
29	I	45	2181.206	22.075	2159.131	41.046	2200.177	1.2	8.0	19	21.1	50	19	50	19
30	D	100	2265.889	18.053	2247.836	35.721	2283.557	0.8	6.0	16	47.7	30	16	100	16
31	I	269.412	2302.128	18.570	2283.558	37.081	2320.639	0.4	3.0	10	0.0	100	10	30	10
32	I	225	2398.941	14.818	2384.123	29.594	2413.717	0.4	3.0	10	63.5	50	10	50	10
33	D	460	2460.086	36.450	2443.636	72.747	2516.363	0.3	3.0	10	29.9	50	10	50	10
34	I	200	2622.221	34.776	2587.445	68.863	2656.308	0.5	3.0	10	71.1	50	10	50	10
35	I	68	2737.191	10.186	2727.005	20.222	2747.227	1.1	8.0	19	70.7	30	19	30	19
36	I	200	2817.733	9.194	2808.539	18.374	2826.913	0.5	3.0	10	61.3	50	10	50	10
37	D	23	2868.117	10.913	2877.204	20.379	2897.563	1.2	8.0	19	50.3	30	19	30	19
38	D	30	2978.938	11.012	2967.926	21.108	2989.034	1.2	8.0	19	70.3	30	19	30	19
39	I	466	3062.415	30.645	3031.770	61.203	3082.973	0.3	3.0	10	42.7	50	10	50	10
40	I	85	3119.095	16.052	3103.043	31.731	3134.774	1.0	8.0	10	10.1	50	10	50	10
41	D	350	3177.832	20.036	3157.796	40.029	3197.825	0.3	3.0	10	23.0	50	10	50	10
42	I	150	3247.934	32.705	3215.229	64.403	3279.632	0.6	4.0	12	17.4	50	12	50	12
43	D	76.41	3318.117	13.829	3304.288	27.361	3331.649	1.0	8.0	10	24.7	50	10	100	10

CALCULO DE PERALTES, SOBREALCHOS Y LONGITUD DE TRANSICION

		Número de carriles =		2		Sobrancho maximo =		1.2		Peralte máximo =		8			
		Velocidad Directriz (km/h) =		30		Long. Eje Vehiculo =		7.3		friccion (f) =		0.17			
		Ancho de Calzada (m) =		5.5		Nomenclatura Vehiculo Diseño		C2							
		Bombeo (%) =		2.5		Vehiculo de Diseño		Camión simple 2 ejes							
CNº	Sentido	Radio	PI	Tangente	PC	Longitud de Curva	PT	Sobrancho	Peralte	Longitud Transición	Distancia Pc-Pt	% Curva Pc	Long. Trans. en Pc	% Curva Pt	Long. Trans. en Pt
44	I	90	3341.621	10.170	3331.651	20.254	3351.905	0.9	7.0	10	0.0	100	10	50	10
45	D	110	3376.649	13.214	3363.435	26.302	3369.737	0.6	6.0	10	11.5	50	10	50	10
46	I	95	3415.905	15.389	3400.516	30.513	3431.029	0.9	7.0	10	10.8	50	10	50	10
47	D	1000	3490.487	35.182	3454.305	72.333	3526.638	0.0	3.0	10	23.3	50	10	50	10
48	I	55	3555.396	10.256	3545.140	20.264	3565.424	1.2	8.0	10	18.5	50	10	50	10
49	D	70	3601.701	22.274	3579.427	43.131	3622.558	1.1	8.0	10	14.0	50	10	50	10
50	I	365	3664.947	19.102	3645.845	38.170	3684.015	0.3	3.0	10	23.3	50	10	50	0
51	I	355.92	3713.216	29.201	3664.015	58.272	3742.287	0.3	3.0	10	0.0	50	0	50	10
52	I	500	3819.208	18.419	3800.789	36.821	3837.610	0.0	3.0	10	58.5	50	10	50	10
53	I	45	3933.955	9.886	3924.069	19.463	3943.532	1.2	8.0	10	86.5	50	10	50	10
54	I	85	3970.197	15.681	3954.516	31.014	3985.530	1.0	8.0	10	11.0	50	10	50	10
55	D	16	4022.906	12.172	4010.734	20.811	4031.545	1.2	6.0	18	25.2	30	18	30	18
56	I	85	4059.693	16.493	4053.200	32.304	4085.504	1.2	6.0	18	21.7	50	18	50	18
57	I	100	4126.725	23.363	4103.362	45.902	4149.264	0.8	6.0	16	17.9	50	16	50	16
58	D	270	4210.013	13.815	4196.196	27.607	4223.805	0.4	3.0	10	46.9	50	10	50	10
59	I	500	4266.239	14.597	4251.642	29.185	4280.827	0.0	3.0	10	27.8	50	10	50	10
60	D	95	4321.151	10.132	4311.019	20.187	4331.206	0.9	7.0	17	30.2	30	17	30	17
61	D	80	4377.375	10.647	4366.728	21.169	4387.897	1.0	8.0	19	35.5	30	19	30	19
62	I	90	4500.278	15.579	4484.699	30.853	4515.552	0.9	7.0	17	96.8	50	17	50	17
63	D	45	4554.167	10.267	4543.860	20.226	4564.106	1.2	6.0	19	28.3	30	19	30	19
64	I	60	4630.582	10.160	4620.392	20.129	4640.521	1.2	6.0	16	56.3	30	16	30	16
65	D	300	4665.233	27.163	4658.070	54.178	4712.248	0.4	3.0	10	17.5	50	10	50	10
66	D	36	4765.076	10.204	4754.872	19.886	4774.758	1.2	8.0	10	42.6	50	10	50	10
67	I	46	4801.886	10.048	4791.838	19.786	4811.624	1.2	8.0	10	17.1	50	10	50	10
68	I	175	4927.765	16.761	4911.004	33.420	4944.424	0.5	3.0	10	99.4	50	10	50	10
69	D	70	4983.469	10.559	4972.930	20.950	4993.890	1.1	6.0	10	26.5	50	10	50	10
70	I	120	5019.842	11.411	5008.431	22.753	5031.184	0.7	5.0	10	14.5	50	10	50	10
71	D	150	5055.675	13.592	5042.083	27.111	5069.194	0.6	4.0	10	10.9	50	10	50	10
72	I	450	5136.925	26.060	5108.885	56.047	5164.912	0.3	6.0	16	39.7	50	16	50	0
73	I	99.04	5178.404	13.491	5164.913	26.817	5191.730	0.8	6.0	16	0.0	50	0	50	16
74	J	110	5240.145	9.801	5230.344	19.551	5249.895	0.8	6.0	16	38.6	30	16	30	16
75	D	60	5322.477	30.731	5291.746	56.802	5348.548	1.2	8.0	19	41.9	50	19	50	19
76	I	250	5404.432	33.561	5370.871	66.723	5437.594	0.4	3.0	10	22.3	50	10	50	10
77	D	304.19	5502.906	32.046	5470.860	63.857	5534.717	0.3	3.0	10	33.3	50	10	100	10
78	I	85	5553.119	18.401	5534.718	36.244	5570.962	1.0	8.0	10	0.0	100	10	100	10
79	D	156.22	5588.695	17.734	5570.961	35.317	5606.278	0.6	4.0	10	0.0	100	10	30	10
80	I	90	5705.136	16.764	5688.372	33.148	5721.520	0.9	7.0	17	82.1	50	17	50	17
81	D	40	5751.980	10.606	5741.372	20.736	5762.110	1.2	8.0	15	19.9	30	15	30	15
82	I	75	5832.635	34.173	5798.462	64.130	5862.592	1.1	8.0	19	36.4	50	19	50	19
83	I	42	5913.372	10.117	5903.255	19.855	5923.110	1.2	8.0	10	40.7	20	10	100	10
84	D	74.7	5934.577	11.466	5923.111	22.754	5945.865	1.1	6.0	10	0.0	100	10	20	10
85	D	156	5988.662	8.688	5979.974	17.357	5997.331	0.6	4.0	12	34.1	30	12	30	12
86	D	173	6041.940	11.234	6030.708	22.436	6053.142	0.5	3.0	10	33.4	50	10	50	10
87	D	130	6148.270	22.806	6125.464	45.152	6170.616	0.7	5.0	14	72.3	50	14	50	14

6. CUADRO DE METRADOS DE EXPLANACIONES

Estaca	AREAS (m ²)		Distancia (m)	VOLUMEN CORTE (m ³)				VOL. RELLENO (m ³)	
	Corte	Relleno		Total Corte	Material Suelto	Roca Suelta	Roca Fija	Total Relleno	Relleno Propio
0+000	1.03	0.00							
0+020	2.94	0.00	20	14.70	14.70	0.00	0.00	0.00	0.00
0+040	1.51	0.55	20	44.50	44.50	0.00	0.00	2.75	2.75
0+060	0.00	6.62	20	7.55	5.29	2.27	0.00	71.70	6.80
0+080	4.82	0.62	20	24.10	16.87	7.23	0.00	72.40	21.69
0+100	1.88	0.63	20	67.00	46.90	20.10	0.00	12.50	12.50
0+120	1.76	0.28	20	36.40	25.48	10.92	0.00	9.10	9.10
0+140	0.76	0.33	20	25.20	17.64	7.56	0.00	6.10	6.10
0+160	1.92	0.00	20	26.80	18.76	8.04	0.00	1.65	1.65
0+180	0.73	1.06	20	26.50	18.55	7.95	0.00	5.30	5.30
0+200	0.77	0.40	20	15.00	10.50	4.50	0.00	14.60	13.50
0+220	1.63	0.22	20	24.00	16.80	7.20	0.00	6.20	6.20
0+240	1.33	0.03	20	29.60	20.72	8.88	0.00	2.50	2.50
0+260	3.01	0.00	20	43.40	30.38	13.02	0.00	0.15	0.15
0+280	3.22	0.00	20	62.30	43.61	18.69	0.00	0.00	0.00
0+300	0.36	0.60	20	35.80	25.06	10.74	0.00	3.00	3.00
0+320	0.00	1.60	20	1.80	1.26	0.54	0.00	22.00	1.62
0+340	0.37	2.24	20	1.85	1.30	0.56	0.00	38.40	1.67
0+360	0.37	0.13	20	7.40	0.00	0.74	6.66	23.70	6.66
0+380	1.13	0.04	20	15.00	0.00	1.50	13.50	1.70	1.70
0+400	0.52	0.00	20	16.50	0.00	1.65	14.85	0.20	0.20
0+420	0.99	0.04	20	15.10	0.00	1.51	13.59	0.20	0.20
0+440	1.53	0.00	20	25.20	0.00	2.52	22.68	0.20	0.20
0+460	0.94	0.59	20	24.70	0.00	2.47	22.23	2.95	2.95
0+480	2.92	0.00	20	38.60	0.00	3.86	34.74	2.95	2.95
0+500	2.82	0.11	20	57.40	5.74	5.74	45.92	0.55	0.55
0+520	0.71	0.59	20	35.30	3.53	3.53	28.24	7.00	7.00
0+540	0.52	0.60	20	12.30	1.23	1.23	9.84	11.90	11.07
0+560	0.95	0.36	20	14.70	1.47	1.47	11.76	9.60	9.60
0+580	1.08	1.21	20	20.30	2.03	2.03	16.24	15.70	15.70
0+600	0.00	0.46	20	5.40	0.54	0.54	4.32	16.70	4.86
0+620	0.64	0.38	20	3.20	0.32	0.32	2.56	8.40	2.88
0+640	1.53	0.04	20	21.70	2.17	2.17	17.36	4.20	4.20
0+660	1.19	0.00	20	27.20	2.72	2.72	21.76	0.20	0.20
0+680	0.00	0.20	20	5.95	0.60	0.60	4.76	1.00	1.00
0+700	0.00	0.69	20	0.00	0.00	0.00	0.00	8.90	0.00
0+720	0.14	0.74	20	0.70	0.07	0.07	0.56	14.30	0.63
0+740	0.33	0.24	20	4.70	0.47	0.47	3.76	9.80	4.23
0+760	1.34	0.38	20	16.70	1.67	1.67	13.36	6.20	6.20
0+780	1.80	0.00	20	31.40	3.14	3.14	25.12	1.90	1.90
0+800	2.95	0.00	20	47.50	4.75	4.75	38.00	0.00	0.00
0+820	3.36	0.14	20	63.10	6.31	6.31	50.48	0.70	0.70
0+840	4.02	0.00	20	73.80	7.38	7.38	59.04	0.70	0.70
0+860	0.00	0.92	20	20.10	2.01	2.01	16.08	4.60	4.60
0+880	0.29	0.76	20	1.45	0.15	0.15	1.16	16.80	1.31
0+900	0.54	0.04	20	8.30	0.83	0.83	6.64	8.00	7.47
0+920	0.01	0.23	20	5.50	0.55	0.55	4.40	2.70	2.70
0+940	1.15	0.00	20	11.60	1.16	1.16	9.28	1.15	1.15
0+960	1.68	0.09	20	28.30	2.83	2.83	22.64	0.45	0.45
0+980	1.08	0.00	20	27.60	2.76	2.76	22.08	0.45	0.45
1+000	0.39	0.47	20	14.70	1.47	1.47	11.76	2.35	2.35
				1187.90	414.20	198.33	575.37	454.50	201.28

Estaca	AREAS (m ²)		Distancia (m)	VOLUMEN CORTE (m ³)				VOL. RELLENO (m ³)	
	Corte	Relleno		Total Corte	Material Suelto	Roca Suelta	Roca Fija	Total Relleno	Relleno Propio
1+020	2.97	1.58	20	33.60	3.36	3.36	26.88	20.50	20.50
1+040	0.25	0.36	20	32.20	3.22	3.22	25.76	19.40	19.40
1+060	3.58	1.21	20	38.30	3.83	3.83	30.64	15.70	15.70
1+080	0.82	1.46	20	44.00	4.40	4.40	35.20	26.70	26.70
1+100	0.93	0.41	20	17.50	1.75	1.75	14.00	18.70	15.75
1+120	4.60	0.15	20	55.30	0.00	11.06	44.24	5.60	5.60
1+140	1.74	0.09	20	63.40	0.00	12.68	50.72	2.40	2.40
1+160	0.05	0.38	20	17.90	0.00	3.58	14.32	4.70	4.70
1+180	0.23	0.30	20	2.80	0.00	0.56	2.24	6.80	2.52
1+200	1.64	1.04	20	18.70	0.00	3.74	14.96	13.40	13.40
1+220	2.06	0.00	20	37.00	0.00	7.40	29.60	5.20	5.20
1+240	1.74	0.02	20	38.00	0.00	7.60	30.40	0.10	0.10
1+260	0.72	0.25	20	24.60	0.00	4.92	19.68	2.70	2.70
1+280	8.23	0.45	20	89.50	0.00	17.90	71.60	7.00	7.00
1+300	0.19	0.83	20	84.20	0.00	16.84	67.36	12.80	12.80
1+320	0.63	0.01	20	8.20	0.00	1.64	6.56	8.40	7.38
1+340	0.97	0.00	20	16.00	0.00	3.20	12.80	0.05	0.05
1+360	0.65	0.31	20	16.20	0.00	3.24	12.96	1.55	1.55
1+380	0.42	0.85	20	10.70	0.00	2.14	8.56	11.60	9.63
1+400	0.00	0.67	20	2.10	0.00	0.42	1.68	15.20	1.89
1+420	7.23	0.01	20	36.15	0.00	7.23	28.92	6.80	6.80
1+440	4.31	0.29	20	115.40	0.00	23.08	92.32	3.00	3.00
1+460	0.66	0.01	20	49.70	29.82	19.88	0.00	3.00	3.00
1+480	0.00	1.43	20	3.30	1.98	1.32	0.00	14.40	2.97
1+500	1.23	0.45	20	6.15	3.69	2.46	0.00	18.80	5.54
1+520	1.20	0.14	20	24.30	14.58	9.72	0.00	5.90	5.90
1+540	0.67	0.86	20	18.70	11.22	7.48	0.00	10.00	10.00
1+560	1.19	1.81	20	18.60	11.16	7.44	0.00	26.70	16.74
1+580	1.85	0.13	20	30.40	18.24	12.16	0.00	19.40	19.40
1+600	1.73	0.32	20	35.80	21.48	14.32	0.00	4.50	4.50
1+620	2.09	0.72	20	38.20	22.92	15.28	0.00	10.40	10.40
1+640	1.25	0.59	20	33.40	20.04	13.36	0.00	13.10	13.10
1+660	1.55	0.40	20	28.00	16.80	11.20	0.00	9.90	9.90
1+680	0.92	0.00	20	24.70	14.82	9.88	0.00	2.00	2.00
1+700	0.50	0.15	20	14.20	8.52	5.68	0.00	0.75	0.75
1+720	0.69	1.48	20	11.90	7.14	4.76	0.00	16.30	10.71
1+740	0.00	2.44	20	3.45	2.07	1.38	0.00	39.20	3.11
1+760	1.63	0.00	20	8.15	4.89	3.26	0.00	12.20	7.34
1+780	0.17	0.75	20	18.00	10.80	7.20	0.00	3.75	3.75
1+800	0.00	3.30	20	0.85	0.51	0.34	0.00	40.50	0.77
1+820	0.85	0.18	20	4.25	2.55	1.70	0.00	34.80	3.83
1+840	0.10	1.10	20	9.50	5.70	3.80	0.00	12.80	8.55
1+860	0.59	0.38	20	6.90	4.14	2.76	0.00	14.80	6.21
1+880	1.70	0.23	20	22.90	13.74	9.16	0.00	6.10	6.10
1+900	3.23	0.00	20	49.30	29.58	19.72	0.00	1.15	1.15
1+920	1.16	1.08	20	43.90	26.34	17.56	0.00	5.40	5.40
1+940	3.28	0.53	20	44.40	26.64	17.76	0.00	16.10	16.10
1+960	0.86	0.57	20	41.40	24.84	16.56	0.00	11.00	11.00
1+980	2.66	1.80	20	35.20	21.12	14.08	0.00	23.70	23.70
2+000	0.83	0.22	20	34.90	20.94	13.96	0.00	20.20	20.20
				1462.20	412.83	407.97	641.40	605.15	416.87

