



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**LA IMPORTANCIA DE LA
TOPOGRAFÍA EN LAS OBRAS DE
INFRAESTRUCTURA “CASO DE
ESTUDIO P.H. EL CAJON”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODÉSTA

PRESENTA:
OMAR TORREBLANCA CRUZ

ASESOR DE TESIS
ING. VICTOR MANUEL MOZO Y TENORIO



MÉXICO, D.F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"2006, Año del Bicentenario del Natalicio del Benemérito de las Américas, Don Benito Juárez García"

OFICIO No. HMM/7A/ 391

México, D. F. a 10 MAYO 2006

ING. LUIS HORCASITAS MANJARREZ
DIRECTOR GENERAL
CONSTRUCTORA INTERNACIONAL DE
INFRAESTRUCTURA S.A. DE C.V.
PRESENTE

En atención a lo solicitado con el oficio No. PHEC-DIR-CEC-0022/06, de fecha 9 de mayo, con el presente manifestamos nuestra aceptación para que los estudiantes que se citan a continuación puedan utilizar información del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, para desarrollar sus respectivos temas de tesis.

No.	Nombre	Tema
1	Omar Torreblanca Cruz	La importancia de la topografía en las obras de infraestructura "Caso de estudio P. H. El Cajón"
2	Ernesto David Flores Carrillo	Inyección en macizos rocosos "Ejemplo de aplicación: P. H. El Cajón"
3	Carlos Ernesto Medellín Narváez	Excavación en Obras de Generación "Caso de estudio P. H. El Cajón"

Sin más por el momento quedo de Usted.

ATENTAMENTE


DR. HUMBERTO MARENGO MOGOLLÓN
COORDINADOR

C.c.p. Ing. José A. Gracia García Sánchez.- Gerente Técnico de Proyectos Hidroeléctricos.
Ing. Daniel Farjeat Páramo.- Gerente de Construcción de Proyectos Hidroeléctricos.
Ing. David Yáñez Santillán.- Gerente de Ingeniería CIISA
Ing. J. Rodolfo Cervantes Avilez.- Jefe de Proyecto
Expediente
Minutario.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCG/SEAC/UTIT/096/08

Señor
OMAR TORREBLANCA CRUZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. VÍCTOR MANUEL MOZO Y TENORIO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA.

"LA IMPORTANCIA DE LA TOPOGRAFÍA EN LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA "CASO ESTUDIO P.H. EL CAJÓN"

- INTRODUCCIÓN
- I. PROYECTO HIDROELÉCTRICO "EL CAJÓN"
 - II. OBRAS DE DESVÍO
 - III. OBRAS DE CONTENCIÓN
 - IV. OBRAS DE GENERACIÓN
 - V. OBRAS DE EXCEDENCIAS
 - VI. OBRAS ASOCIADAS-CAMINOS
 - VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 3 de Diciembre del 2008.
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA
GGZ/RSU/gar.

DEDICATORIA:

A MIS PADRES MIGUEL A. Y ELVIA LES DEDICO ESTA TESIS POR EL AMOR, APOYO ECONÓMICO Y MORAL QUE REALIZARON EN MÍ DURANTE EL TIEMPO QUE LOS NECESITÉ PARA CONCLUIR MIS ESTUDIOS. GRACIAS NUEVAMENTE POR SUS VALIOSOS CONSEJOS, APOYO Y POR CONFIAR EN MÍ PARA REALIZAR MIS PRÁCTICAS PROFESIONALES EN LA PRESA "HIDROELÉCTRICA EL CAJÓN" PARA DESARROLLAR ESTA TESIS.

A MIS HERMANDOS OSCAR Y OCTAVIO POR SU APOYO MORAL Y POR CONFIAR EN MÍ EN TERMINAR ESTA CARRERA.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MI MÁXIMA CASA DE ESTUDIOS, EN CUYAS AULAS ME INICIÉ Y ME FORMÉ COMO INGENIERO.

AL ING. VICTOR M. MOZO Y TENDRID POR SUS VALIOSOS CONSEJOS Y ORIENTACIÓN DURANTE MI CARRERA. GRACIAS POR LA CONFIANZA QUE DEPOSITÓ EN MÍ PARA PARTICIPAR EN LOS PROYECTOS REALIZADOS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA CON EMPRESAS PÚBLICAS Y PRIVADAS.

A MIS PROFESORES EN GENERAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA POR SUS VALIOSOS CONOCIMIENTOS QUE RECIBÍ DURANTE MI CARRERA.

A MIS COMPAÑEROS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA POR TODO EL TIEMPO QUE PASAMOS Y CONVIVIMOS JUNTOS. GRACIAS.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
PROBLEMAS A RESOLVER	2
ALCANCES	2

CAPÍTULO I

PROYECTO HIDROELÉCTRICO “EL CAJÓN”	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Ubicación	4
1.3 Estudios preliminares	5
1.3.1 Topografía	5
1.3.2 Hidrología	5
1.3.3 Geología	7
1.3.4 Bancos de materiales	7
1.4 Supervisión	8
1.5 Ventajas de las centrales hidroeléctricas	9
1.6 Principales obras que conforman el P.H. “El Cajón”	10

CAPÍTULO II

OBRAS DE DESVÍO	12
2.1 Descripción de la obra de desvío	12
2.1.1 Túnel de desvío	12
2.1.2 Ataguías	14
2.2 Actividades topográficas	
2.2.1 Murete de protección en portales de entrada	16
2.2.2 Murete de protección en portales de salida	18