Estaca	AREAS (m ²)		Distancia (m)	VOLUMEN CORTE (m ³)				VOL. RELLENO (m ³)	
	Corte	Relleno		Total Corte	Material Suelto	Roca Suelta	Roca Fija	Total Relleno	Relleno Propio
2+020	2.31	0.01	20	31.40	18.84	12.56	0.00	2.30	2.30
2+040	2.94	2.86	20	52.50	31.50	21.00	0.00	28.70	28.70
2+060	1.85	0.00	20	47.90	28.74	19.16	0.00	14.30	14.30
2+080	0.04	1.74	20	18.90	11.34	7.56	0.00	8.70	8.70
2+100	0.00	0.24	20	0.20	0.12	0.08	0.00	19.80	0.18
2+120	2.76	0.57	20	13.80	8.28	5.52	0.00	8.10	8.10
2+140	3.65	0.17	20	64.10	38.46	25.64	0.00	7.40	7.40
2+160	4.79	0.25	20	84.40	50.64	33.76	0.00	4.20	4.20
2+180	0.21	0.02	20	50.00	30.00	20.00	0.00	2.70	2.70
2+200	0.11	0.83	20	3.20	1.92	1.28	0.00	8.50	2.88
2+220	2.02	0.46	20	21.30	12.78	8.52	0.00	12.90	12.90
2+240	2.53	0.00	20	45.50	27.30	18.20	0.00	2.30	2.30
2+260	1.42	0.30	20	39.50	23.70	15.80	0.00	1.50	1.50
2+280	2.50	0.78	20	39.20	23.52	15.68	0.00	10.80	10.80
2+300	4.84	0.90	20	73.40	44.04	29.36	0.00	16.80	16.80
2+320	5.57	0.71	20	104.10	62.46	41.64	0.00	16.10	16.10
2+340	5.33	0.02	20	109.00	65.40	43.60	0.00	7.30	7.30
2+360	6.10	0.00	20	114.30	68.58	45.72	0.00	0.10	0.10
2+380	3.40	0.03	20	95.00	57.00	38.00	0.00	0.15	0.15
2+400	1.65	0.22	20	50.50	30.30	20.20	0.00	2.50	2.50
2+420	1.41	0.63	20	30.60	18.36	12.24	0.00	8.50	8.50
2+440	0.42	2.44	20	18.30	10.98	7.32	0.00	30.70	16.47
2+460	0.19	0.85	20	6.10	3.66	2.44	0.00	32.90	5.49
2+480	0.00	3.05	20	0.95	0.57	0.38	0.00	39.00	0.86
2+500	0.60	0.14	20	3.00	1.80	1.20	0.00	31.90	2.70
2+520	0.56	0.48	20	11.60	6.96	4.64	0.00	6.20	6.20
2+540	1.12	0.32	20	16.80	10.08	6.72	0.00	8.00	8.00
2+560	0.63	0.46	20	17.50	10.50	7.00	0.00	7.80	7.80
2+580	0.00	1.14	20	3.15	1.89	1.26	0.00	16.00	2.84
2+600	0.30	0.80	20	1.50	0.90	0.60	0.00	19.40	1.35
2+620	4.99	0.00	20	52.90	31.74	21.16	0.00	4.00	4.00
2+640	3.98	0.38	20	89.70	53.82	35.88	0.00	1.90	1.90
2+660	1.35	0.70	20	53.30	31.98	21.32	0.00	10.80	10.80
2+680	0.41	0.19	20	17.60	10.56	7.04	0.00	8.90	8.90
2+700	0.83	0.37	20	12.40	7.44	4.96	0.00	5.60	5.60
2+720	0.67	1.19	20	15.00	9.00	6.00	0.00	15.60	13.50
2+740	0.18	1.58	20	8.50	5.10	3.40	0.00	27.70	7.65
2+760	1.73	0.00	20	19.10	11.46	7.64	0.00	7.90	7.90
2+780	2.63	0.01	20	43.60	26.16	17.44	0.00	0.05	0.05
2+800	1.25	0.00	20	38.80	23.28	15.52	0.00	0.05	0.05
2+820	1.80	0.46	20	30.50	18.30	12.20	0.00	2.30	2.30
2+840	0.36	0.79	20	21.60	12.96	8.64	0.00	12.50	12.50
2+860	0.00	1.41	20	1.80	1.08	0.72	0.00	22.00	1.62
2+880	4.80	0.00	20	24.00	14.40	9.60	0.00	7.05	7.05
2+900	0.32	1.61	20	51.20	30.72	20.48	0.00	8.05	8.05
2+920	0.00	2.46	20	1.60	0.96	0.64	0.00	40.70	1.44
2+940	0.00	0.86	20	0.00	0.00	0.00	0.00	33.20	0.00
2+960	0.00	0.91	20	0.00	0.00	0.00	0.00	17.70	0.00
2+980	0.36	0.16	20	1.80	1.08	0.72	0.00	10.70	1.62
3+000	1.00	0.09	20	13.60	8.16	5.44	0.00	2.50	2.50
				1664.70	998.82	665.88	0.00	614.75	307.54

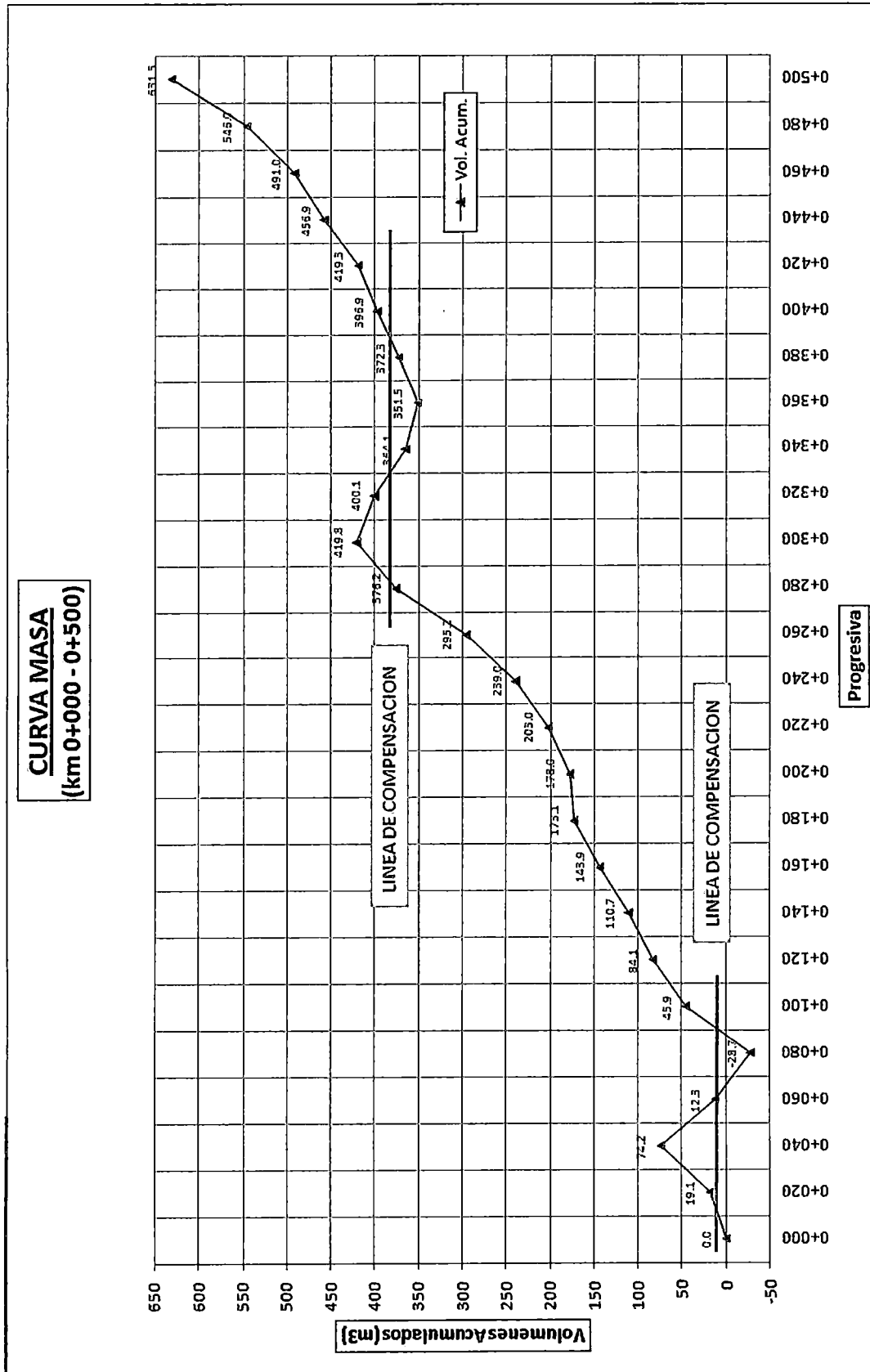
Estaca	AREAS (m ²)		Distancia (m)	VOLUMEN CORTE (m ³)				VOL. RELLENO (m ³)	
	Corte	Relleno		Total Corte	Material Suelto	Roca Suelta	Roca Fija	Total Relleno	Relleno Propio
3+020	0.81	0.28	20	18.10	10.86	7.24	0.00	3.70	3.70
3+040	0.43	0.90	20	12.40	7.44	4.96	0.00	11.80	11.16
3+060	0.24	1.15	20	6.70	4.02	2.68	0.00	20.50	6.03
3+080	1.37	0.89	20	16.10	9.66	6.44	0.00	20.40	14.49
3+100	1.59	0.71	20	29.60	17.76	11.84	0.00	16.00	16.00
3+120	3.44	0.28	20	50.30	30.18	20.12	0.00	9.90	9.90
3+140	2.68	0.57	20	61.20	36.72	24.48	0.00	8.50	8.50
3+160	1.31	0.95	20	39.90	23.94	15.96	0.00	15.20	15.20
3+180	1.31	1.23	20	26.20	15.72	10.48	0.00	21.80	21.80
3+200	2.27	0.37	20	35.80	21.48	14.32	0.00	16.00	16.00
3+220	2.52	0.50	20	47.90	28.74	19.16	0.00	8.70	8.70
3+240	2.40	0.75	20	49.20	29.52	19.68	0.00	12.50	12.50
3+260	3.21	1.15	20	56.10	33.66	22.44	0.00	19.00	19.00
3+280	2.15	1.17	20	53.60	32.16	21.44	0.00	23.20	23.20
3+300	2.87	0.50	20	50.20	30.12	20.08	0.00	16.70	16.70
3+320	2.68	0.92	20	55.50	33.30	22.20	0.00	14.20	14.20
3+340	1.13	0.20	20	38.10	22.86	15.24	0.00	11.20	11.20
3+360	2.72	0.28	20	38.50	23.10	15.40	0.00	4.80	4.80
3+380	4.85	0.33	20	75.70	45.42	30.28	0.00	6.10	6.10
3+400	1.46	0.00	20	63.10	37.86	25.24	0.00	1.65	1.65
3+420	3.84	1.36	20	53.00	31.80	21.20	0.00	6.80	6.80
3+440	0.74	0.09	20	45.80	27.48	18.32	0.00	14.50	14.50
3+460	1.00	1.43	20	17.40	10.44	6.96	0.00	15.20	15.20
3+480	0.00	1.43	20	5.00	3.00	2.00	0.00	28.60	4.50
3+500	0.00	2.27	20	0.00	0.00	0.00	0.00	37.00	0.00
3+520	0.00	1.06	20	0.00	0.00	0.00	0.00	33.30	0.00
3+540	1.51	0.45	20	7.55	4.53	3.02	0.00	15.10	6.80
3+560	2.50	1.81	20	40.10	24.06	16.04	0.00	22.60	22.60
3+580	0.00	1.01	20	12.50	7.50	5.00	0.00	28.20	11.25
3+600	0.02	0.86	20	0.10	0.06	0.04	0.00	18.70	0.09
3+620	0.31	0.98	20	3.30	1.98	1.32	0.00	18.40	2.97
3+640	0.42	0.53	20	7.30	4.38	2.92	0.00	15.10	6.57
3+660	0.06	0.28	20	4.80	2.88	1.92	0.00	8.10	4.32
3+680	1.14	0.90	20	12.00	7.20	4.80	0.00	11.80	10.80
3+700	1.16	0.94	20	23.00	13.80	9.20	0.00	18.40	18.40
3+720	1.48	1.95	20	26.40	15.84	10.56	0.00	28.90	23.76
3+740	0.00	1.65	20	7.40	4.44	2.96	0.00	36.00	6.66
3+760	0.00	1.17	20	0.00	0.00	0.00	0.00	28.20	0.00
3+780	1.00	0.00	20	5.00	3.00	2.00	0.00	5.85	4.50
3+800	2.38	0.00	20	33.80	20.28	13.52	0.00	0.00	0.00
3+820	3.93	0.00	20	63.10	37.86	25.24	0.00	0.00	0.00
3+840	0.00	1.63	20	19.65	11.79	7.86	0.00	8.15	8.15
3+860	0.19	0.29	20	0.95	0.57	0.38	0.00	19.20	0.86
3+880	0.00	1.97	20	0.95	0.57	0.38	0.00	22.60	0.86
3+900	0.41	1.14	20	2.05	1.23	0.82	0.00	31.10	1.85
3+920	4.52	0.20	20	49.30	29.58	19.72	0.00	13.40	13.40
3+940	6.36	2.62	20	108.80	65.28	43.52	0.00	28.20	28.20
3+960	1.41	5.47	20	77.70	46.62	31.08	0.00	80.90	69.93
3+980	0.82	3.42	20	22.30	13.38	8.92	0.00	88.90	20.07
4+000	0.00	10.72	20	4.10	2.46	1.64	0.00	141.40	3.69
				1477.55	886.53	591.02	0.00	1086.45	547.54

Estaca	AREAS (m ²)		Distancia (m)	VOLUMEN CORTE (m ³)				VOL. RELLENO (m ³)	
	Corte	Relleno		Total Corte	Material Suelto	Roca Suelta	Roca Fija	Total Relleno	Relleno Propio
4+020	0.00	13.11	20	0.00	0.00	0.00	0.00	238.30	0.00
4+040	2.53	0.57	20	12.65	7.59	5.06	0.00	136.80	11.39
4+060	3.78	4.27	20	63.10	37.86	25.24	0.00	48.40	48.40
4+080	5.17	2.97	20	89.50	53.70	35.80	0.00	72.40	72.40
4+100	1.81	3.43	20	69.80	41.88	27.92	0.00	64.00	62.82
4+120	4.18	3.29	20	59.90	35.94	23.96	0.00	67.20	53.91
4+140	2.53	1.35	20	67.10	40.26	26.84	0.00	46.40	46.40
4+160	2.27	0.77	20	48.00	28.80	19.20	0.00	21.20	21.20
4+180	0.95	0.71	20	32.20	19.32	12.88	0.00	14.80	14.80
4+200	0.00	2.49	20	4.75	2.85	1.90	0.00	32.00	4.28
4+220	0.06	2.10	20	0.30	0.18	0.12	0.00	45.90	0.27
4+240	0.00	1.33	20	0.30	0.18	0.12	0.00	34.30	0.27
4+260	1.46	3.50	20	7.30	4.38	2.92	0.00	48.30	6.57
4+280	1.82	3.07	20	32.80	19.68	13.12	0.00	65.70	29.52
4+300	1.43	0.42	20	32.50	19.50	13.00	0.00	34.90	29.25
4+320	2.90	1.84	20	43.30	25.98	17.32	0.00	22.60	22.60
4+340	1.62	0.00	20	45.20	27.12	18.08	0.00	9.20	9.20
4+360	2.71	0.09	20	43.30	25.98	17.32	0.00	0.45	0.45
4+380	0.00	2.59	20	13.55	8.13	5.42	0.00	26.80	12.20
4+400	0.08	0.43	20	0.40	0.24	0.16	0.00	30.20	0.36
4+420	0.80	0.39	20	8.80	5.28	3.52	0.00	8.20	7.92
4+440	0.97	0.41	20	17.70	10.62	7.08	0.00	8.00	8.00
4+460	1.86	0.01	20	28.30	16.98	11.32	0.00	4.20	4.20
4+480	0.42	2.21	20	22.80	13.68	9.12	0.00	22.20	20.52
4+500	0.00	4.90	20	2.10	1.26	0.84	0.00	71.10	1.89
4+520	0.00	2.28	20	0.00	0.00	0.00	0.00	71.80	0.00
4+540	0.00	1.60	20	0.00	0.00	0.00	0.00	38.80	0.00
4+560	2.03	0.71	20	10.15	6.09	4.06	0.00	23.10	9.14
4+580	2.81	0.02	20	48.40	29.04	19.36	0.00	7.30	7.30
4+600	4.33	0.00	20	71.40	42.84	28.56	0.00	0.10	0.10
4+620	3.00	0.00	20	73.30	43.98	29.32	0.00	0.00	0.00
4+640	0.45	2.33	20	34.50	20.70	13.80	0.00	11.65	11.65
4+660	0.00	3.90	20	2.25	1.35	0.90	0.00	62.30	2.03
4+680	0.00	2.62	20	0.00	0.00	0.00	0.00	65.20	0.00
4+700	1.75	0.00	20	8.75	5.25	3.50	0.00	13.10	7.88
4+720	1.79	0.04	20	35.40	21.24	14.16	0.00	0.20	0.20
4+740	1.38	0.28	20	31.70	19.02	12.68	0.00	3.20	3.20
4+760	1.63	0.62	20	30.10	18.06	12.04	0.00	9.00	9.00
4+780	3.29	0.07	20	49.20	29.52	19.68	0.00	6.90	6.90
4+800	11.91	0.00	20	152.00	91.20	60.80	0.00	0.35	0.35
4+820	5.13	0.33	20	170.40	102.24	68.16	0.00	1.65	1.65
4+840	2.23	0.45	20	73.60	44.16	29.44	0.00	7.80	7.80
4+860	0.15	0.37	20	23.80	14.28	9.52	0.00	8.20	8.20
4+880	3.66	0.03	20	38.10	22.86	15.24	0.00	4.00	4.00
4+900	3.57	0.06	20	72.30	43.38	28.92	0.00	0.90	0.90
4+920	3.16	0.28	20	67.30	40.38	26.92	0.00	3.40	3.40
4+940	4.32	0.51	20	74.80	44.88	29.92	0.00	7.90	7.90
4+960	3.53	0.38	20	78.50	47.10	31.40	0.00	8.90	8.90
4+980	3.28	0.00	20	68.10	40.86	27.24	0.00	1.90	1.90
5+000	3.10	0.11	20	63.80	38.28	25.52	0.00	0.55	0.55
				2023.50	1214.10	809.40	0.00	1531.75	591.74

Estaca	AREAS (m ²)		Distancia (m)	VOLUMEN CORTE (m ³)				VOL RELLENO (m ³)	
	Corte	Relleno		Total Corte	Material Suelto	Roca Suelta	Roca Fija	Total Relleno	Relleno Propio
5+020	7.92	1.03	20	110.20	66.12	44.08	0.00	11.40	11.40
5+040	7.47	1.17	20	153.90	92.34	61.56	0.00	22.00	22.00
5+060	3.67	0.46	20	111.40	66.84	44.56	0.00	16.30	16.30
5+080	10.89	0.00	20	145.60	87.36	58.24	0.00	2.30	2.30
5+100	11.17	0.00	20	220.60	132.36	88.24	0.00	0.00	0.00
5+120	6.80	0.07	20	179.70	107.82	71.88	0.00	0.35	0.35
5+140	4.51	0.06	20	113.10	67.86	45.24	0.00	1.30	1.30
5+160	3.52	0.02	20	80.30	48.18	32.12	0.00	0.80	0.80
5+180	8.66	0.00	20	121.80	73.08	48.72	0.00	0.10	0.10
5+200	4.93	0.40	20	135.90	81.54	54.36	0.00	2.00	2.00
5+220	6.81	0.01	20	117.40	70.44	46.96	0.00	4.10	4.10
5+240	9.66	0.00	20	164.70	98.82	65.88	0.00	0.05	0.05
5+260	4.40	0.00	20	140.60	84.36	56.24	0.00	0.00	0.00
5+280	0.32	2.12	20	47.20	28.32	18.88	0.00	10.60	10.60
5+300	0.00	4.74	20	1.60	0.96	0.64	0.00	68.60	1.44
5+320	5.40	0.00	20	27.00	16.20	10.80	0.00	23.70	23.70
5+340	2.49	2.20	20	78.90	47.34	31.56	0.00	11.00	11.00
5+360	4.53	2.59	20	70.20	42.12	28.08	0.00	47.90	47.90
5+380	2.32	3.63	20	68.50	41.10	27.40	0.00	62.20	61.65
5+400	1.79	0.58	20	41.10	24.66	16.44	0.00	42.10	36.99
5+420	0.11	0.37	20	19.00	2.85	2.85	13.30	9.50	9.50
5+440	0.19	2.04	20	3.00	0.45	0.45	2.10	24.10	2.70
5+460	0.56	1.52	20	7.50	1.13	1.13	5.25	35.60	6.75
5+480	0.37	0.91	20	9.30	1.40	1.40	6.51	24.30	8.37
5+500	1.68	0.00	20	20.50	3.08	3.08	14.35	4.55	4.55
5+520	0.47	0.10	20	21.50	3.23	3.23	15.05	0.50	0.50
5+540	1.88	0.04	20	23.50	3.53	3.53	16.45	1.40	1.40
5+560	0.00	3.07	20	9.40	1.41	1.41	6.58	31.10	8.46
5+580	4.79	0.05	20	23.95	3.59	3.59	16.77	31.20	21.56
5+600	2.99	0.00	20	77.80	11.67	11.67	54.46	0.25	0.25
5+620	1.14	0.00	20	41.30	6.20	6.20	28.91	0.00	0.00
5+640	0.00	0.80	20	5.70	0.86	0.86	3.99	4.00	4.00
5+660	0.21	0.57	20	1.05	0.05	0.11	0.89	13.70	0.95
5+680	4.22	1.76	20	44.30	2.22	4.43	37.66	23.30	23.30
5+700	3.49	0.12	20	77.10	3.86	7.71	65.54	18.80	18.80
5+720	5.07	0.00	20	85.60	4.28	8.56	72.76	0.60	0.60
5+740	0.31	0.17	20	53.80	2.69	5.38	45.73	0.85	0.85
5+760	0.31	0.04	20	6.20	0.31	0.62	5.27	2.10	2.10
5+780	2.00	0.00	20	23.10	1.16	2.31	19.64	0.20	0.20
5+800	1.17	0.00	20	31.70	1.59	3.17	26.95	0.00	0.00
5+820	1.21	0.00	20	23.80	1.19	1.19	21.42	0.00	0.00
5+840	0.00	1.91	20	6.05	0.30	0.30	5.45	9.55	5.45
5+860	1.10	3.37	20	5.50	0.28	0.28	4.95	52.80	4.95
5+880	11.74	0.22	20	128.40	6.42	6.42	115.56	35.90	35.90
5+900	44.60	2.49	20	563.40	28.17	28.17	507.06	27.10	27.10
5+920	13.43	0.00	20	580.30	29.02	29.02	522.27	12.45	12.45
5+940	8.24	2.51	20	216.70	10.84	10.84	195.03	12.55	12.55
5+960	8.17	2.59	20	164.10	8.21	8.21	147.69	51.00	51.00
5+980	6.56	2.91	20	147.30	7.37	7.37	132.57	55.00	55.00
6+000	4.87	0.05	20	48.70	2.44	2.44	43.84	37.80	37.80
				4599.25	1427.55	1017.75	2153.97	847.00	611.01

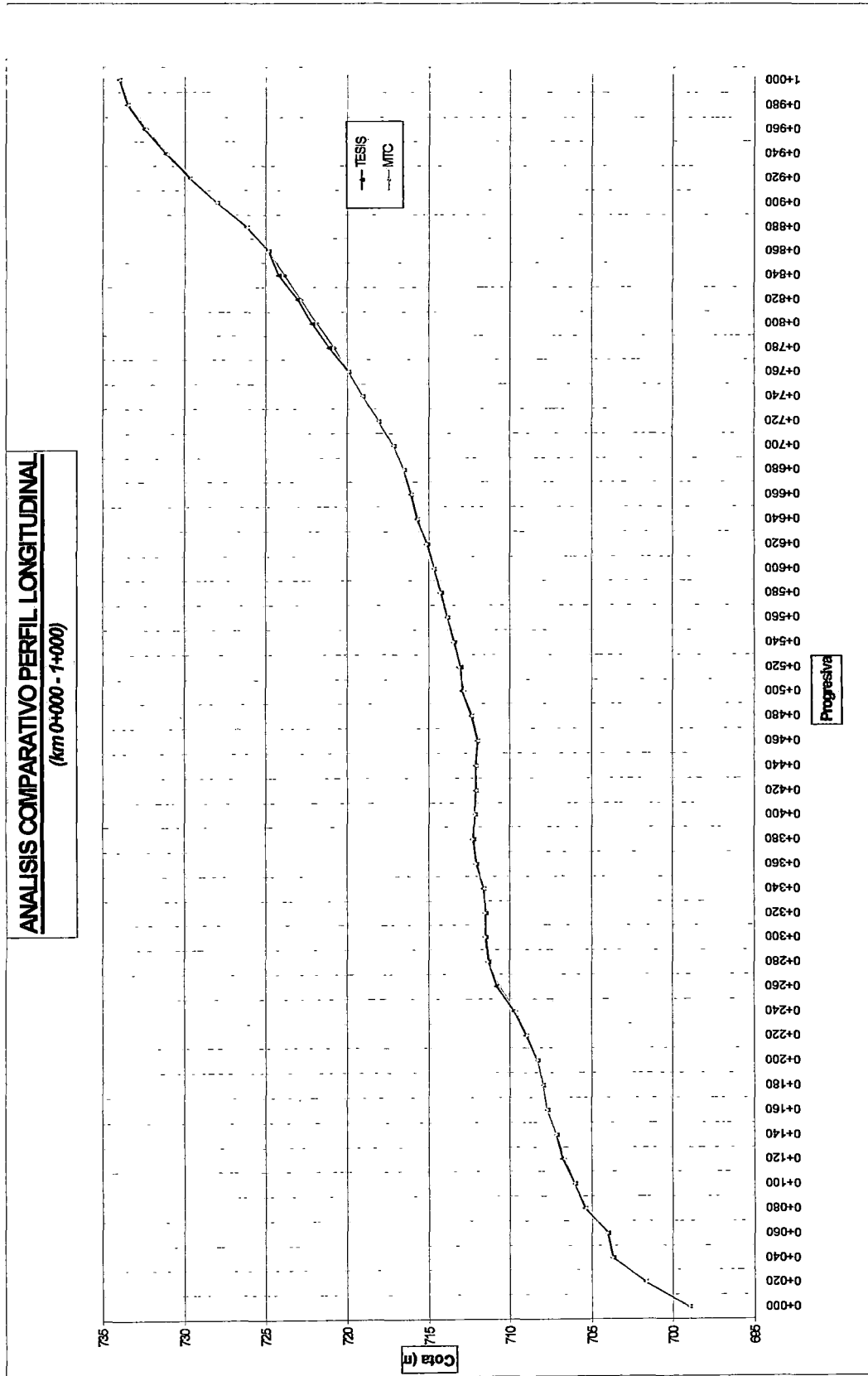
7. CURVA MASA

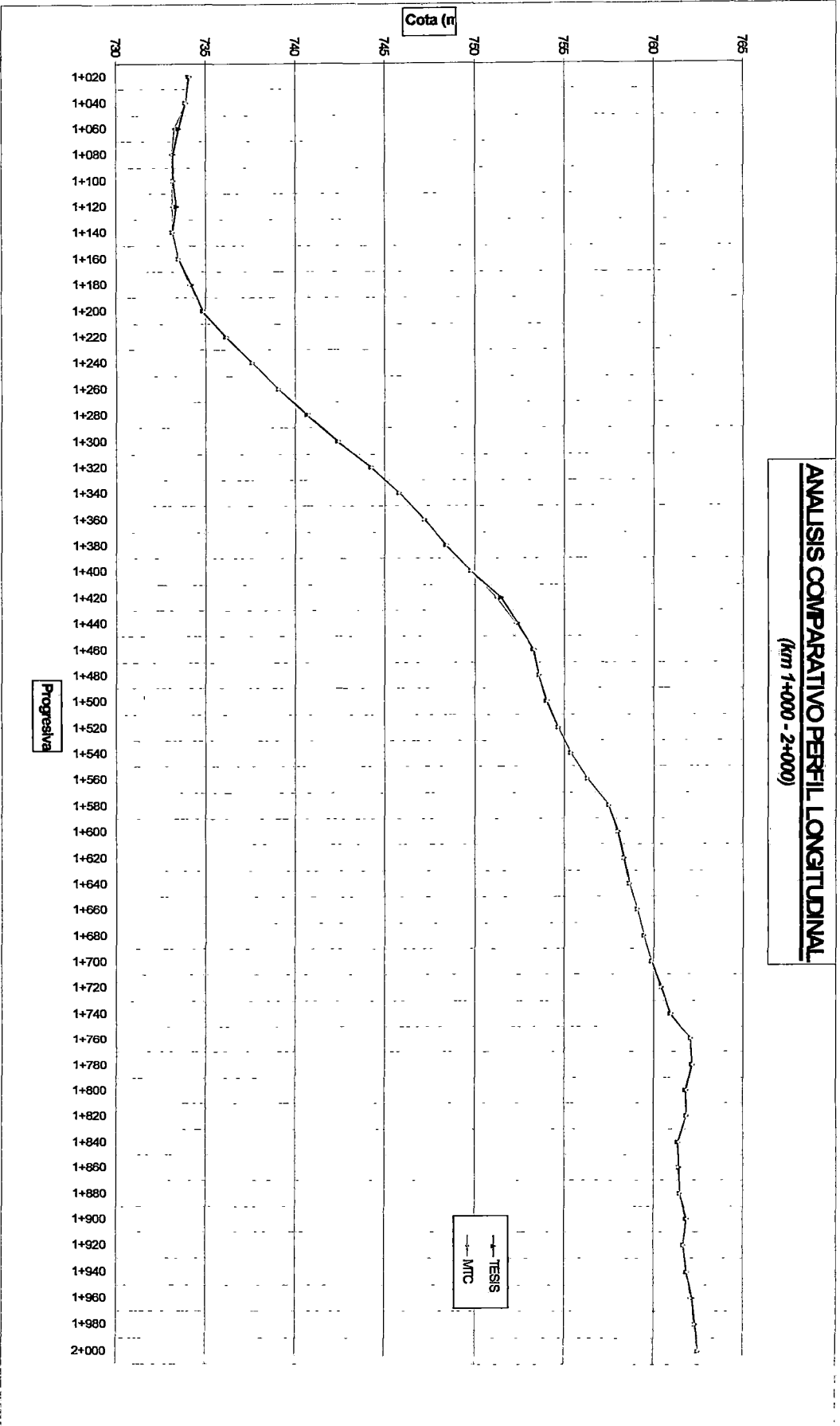
CALCULO DE CURVA MASA														
1. ABUNDAR LOS CORTES														
Progresiva	Cota		Espesores		Areas		Volumen		F.A	Vol. Abundado		Suma Alg. De Vol.		Vol. Acum.
	Terreno	Sub-rasante	C	R	C	R	C	R		C	R	C (+)	R (-)	
0+000	699.06	699.00	0.06		0.00	0.00								0.00
0+020	701.68	701.40	0.28		2.94	0.00	14.70		1.3	19.11		19.11		19.11
0+040	703.66	703.65	0.01		1.51	0.55	44.50	2.75	1.3	57.85	2.75	55.10		74.21
0+060	704.00	704.20		0.20	0.00	6.62	7.55	71.70	1.3	9.82	71.70		61.89	12.33
0+080	705.43	705.52		0.09	4.82	0.62	24.10	72.40	1.3	31.33	72.40		41.07	-28.75
0+100	706.04	706.16		0.12	1.88	0.63	67.00	12.50	1.3	87.10	12.50	74.60		45.86
0+120	706.78	706.80		0.02	1.76	0.28	36.40	9.10	1.3	47.32	9.10	38.22		84.08
0+140	707.15	707.21		0.06	0.76	0.33	25.20	6.10	1.3	32.76	6.10	26.66		110.74
0+160	707.71	707.61	0.10		1.92	0.00	26.80	1.65	1.3	34.84	1.65	33.19		143.93
0+180	707.98	708.02		0.04	0.73	1.06	26.50	5.30	1.3	34.45	5.30	29.15		173.08
0+200	708.36	708.44		0.09	0.77	0.40	15.00	14.60	1.3	19.50	14.60	4.90		177.98
0+220	709.03	709.00	0.03		1.63	0.22	24.00	6.20	1.3	31.20	6.20	25.00		202.98
0+240	709.74	709.72	0.03		1.33	0.03	29.60	2.50	1.3	38.48	2.50	35.98		238.96
0+260	710.79	710.54	0.26		3.01	0.00	43.40	0.15	1.3	56.42	0.15	56.27		295.23
0+280	711.30	711.17	0.13		3.22	0.00	62.30		1.3	80.99		80.99		376.22
0+300	711.47	711.57		0.10	0.36	0.60	35.80	3.00	1.3	46.54	3.00	43.54		419.76
0+320	711.46	711.77		0.29	0.00	1.60	1.80	22.00	1.3	2.34	22.00		19.66	400.10
0+340	711.61	711.93		0.32	0.37	2.24	1.85	38.40	1.3	2.41	38.40		36.00	364.10
0+360	712.08	712.09		0.01	0.37	0.13	7.40	23.70	1.5	11.10	23.70		12.60	351.50
0+380	712.24	712.17	0.07		1.13	0.04	15.00	1.70	1.5	22.50	1.70	20.80		372.30
0+400	712.20	712.16	0.04		0.52	0.00	16.50	0.20	1.5	24.75	0.20	24.55		396.85
0+420	712.10	712.07	0.03		0.99	0.04	15.10	0.20	1.5	22.65	0.20	22.45		419.30
0+440	712.13	711.99	0.14		1.53	0.00	25.20	0.20	1.5	37.80	0.20	37.60		456.90
0+460	712.02	712.06		0.04	0.94	0.59	24.70	2.95	1.5	37.05	2.95	34.10		491.00
0+480	712.36	712.30	0.06		2.92	0.00	38.60	2.95	1.5	57.90	2.95	54.95		545.95
0+500	712.94	712.69	0.25		2.82	0.11	57.40	0.55	1.5	86.10	0.55	85.55		631.50

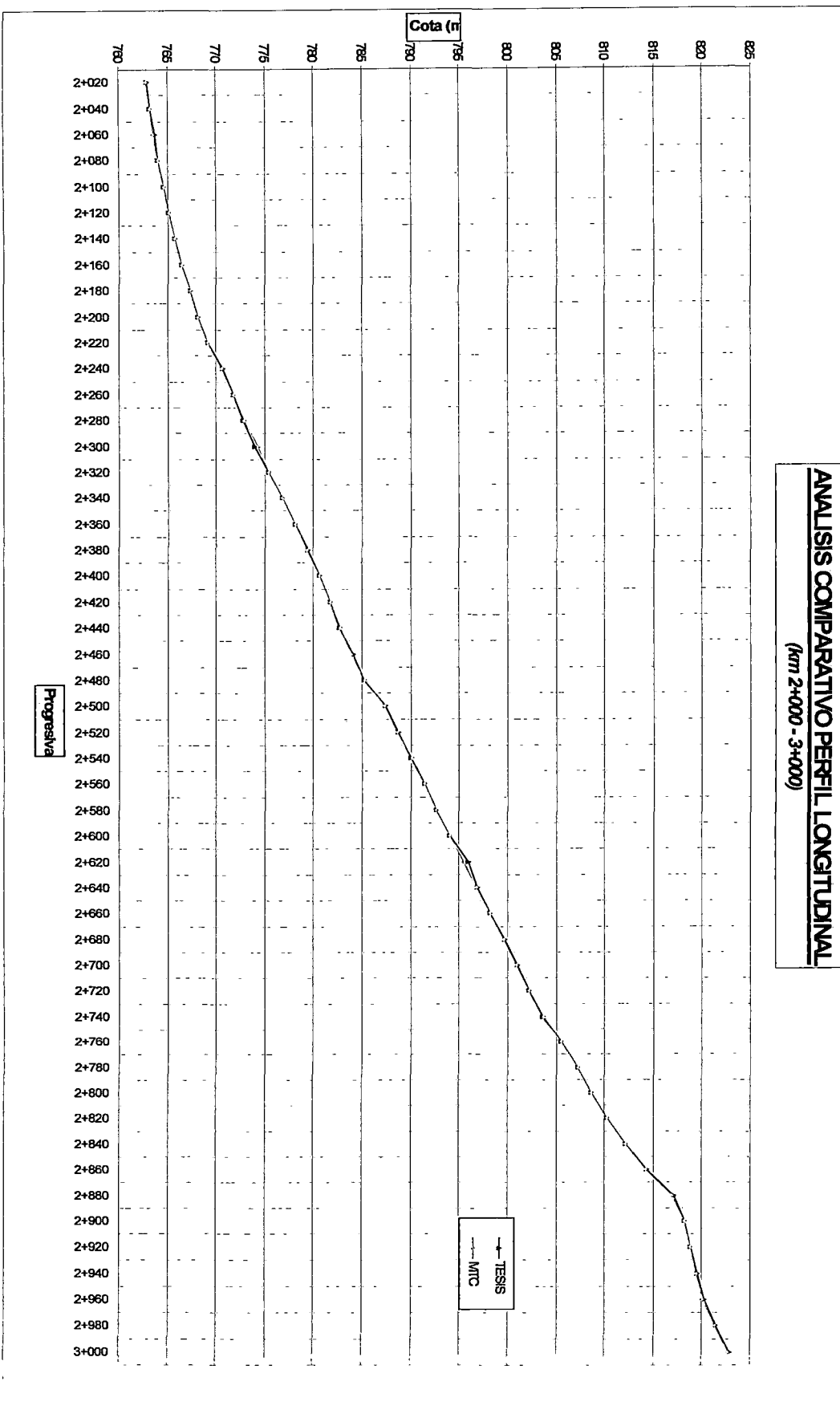


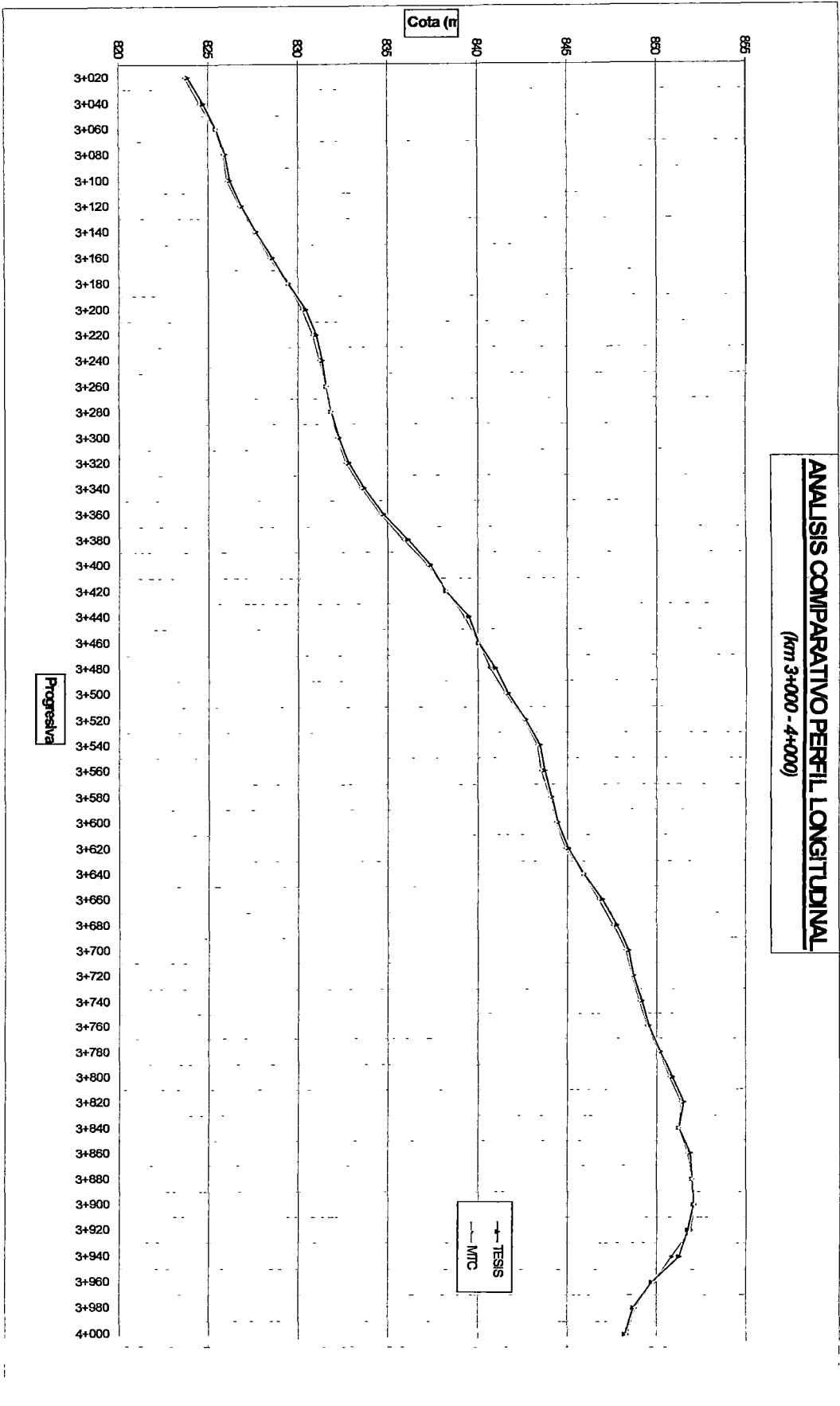
8. ANALISIS DE RESULTADOS

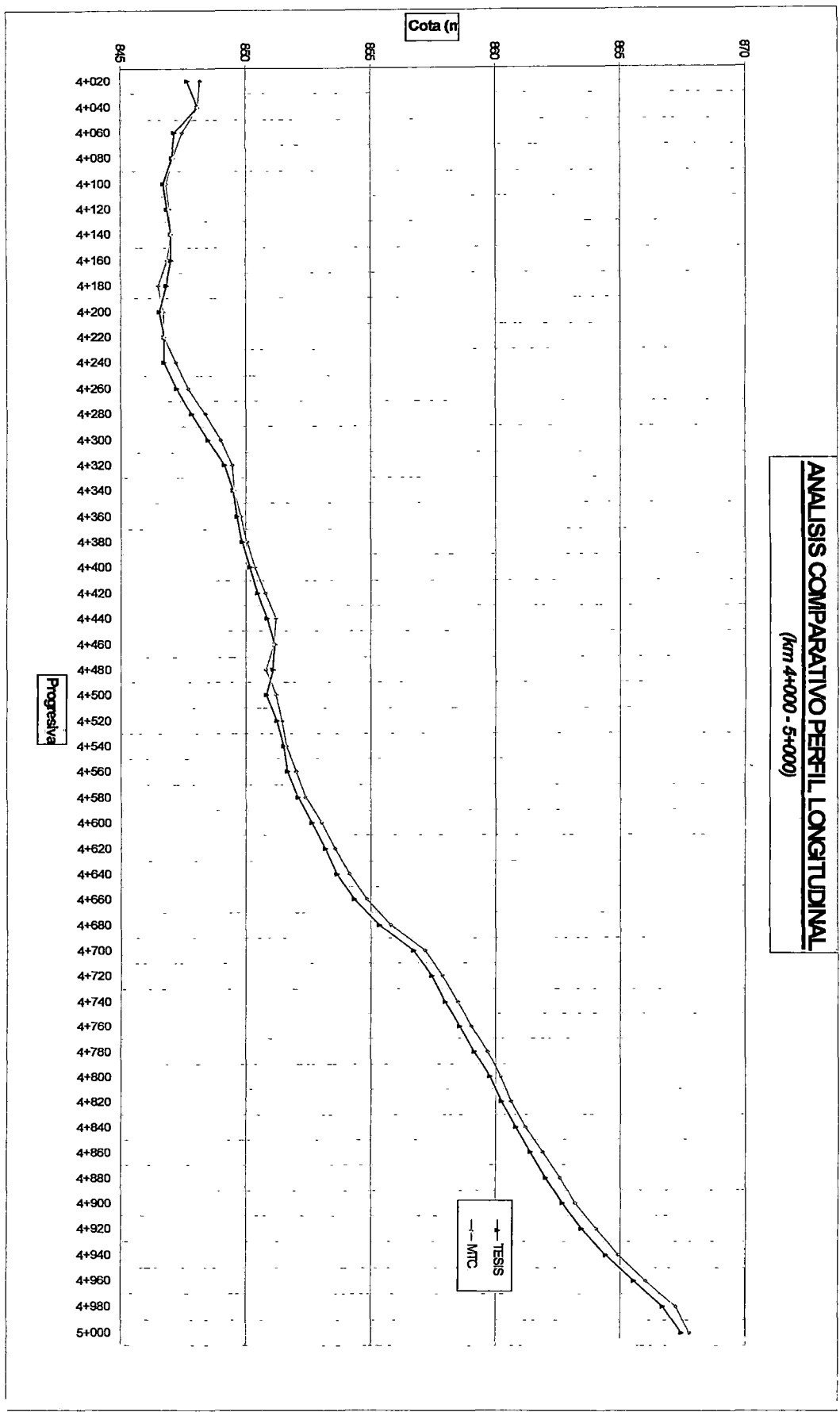
8.1 PERFIL LONGITUDINAL

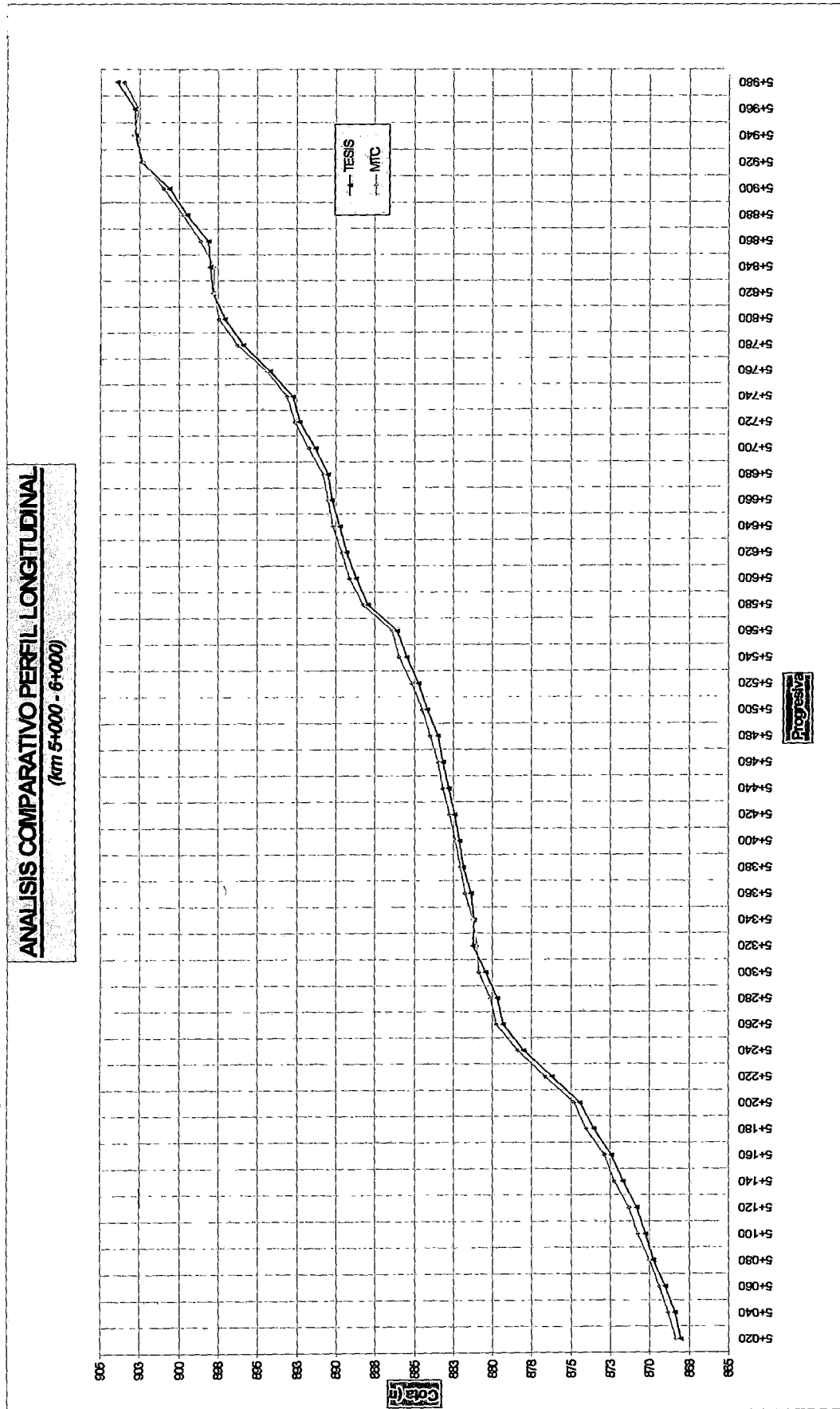


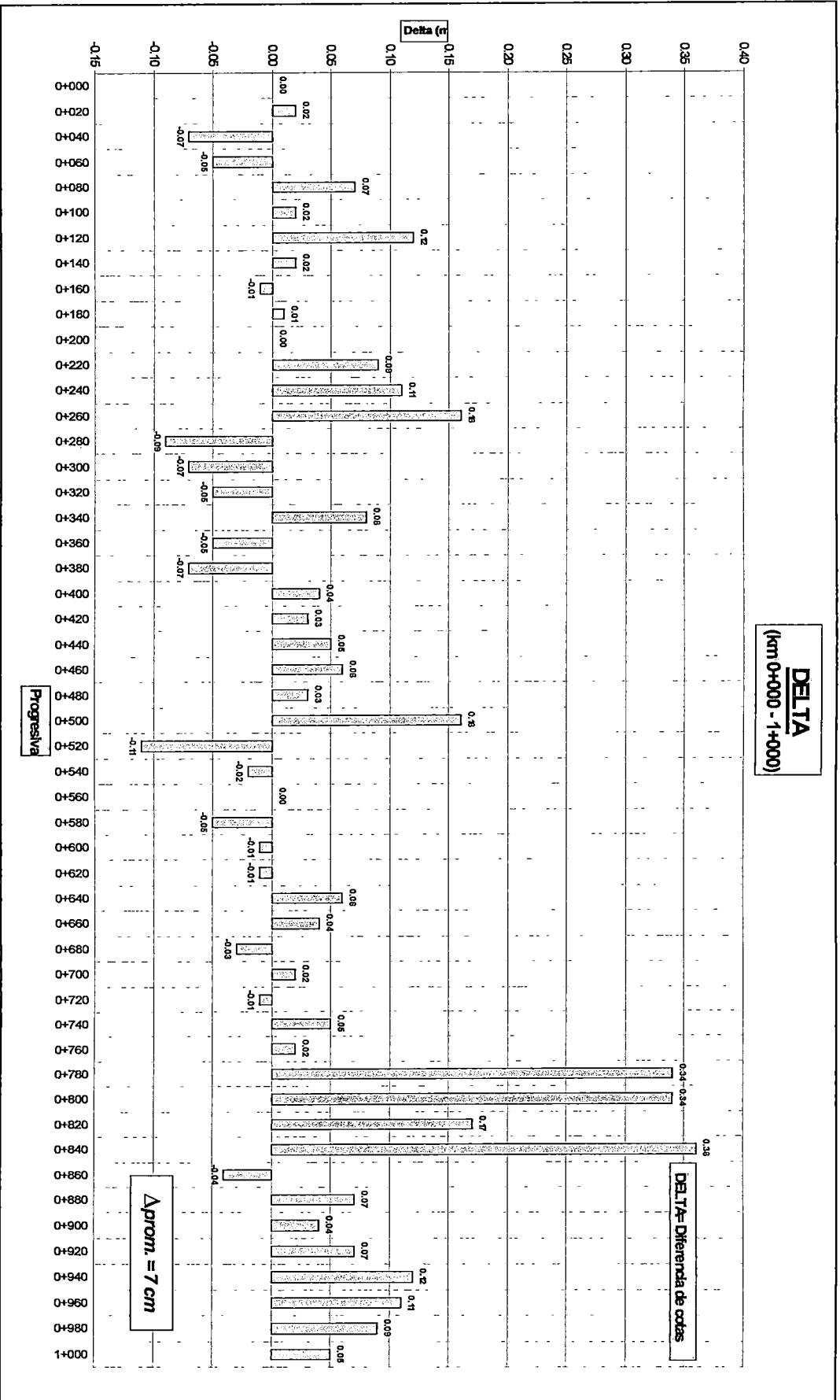


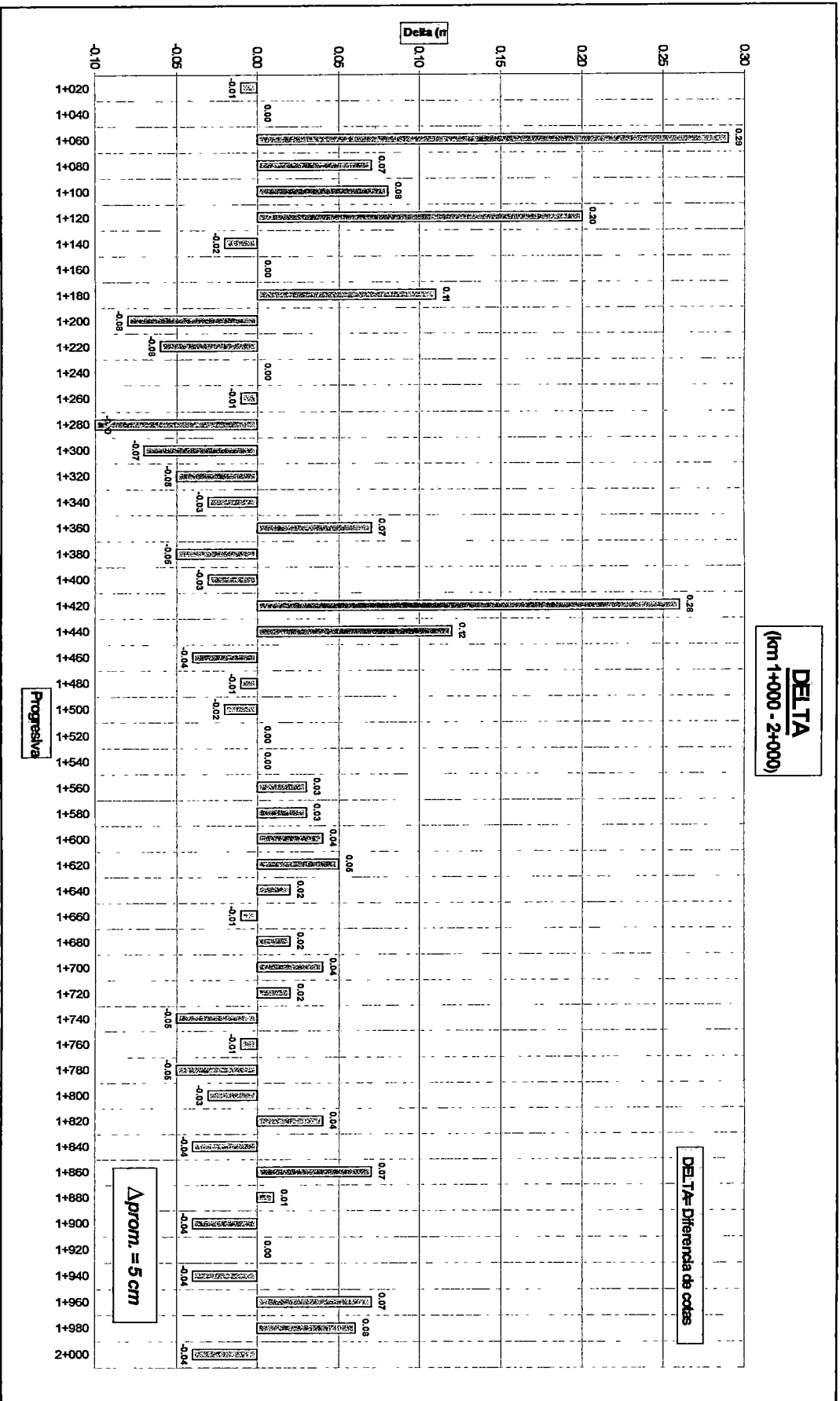


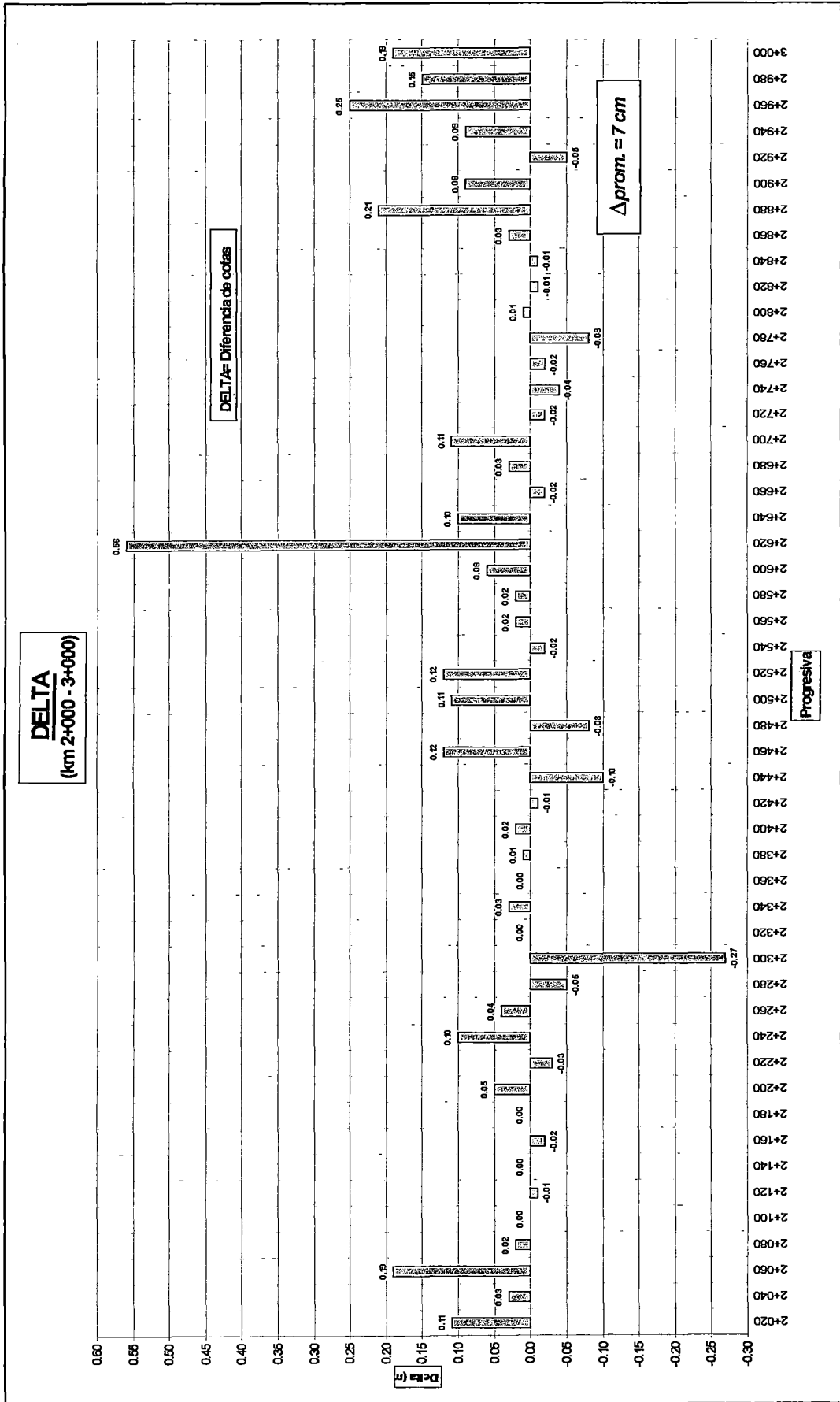


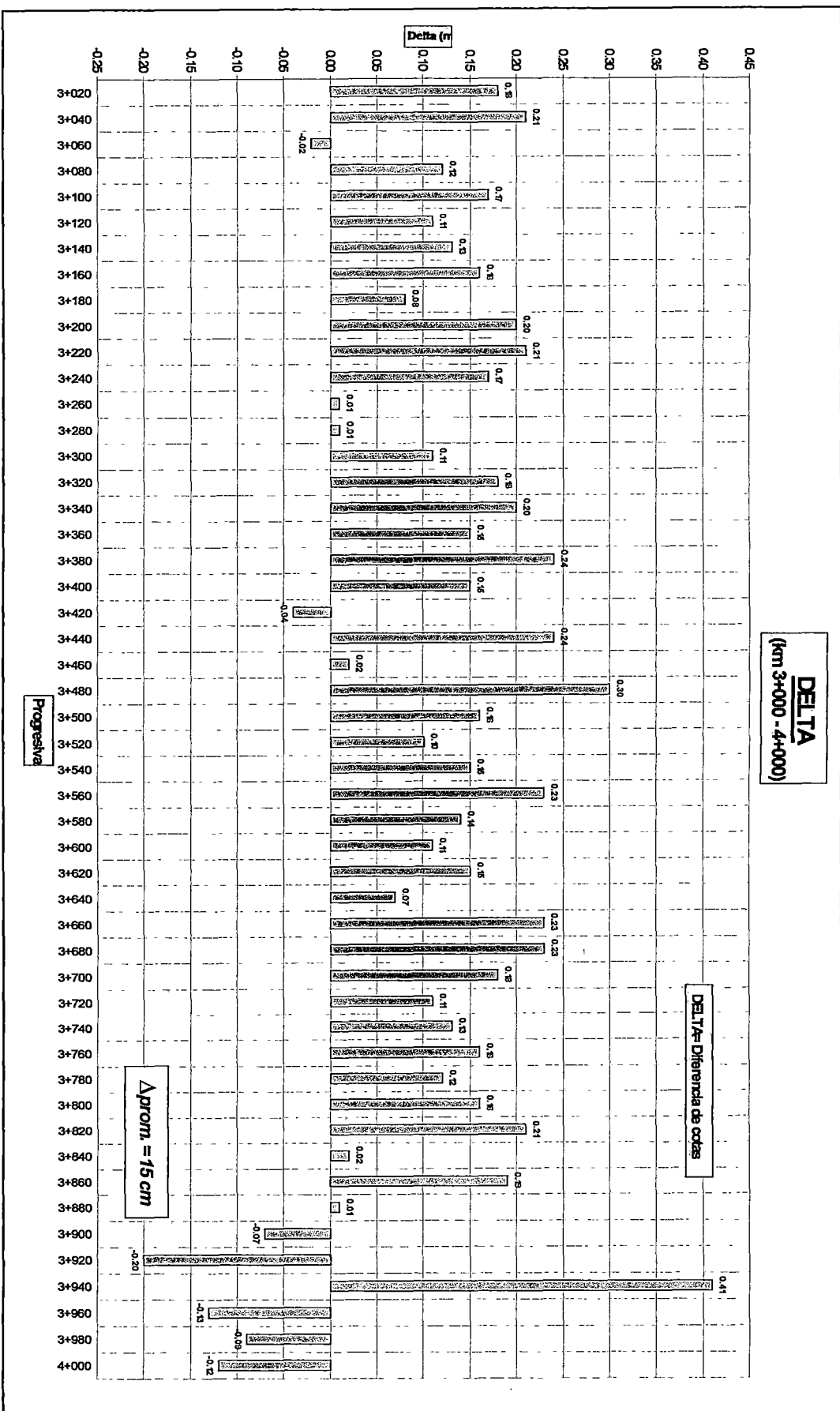


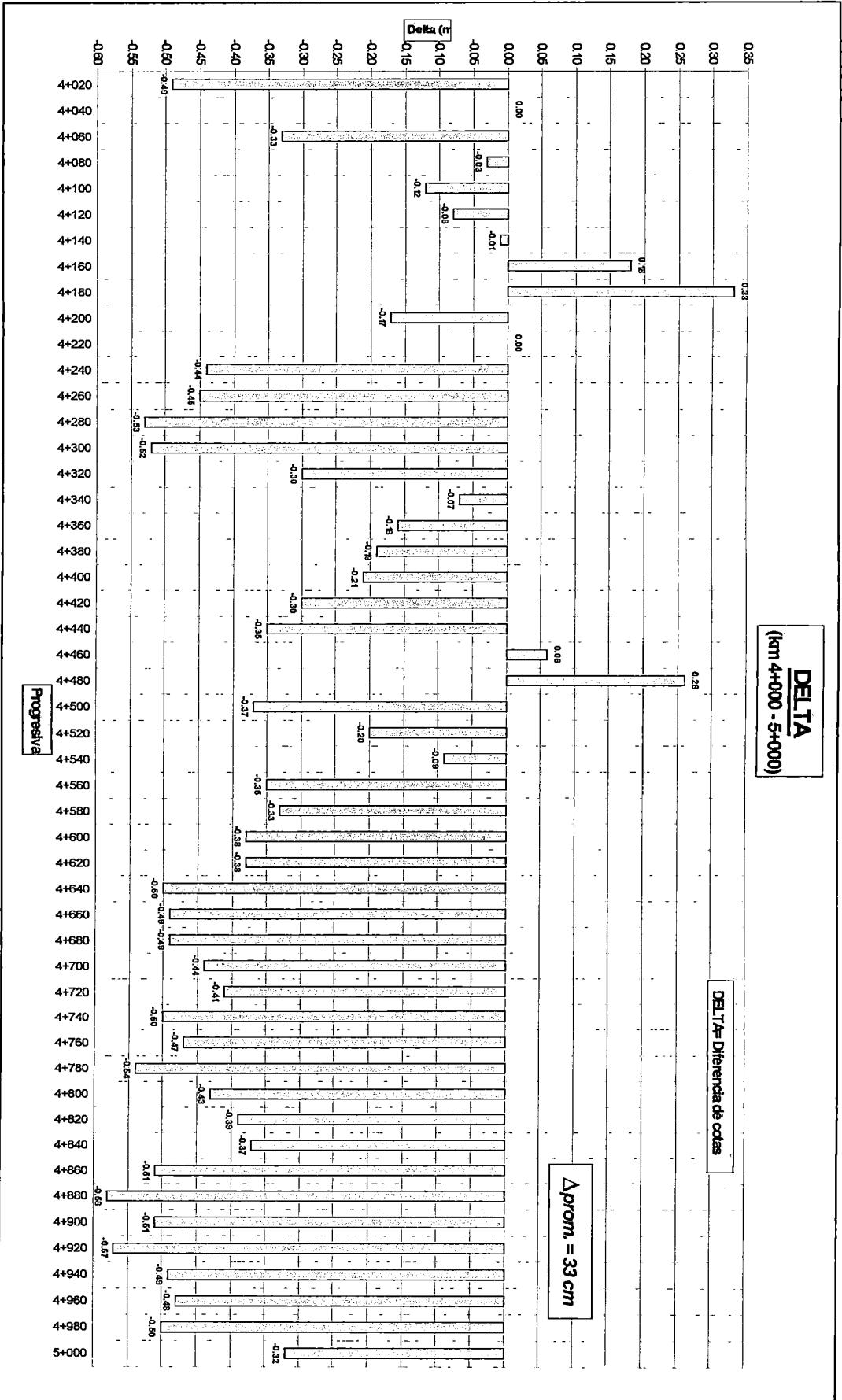


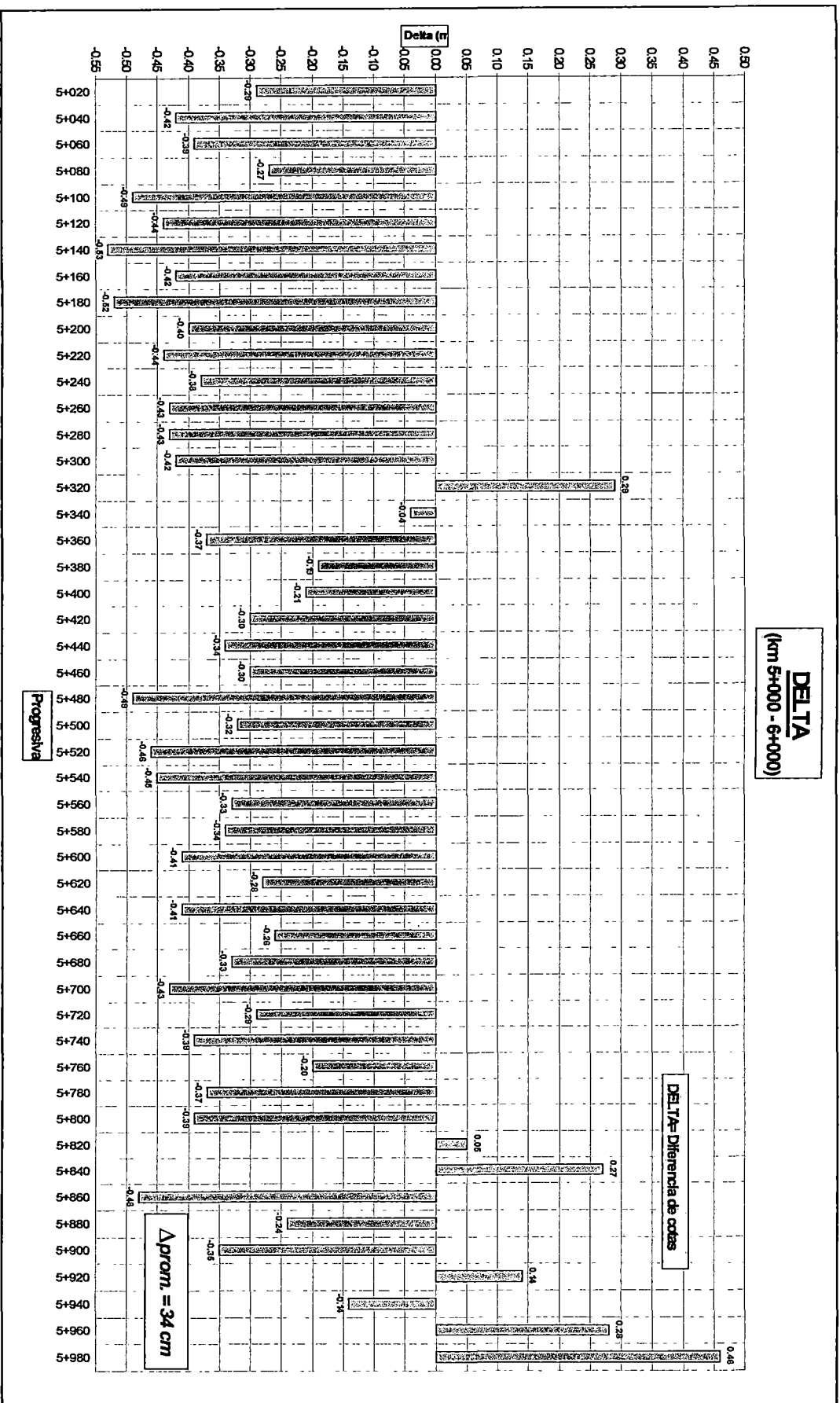


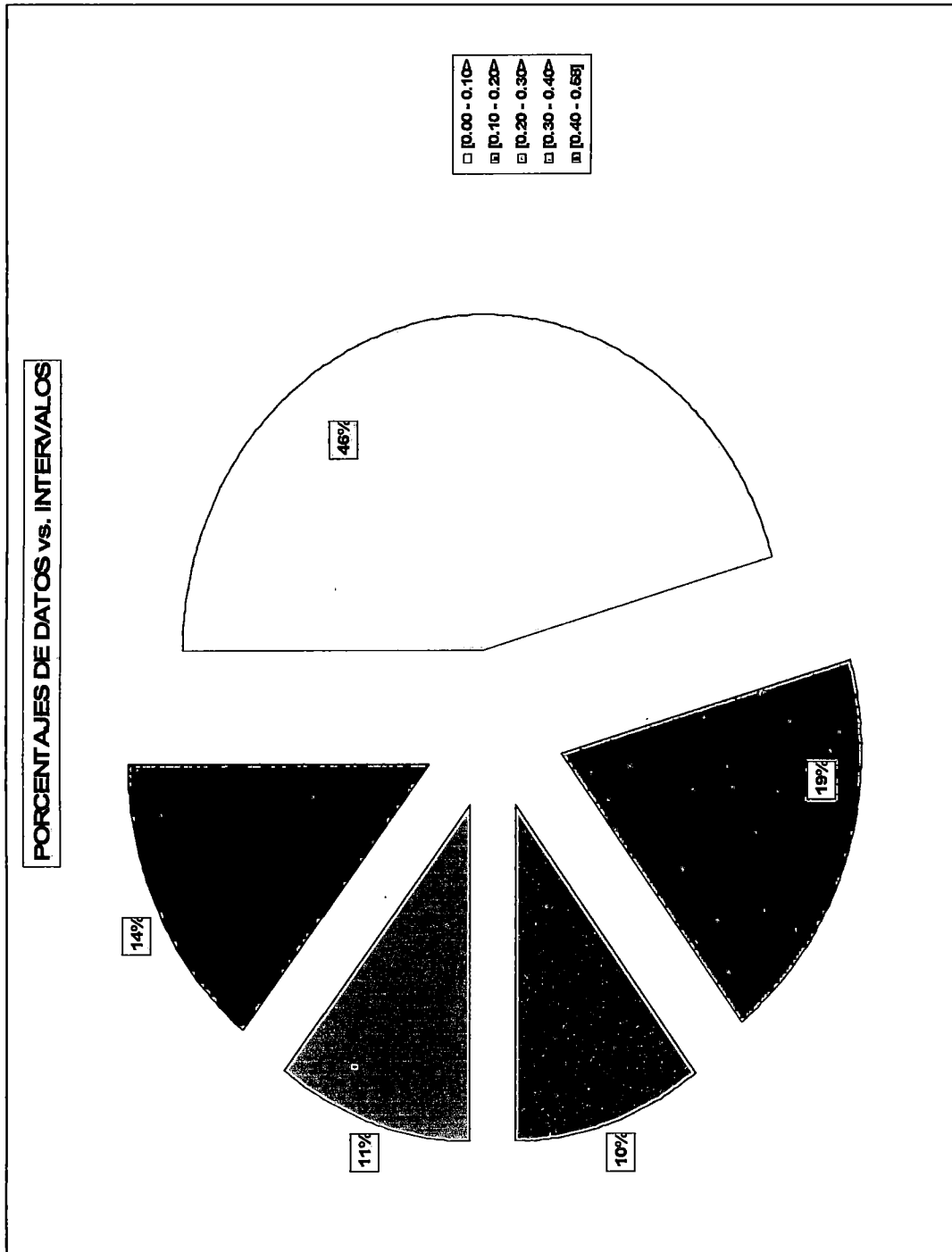


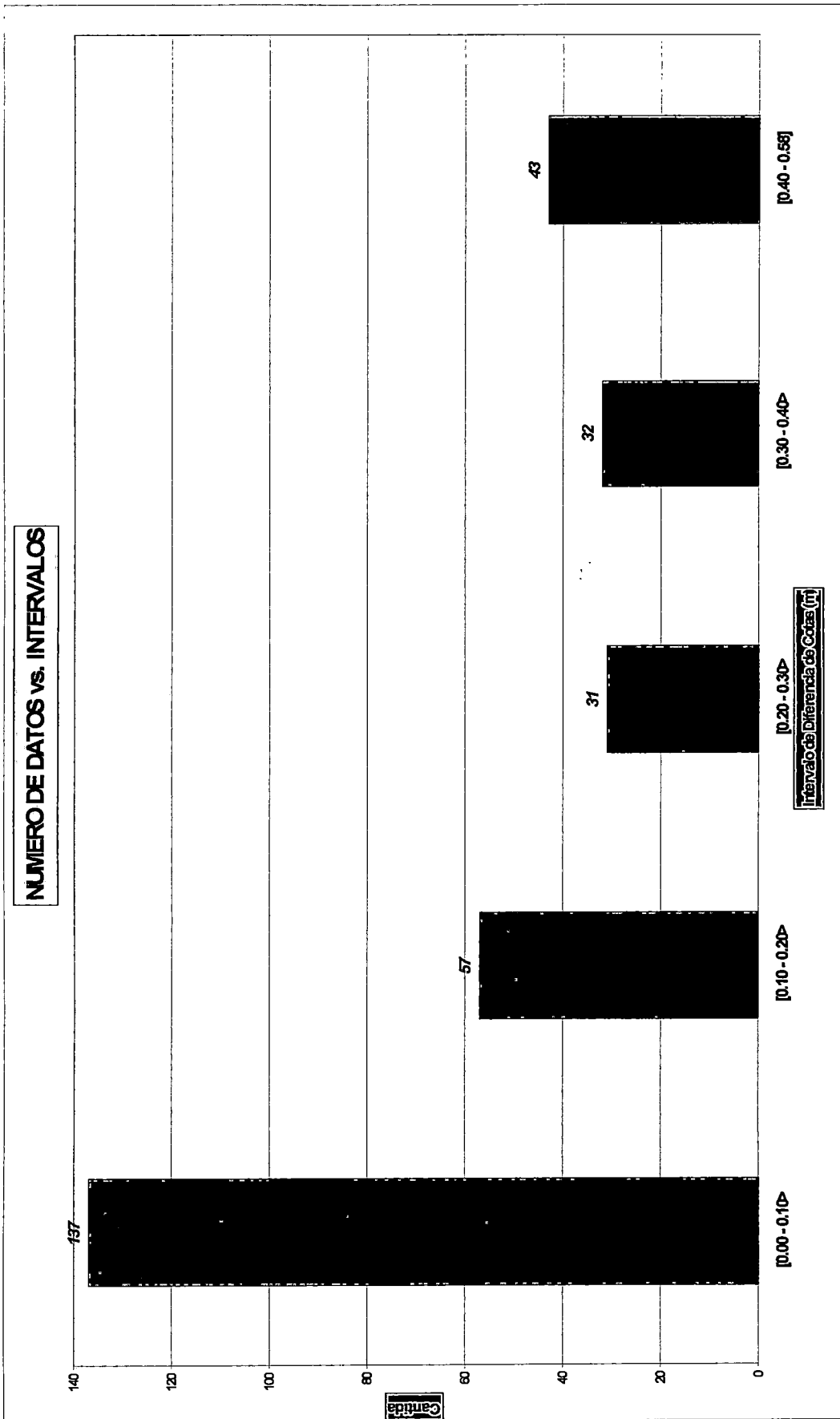


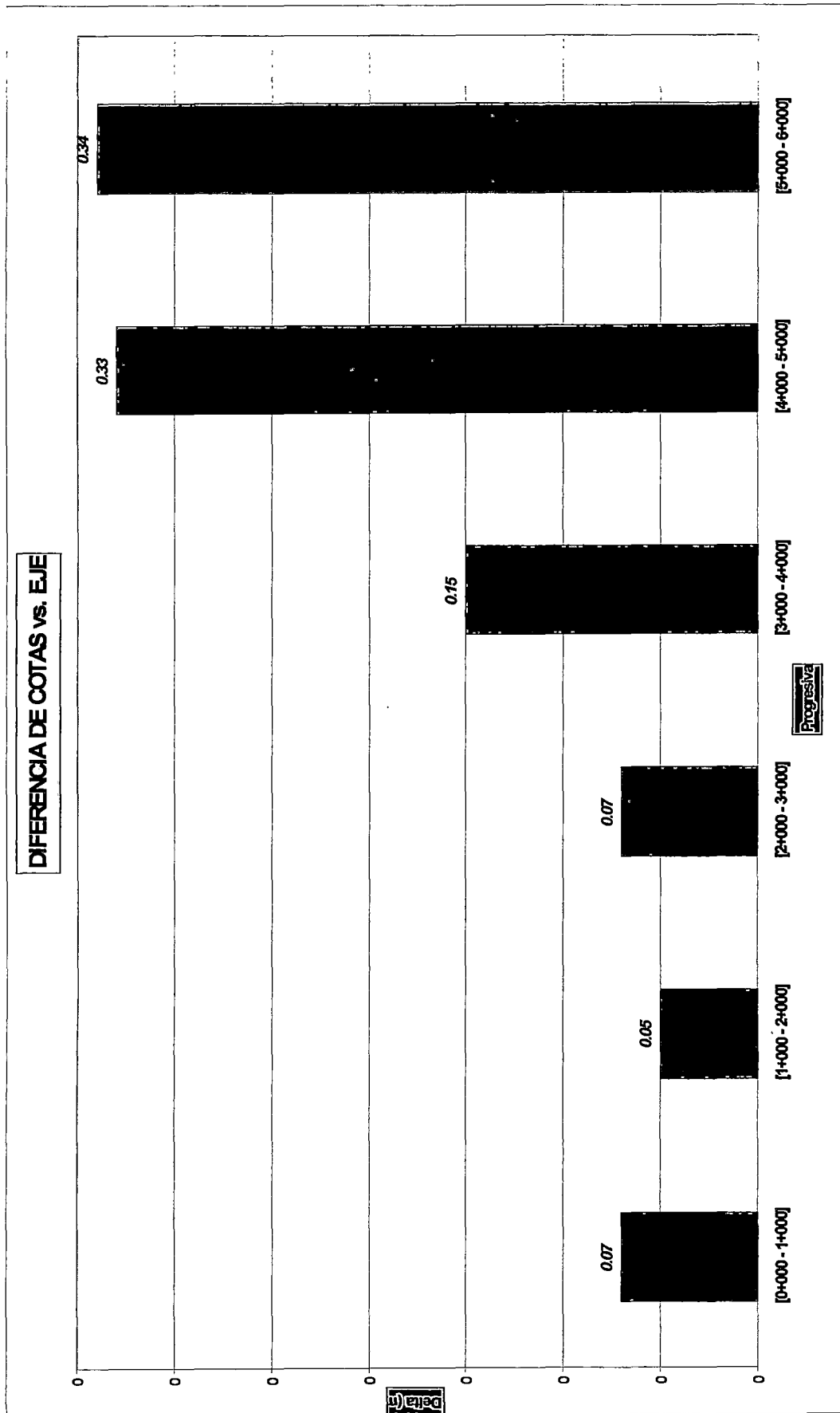




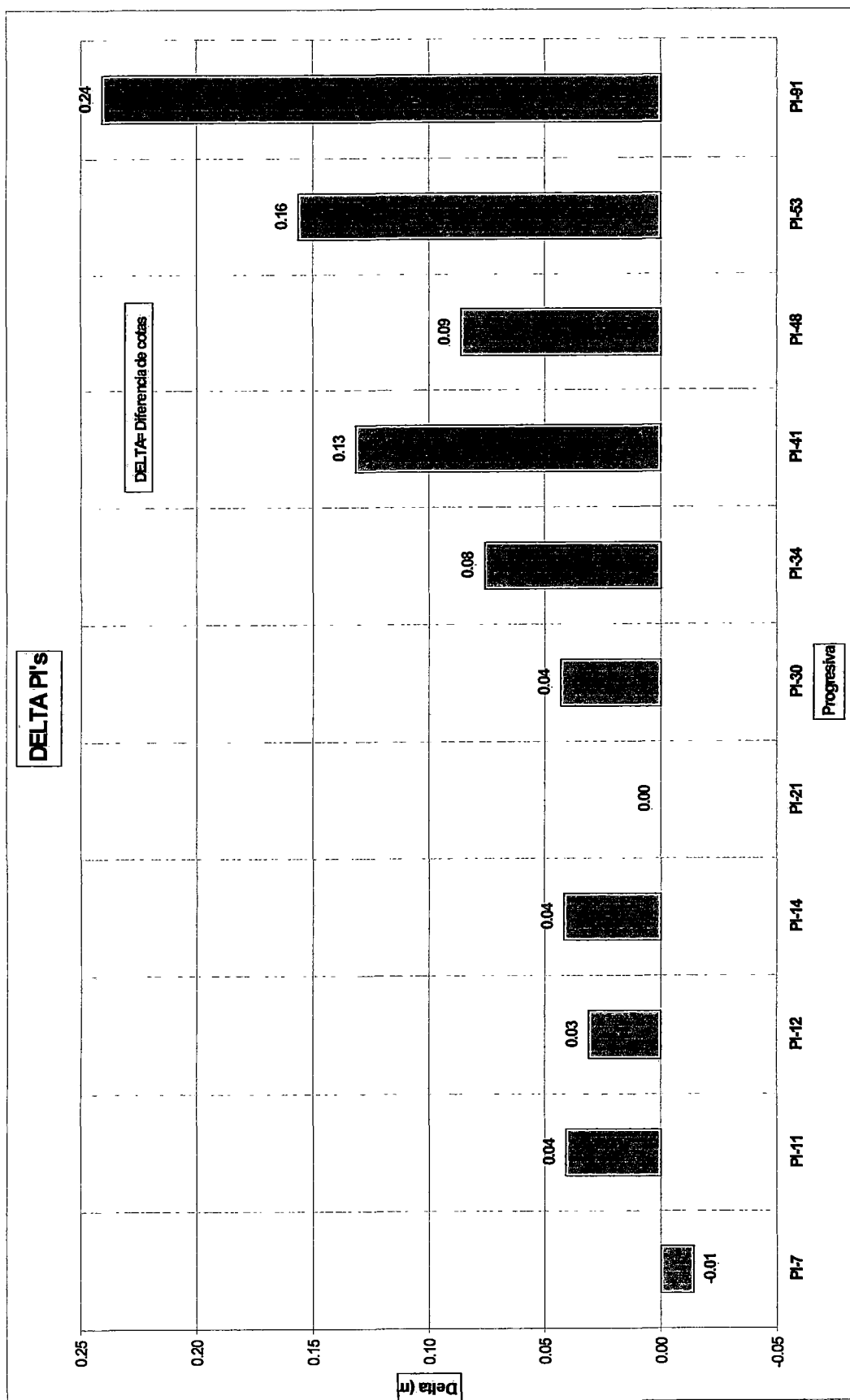




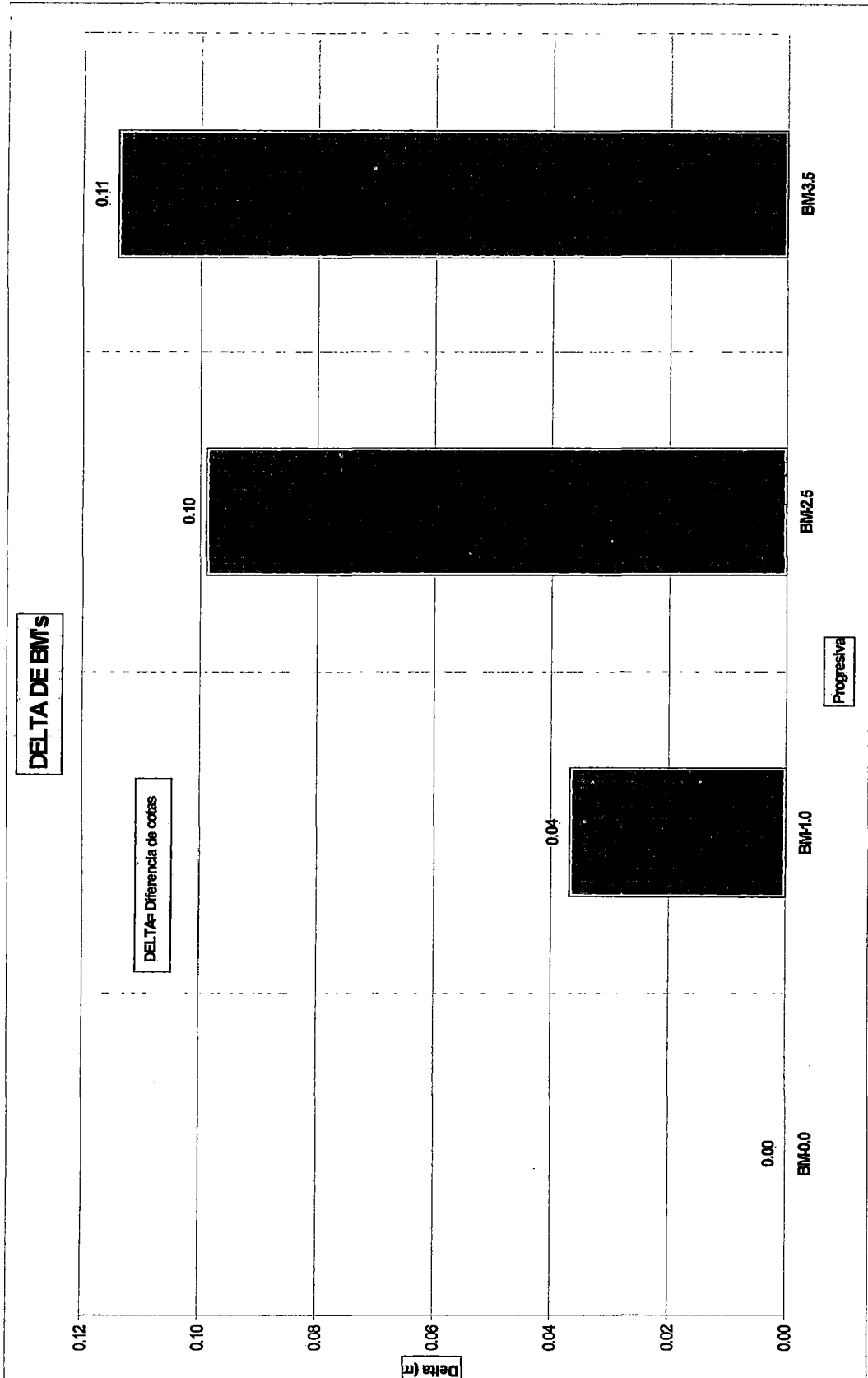




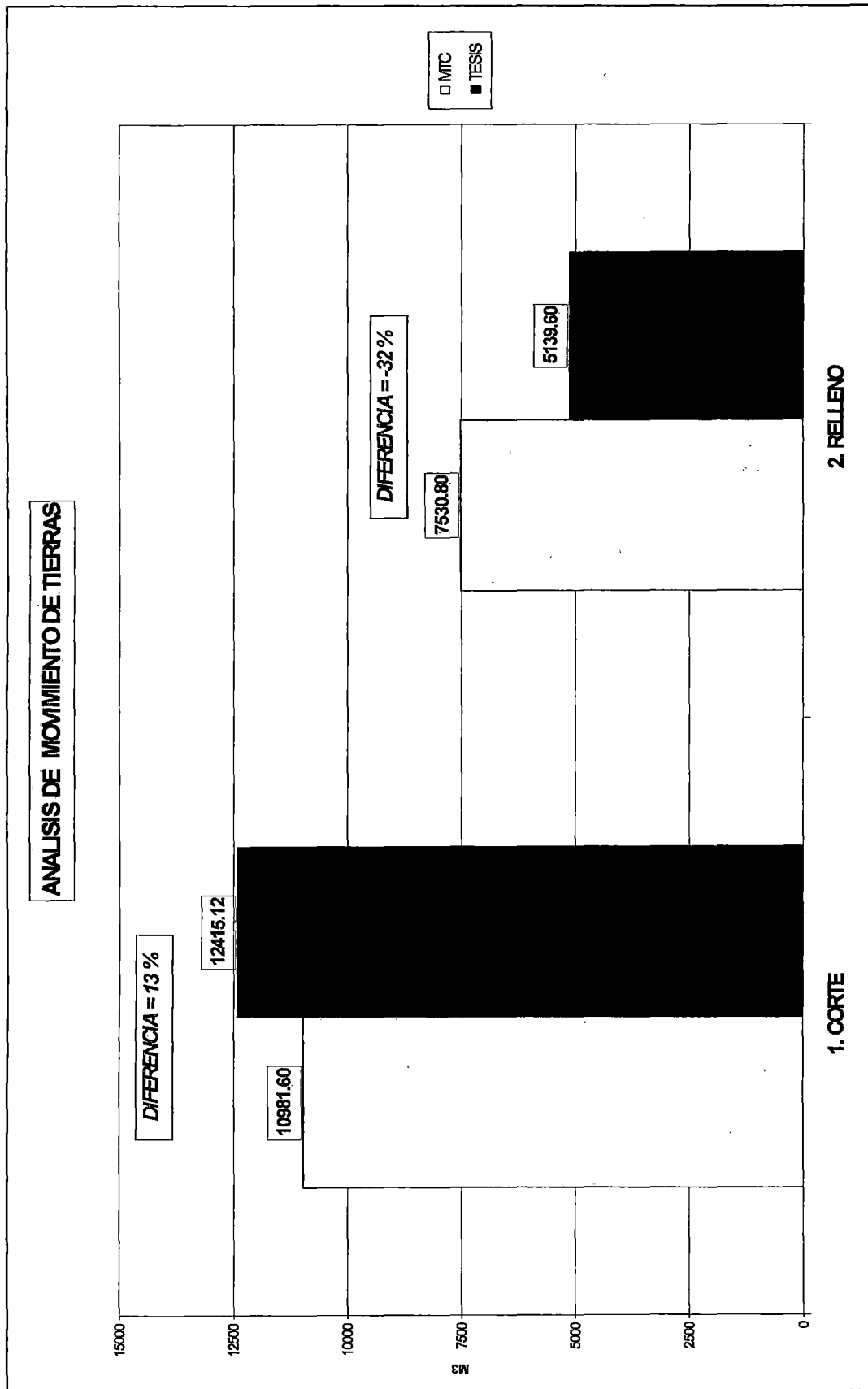
8.2 PUNTOS DE INFLEXION (PI's)



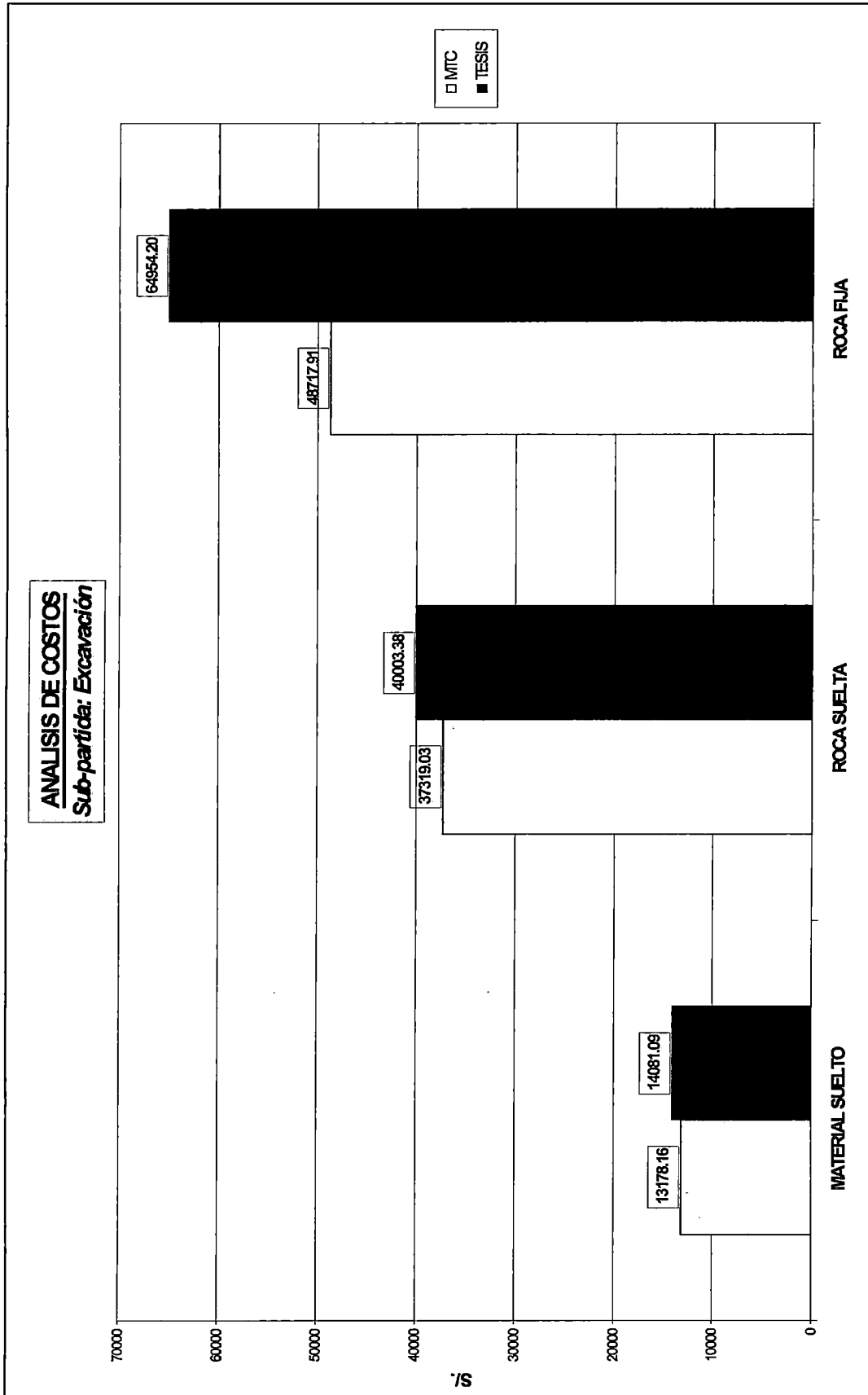
8.3 BENCH MARK (BM's)

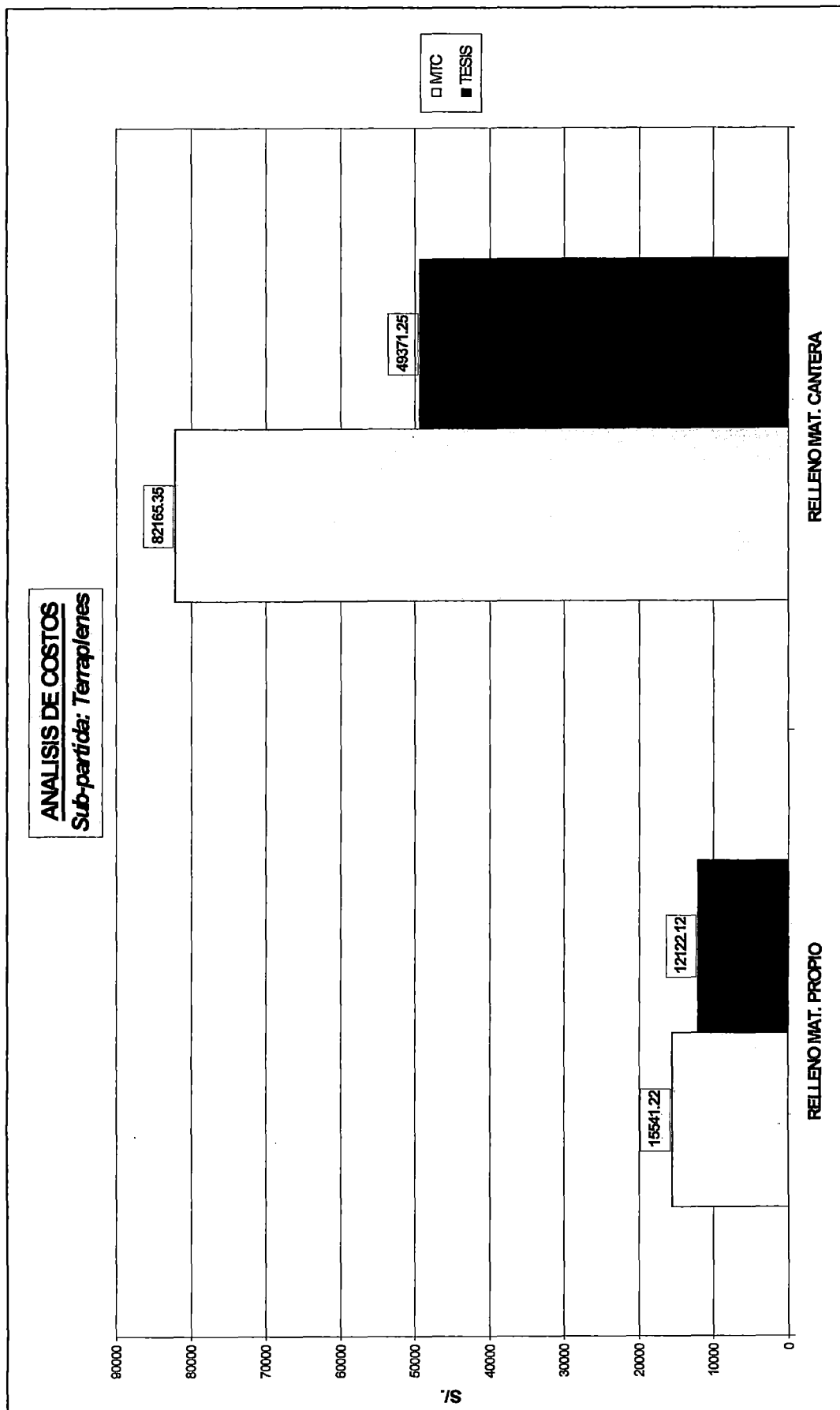


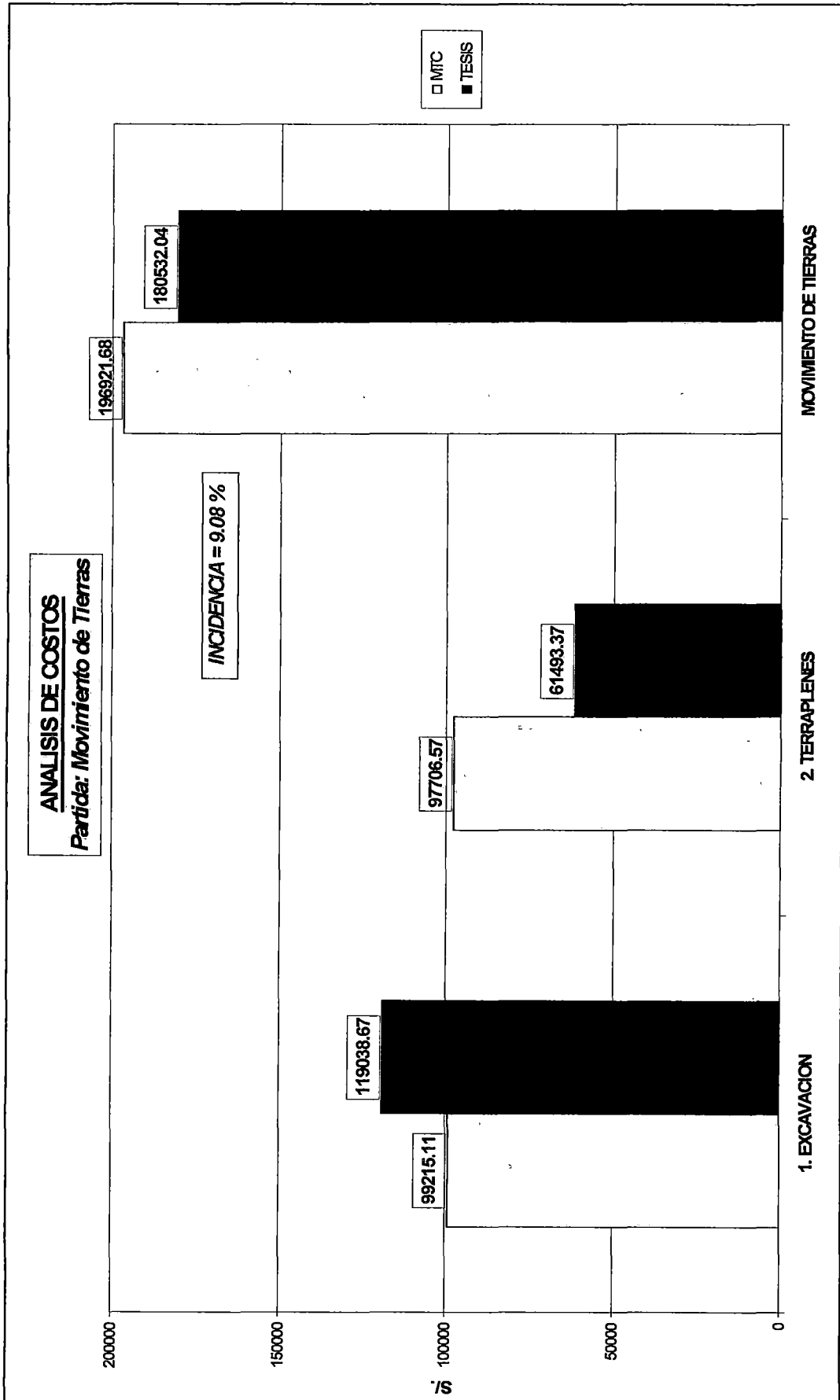
8.3 MOVIMIENTO DE TIERRAS



8.4 ANALISIS DE COSTOS







9. CUADRO DE COORDENADAS Y ELEMENTOS DE CURVA

Nº PI	SENT.	DELTA	RADIO	TANG.	L.C.	Ext.	P.I.	P.C.	P.T.	NORTE	ESTE	P	S/A
0	I	180°00'00"	0,00	0,00	0,00	0,00	0 + 000.000	0 + 000.000	0 + 000.000	8767701,09	260280,15	----	----
1	I	31°30'40"	35,00	9,88	19,25	1,37	0 + 039.081	0 + 029.206	0 + 048.455	8767665,80	260296,95	8	1,20
2	D	20°21'20"	105,00	18,85	37,30	1,68	0 + 079.270	0 + 060.420	0 + 097.723	8767643,62	260331,06	6	0,80
3	D	17°46'20"	200,00	31,27	62,04	2,43	0 + 183.368	0 + 152.099	0 + 214.135	8767559,73	260393,37	3	0,50
4	I	52°58'10"	42,00	20,93	38,83	4,93	0 + 333.035	0 + 312.109	0 + 350.937	8767417,60	260441,85	8	1,20
5	D	30°02'20"	40,00	10,73	20,97	1,42	0 + 411.189	0 + 400.456	0 + 421.426	8767392,25	260518,96	8	1,20
6	I	9°40'30"	120,00	10,16	20,26	0,43	0 + 458.610	0 + 448.454	0 + 468.717	8767358,51	260550,88	5	0,70
7	D	10°42'20"	110,00	10,31	20,55	0,48	0 + 531.862	0 + 521.575	0 + 542.129	8767310,81	260608,21	6	0,80
8	I	26°17'50"	45,00	10,51	20,65	1,21	0 + 572.894	0 + 562.362	0 + 583.036	8767279,68	260635,01	8	1,20
9	D	12°47'50"	93,00	10,43	20,77	0,58	0 + 620.228	0 + 609.799	0 + 630.571	8767261,06	260678,93	7	0,90
10	I	28°05'20"	175,00	43,78	85,79	5,39	0 + 711.669	0 + 667.892	0 + 753.685	8767207,57	260753,20	3	0,50
11	D	22°48'10"	51,00	10,29	20,30	1,03	0 + 816.651	0 + 806.366	0 + 826.663	8767193,31	260858,96	8	1,20
12	I	32°18'50"	36,00	10,43	20,30	1,48	0 + 848.539	0 + 838.109	0 + 858.413	8767176,99	260886,70	8	1,20
13	D	23°25'50"	49,00	10,16	20,04	1,04	0 + 933.708	0 + 923.547	0 + 943.585	8767179,33	260972,38	8	1,20
14	I	13°17'40"	62,00	9,56	19,03	0,56	1 + 021.295	1 + 011.739	1 + 030.765	8767147,38	261054,08	8	1,00
15	D	22°48'00"	50,00	10,08	19,90	1,01	1 + 057.062	1 + 046.980	1 + 066.877	8767142,20	261089,56	8	1,20
16	D	9°58'40"	164,00	16,08	32,04	0,70	1 + 108.989	1 + 092.927	1 + 124.970	8767115,24	261134,25	3	0,50
17	I	48°38'20"	50,00	22,60	42,45	4,87	1 + 199.287	1 + 176.891	1 + 219.136	8767055,85	261202,37	8	1,20
18	I	25°44'20"	45,00	10,28	20,22	1,16	1 + 286.045	1 + 275.764	1 + 295.979	8767067,62	261291,10	8	1,20
19	D	16°45'20"	66,00	10,01	19,89	0,73	1 + 355.984	1 + 345.970	1 + 365.855	8767106,20	261349,85	8	1,10
20	D	25°29'40"	59,00	13,35	26,25	1,49	1 + 421.836	1 + 408.489	1 + 434.741	8767124,99	261413,11	8	1,20
21	D	1°05'20"	0,00	0,00	0,00	0,00	1 + 514.269	1 + 514.269	1 + 514.269	8767110,53	261504,86	0	0,00
22	I	4°14'30"	270,00	10,00	19,99	0,19	1 + 654.744	1 + 644.745	1 + 664.734	8767088,03	261643,18	3	0,40
23	D	20°23'00"	55,00	10,07	19,92	0,90	1 + 730.568	1 + 720.500	1 + 740.423	8767078,37	261718,62	8	1,20
24	D	72°18'40"	30,00	21,92	37,88	7,16	1 + 810.166	1 + 788.245	1 + 826.107	8767043,15	261790,24	8	1,20
25	I	32°22'00"	36,00	10,45	20,34	1,49	1 + 851.904	1 + 841.456	1 + 861.793	8766995,95	261783,19	8	1,20
26	D	3°02'40"	360,00	10,10	20,19	0,13	1 + 976.123	1 + 966.025	1 + 986.217	8766881,85	261833,68	3	0,30
27	I	2°06'40"	550,00	10,13	20,27	0,09	2 + 031.965	2 + 021.831	2 + 042.096	8766829,65	261853,54	3	0,00
28	I	21°12'30"	100,00	18,72	37,02	1,74	2 + 119.306	2 + 100.584	2 + 137.600	8766749,21	261887,58	6	0,80
29	I	52°15'40"	45,00	22,08	41,05	5,12	2 + 180.807	2 + 158.732	2 + 199.778	8766704,77	261930,71	8	1,20
30	D	20°28'00"	100,00	18,05	35,72	1,62	2 + 265.491	2 + 247.438	2 + 283.159	8766714,57	262017,95	6	0,80
31	I	7°53'10"	269,41	18,57	37,08	0,64	2 + 301.729	2 + 283.158	2 + 320.240	8766705,67	262053,47	3	0,40
32	I	7°32'10"	225,00	14,82	29,59	0,49	2 + 398.542	2 + 383.724	2 + 413.318	8766695,26	262149,78	3	0,40
33	D	9°03'40"	460,00	36,45	72,75	1,44	2 + 479.687	2 + 443.238	2 + 515.985	8766697,19	262230,95	3	0,30
34	I	19°43'40"	200,00	34,78	68,86	3,00	2 + 621.822	2 + 587.047	2 + 655.910	8766678,13	262371,95	3	0,50
35	I	17°02'20"	66,00	10,19	20,22	0,76	2 + 736.792	2 + 726.506	2 + 746.828	8766702,24	262485,07	8	1,10
36	I	5°15'50"	200,00	9,19	18,37	0,21	2 + 817.335	2 + 808.141	2 + 826.515	8766741,45	262555,60	3	0,50
37	D	50°46'00"	23,00	10,91	20,38	2,46	2 + 887.719	2 + 876.806	2 + 897.185	8766781,15	262613,73	8	1,20
38	D	40°18'50"	30,00	11,01	21,11	1,96	2 + 978.540	2 + 967.527	2 + 988.636	8766755,05	262702,23	8	1,20
39	I	7°31'30"	466,00	30,65	61,20	1,01	3 + 062.017	3 + 031.371	3 + 092.574	8766684,48	262748,51	8	0,30
40	I	21°23'20"	85,00	18,05	31,73	1,50	3 + 118.696	3 + 102.644	3 + 134.375	8766641,49	262785,59	8	1,00
41	D	6°33'10"	350,00	20,04	40,03	0,57	3 + 177.434	3 + 157.397	3 + 197.426	8766613,90	262837,88	3	0,30
42	I	24°36'00"	150,00	32,71	64,40	3,52	3 + 247.535	3 + 214.830	3 + 279.232	8766574,29	262895,75	4	0,60
43	D	20°31'00"	76,41	13,83	27,36	1,24	3 + 317.718	3 + 303.889	3 + 331.250	8766562,19	262985,91	8	1,00
44	I	12°53'40"	90,00	10,17	20,26	0,57	3 + 341.422	3 + 331.252	3 + 351.506	8766550,08	262986,63	7	0,90
45	D	13°42'00"	110,00	13,21	26,30	0,79	3 + 376.250	3 + 363.036	3 + 389.338	8766539,64	263019,94	6	0,80

Nº PI	SENT.	DELTA	RADIO	TANG.	L.C.	Ext.	P.I.	P.C.	P.T.	NORTE	ESTE	P	S/A
46	I	18°24'10"	95,00	15,39	30,51	1,24	3 + 415.506	3 + 400.117	3 + 430.630	8766519,29	263053,66	7	0,90
47	D	4°08'40"	1000,00	36,18	72,33	0,65	3 + 490.088	3 + 453.905	3 + 526.239	8766502,83	263126,68	3	0,00
48	I	21°07'50"	55,00	10,26	20,28	0,95	3 + 554.999	3 + 544.741	3 + 565.025	8766484,01	263188,83	8	1,20
49	D	35°18'10"	70,00	22,27	43,13	3,46	3 + 601.302	3 + 579.028	3 + 622.156	8766487,49	263235,24	8	1,10
50	I	5°59'30"	365,00	19,10	38,17	0,50	3 + 664.548	3 + 645.446	3 + 683.615	8766454,16	263290,66	3	0,30
51	I	9°22'50"	355,92	29,20	58,27	1,20	3 + 712.817	3 + 683.616	3 + 741.886	8766433,73	263334,43	3	0,30
52	I	4°13'10"	500,00	18,42	36,82	0,34	3 + 818.809	3 + 800.390	3 + 837.212	8766405,10	263436,62	3	0,00
53	I	24°46'50"	45,00	9,89	19,46	1,07	3 + 933.556	3 + 923.670	3 + 943.133	8766382,37	263549,10	8	1,20
54	I	20°54'20"	85,00	15,68	31,01	1,43	3 + 969.799	3 + 954.117	3 + 985.131	8766390,81	263584,67	8	1,00
55	D	74°31'30"	30,00	22,82	39,02	7,70	4 + 022.507	3 + 999.684	4 + 038.705	8766420,97	263628,52	8	1,20
56	I	28°28'30"	65,00	16,49	32,30	2,06	4 + 066.202	4 + 049.710	4 + 082.013	8766386,15	263666,92	8	1,20
57	I	26°18'00"	100,00	23,36	45,90	2,69	4 + 123.235	4 + 099.872	4 + 145.774	8766376,36	263723,41	6	0,60
58	D	5°51'30"	270,00	13,82	27,61	0,35	4 + 206.522	4 + 192.707	4 + 220.314	8766397,43	263804,84	3	0,40
59	I	3°20'40"	500,00	14,60	29,19	0,21	4 + 262.749	4 + 248.152	4 + 277.336	8766405,89	263860,45	3	0,00
60	D	12°10'30"	95,00	10,13	20,19	0,54	4 + 317.681	4 + 307.529	4 + 327.716	8766417,30	263914,17	7	0,90
61	D	15°09'40"	80,00	10,65	21,17	0,71	4 + 373.885	4 + 363.236	4 + 384.407	8766417,12	263970,47	8	1,00
62	I	19°38'30"	90,00	15,58	30,85	1,34	4 + 496.768	4 + 481.209	4 + 512.062	8766384,57	264069,12	7	0,90
63	D	25°45'10"	45,00	10,29	20,23	1,16	4 + 550.677	4 + 540.390	4 + 560.616	8766388,64	264143,16	8	1,20
64	I	19°13'20"	60,00	10,16	20,13	0,85	4 + 627.062	4 + 616.902	4 + 637.031	8766360,57	264214,57	8	1,20
65	D	10°20'50"	300,00	27,16	54,18	1,23	4 + 681.743	4 + 654.560	4 + 708.758	8766358,44	264269,41	3	0,40
66	D	31°39'00"	36,00	10,20	19,89	1,42	4 + 761.585	4 + 751.381	4 + 771.268	8766341,02	264347,48	8	1,20
67	I	24°38'40"	46,00	10,05	19,79	1,09	4 + 798.396	4 + 788.347	4 + 808.133	8766314,98	264374,23	8	1,20
68	I	10°56'30"	175,00	16,76	33,42	0,80	4 + 924.275	4 + 907.514	4 + 940.934	8766272,69	264493,12	3	0,50
69	D	17°09'20"	70,00	10,56	20,96	0,79	4 + 979.999	4 + 969.440	4 + 990.400	8766264,30	264548,31	8	1,10
70	I	10°51'50"	120,00	11,41	22,75	0,54	5 + 016.352	5 + 004.941	5 + 027.694	8766246,42	264581,18	5	0,70
71	D	10°21'20"	150,00	13,59	27,11	0,62	5 + 052.185	5 + 038.592	5 + 065.703	8766239,17	264615,87	4	0,60
72	I	7°08'10"	450,00	28,06	56,05	0,87	5 + 133.435	5 + 105.375	5 + 161.422	8766204,43	264669,41	6	0,30
73	I	15°30'50"	99,04	13,49	26,82	0,92	5 + 174.914	5 + 161.423	5 + 188.240	8766191,49	264728,89	6	0,80
74	I	10°11'00"	110,00	9,80	19,55	0,44	5 + 236.655	5 + 226.854	5 + 246.404	8766168,64	264790,73	6	0,80
75	D	54°14'30"	60,00	30,73	56,80	7,41	5 + 318.987	5 + 288.256	5 + 345.058	8766199,46	264872,40	8	1,20
76	I	15°17'30"	250,00	33,56	66,72	2,24	5 + 400.942	5 + 367.381	5 + 434.104	8766136,42	264931,81	3	0,40
77	D	12°01'40"	304,19	32,05	63,86	1,68	5 + 499.416	5 + 467.370	5 + 531.227	8766084,90	265016,20	3	0,30
78	I	24°25'50"	85,00	18,40	36,24	1,97	5 + 549.628	5 + 531.227	5 + 567.470	8766050,22	265052,83	8	1,00
79	D	12°57'10"	156,22	17,73	35,32	1,00	5 + 585.205	5 + 567.471	5 + 602.786	8766038,45	265087,00	4	0,60
80	I	21°06'10"	90,00	16,76	33,15	1,55	5 + 701.646	5 + 684.882	5 + 718.030	8765976,75	265165,92	7	0,90
81	D	29°42'20"	40,00	10,61	20,74	1,38	5 + 748.490	5 + 737.882	5 + 758.621	8765967,86	265232,30	8	1,20
82	I	48°59'30"	75,00	34,17	64,13	7,42	5 + 829.145	5 + 794.972	5 + 859.102	8765915,11	265293,94	8	1,10
83	I	27°05'10"	42,00	10,12	19,86	1,20	5 + 909.882	5 + 899.765	5 + 919.620	8765927,57	265377,98	8	1,20
84	D	17°27'10"	74,70	11,47	22,75	0,88	5 + 931.087	5 + 919.621	5 + 942.375	8765940,11	265395,54	8	1,10
85	D	6°22'30"	156,00	8,69	17,36	0,24	5 + 985.172	5 + 976.484	5 + 993.842	8765956,94	265447,13	4	0,60