CAPÍTULO III

OBRAS DE CONTENCIÓN	19
3.1 Descripción de la obra de contención	19
3.1.1 Plinto	19
3.1.2 Cortina	20
3.2 Elementos geométricos de la cortina	23
3.3 Procedimiento de construcción y diseño de la cortina	25
3.3.1 Colocación de materiales	25
3.3.2 Cortina de concreto	31
3.4 Topografía de obras	35
3.4.1 Planimetría de obras	35
3.4.2 Levantamiento físico del bordillo de concreto extruído	43
3.4.3 Altimetría de obras	46
3.4.3.1 Cálculo de volumen de las losas de concreto	46
3.4.3.2 Cálculo de volumen de diferentes materiales	49
3.4.3.3 Volumen de bancos de materiales	59

CAPÍTULO IV

OBRAS DE GENERACIÓN	76
4.1 Descripción de la obra de generación	76
4.1.1 Canal de llamada	78
4.1.2 Obra de toma	79
4.1.3 Tuberías a presión	80
4.1.4 Casa de máquinas	81
4.1.5 Galería de oscilación	83
4.1.6 Túnel de desfogue	84
4.2 Trabajos topográficos realizados en la obra de toma	86
4.2.1 Excavación en canal de llamada y bocatomas	86
4.2.2 Colocación de niveles para el armado de refuerzo de acero y cimbra en las dos unidades de bocatomas	87
4.2.3 Colocación de ménsulas de acero para el soporte de vigas de acero	90
4.3 Trabajos topográficos realizados en las tuberías a presión	93
4.3.1 Excavación en el ramal inclinada y ramal horizontal de las tuberías a presión 1 y 2	93
4.3.2 Colocación de anclajes de fricción para roca	102

4.3.3 Colocación de rieles de acero para el soporte de canutos o blindajes de acero en las tuberías o conducciones a presión	105
4.3.4 Trazo de la transición de rectangular a circular	106
4.4 Trabajos topográficos realizados en casa de máquinas	110
4.4.1 Túnel de acceso a casa de máquinas	110
4.4.2 Excavación en casa de máquinas	111
4.4.3 Galería de inspección, galería intermedia y piso de turbina	114
4.4.4 Cálculo de áreas en bóvedas subterráneas	121
4.5 Trabajos topográficos realizados en galería de oscilación, túnel de desfogue y subestación eléctrica	126
4.5.1 Excavación en galería de oscilación	126
4.5.2 Excavación y colado en bóveda del túnel de desfogue	128
4.5.3 Subestación eléctrica	132
CAPÍTULO V	
OBRA DE EXCEDENCIAS	135
5.1 Descripción de la obra	135
5.1.1 Canal de llamada	135
5.1.2 Estructura de control	136
5.1.3 Canal de descarga	138
5.2 Trabajos topográficos realizados en canal de llamada	139
5.2.1 Excavación en canal de llamada, estructura de control y canales de descarga	139
5.2.2 Tratamiento de talud y bermas del canal de llamada	141
5.2.2.1 Excavación y revestimiento de concreto de contracunetas en bermas en loma oriente del canal de llamada	143
5.2.3 Muro alabeado	147
5.2.4 Plataforma de estacionamiento para protección contra voladuras	148
5.2.5 Banco de desperdicio	149
5.3 Procedimiento constructivo del vertedor	152
5.3.1 Desplante de la estructura de control	153
5.3.1.1 Reposición de concretos para el desplante de la estructura de control	157
5.3.1.2 Geometría del cimacio	158
5.3.2 Construcción y diseño de las pilas de concreto	
5.3.2.1 Chequeo del talud en perfil del refuerzo de acero y paño de concreto de la nariz del cuerpo de la pila	159
5.3.2.2 Chequeo en planta del refuerzo de acero y paño de concreto de la geometría de la nariz del cuerpo de la pila	160

5.3.2.3 Ranuras para compuertas radial	163
5.3.3 Diseño geométrico y topografía del canal de descarga	167
5.3.3.1 Tratamiento de anclaje en taludes	168
5.3.3.2 Galería de inspección y drenaje del canal de descarga	170

CAPÍTULO VI

OBRAS ASOCIADAS – CAMINOS 175

6.1 Vialidades 175

6.2 Elementos de una sección transversal de un camino 176

6.2.1 Corona 176

6.2.2 Subcorona 178

6.2.3 Cuneta 178

6.2.4 Contracuneta 180

6.2.5 Talud 180

6.2.5.1 Protección de taludes 181

6.2.6 Acotamientos 181

6.2.7 Pendiente máxima 182

6.2.8 Partes complementarias 182

6.2.8.1 Guarniciones 182

6.2.8.2 Banquetas 182

6.2.8.3 Fajas separadas y camellones 183

6.3 Estándar de proyecto 183

6.4 Clasificación de los caminos 184

6.4.1 Clasificación de los caminos de acuerdo con el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) 184

6.4.2 Clasificación de los caminos en cuanto a su finalidad y la zona en que se ubicarán 185

6.4.3 Clasificación de los caminos desde el punto de vista administrativo 186

6.4.4 Clasificación de los caminos en cuanto al tipo de pavimento 187

6.5 Velocidad de proyecto 187

6.5.1 Velocidad de operación 190

6.5.2 Velocidad de marcha 190

6.5.3 Velocidad de punto 190

6.5.4 Grado máximo de curvatura 190

6.6 Distancia de visibilidad 190

6.6.1 Distancia de Visibilidad de Parada (DVP) 190

6.6.2 Distancia de Visibilidad de Revase (DVR) 192

6.6.3 Distancia de visibilidad en curvas horizontales 194

6.6.4 Distancia de visibilidad en curvas verticales	195
6.6.5 Distancia de visibilidad de encuentro	196
6.6.6 Distancia de visibilidad de decisión	196
6.7 Alineamiento horizontal	197
6.8 Alineamiento vertical	199
6.8.1 Pendientes	199
6.8.2 Rampas de escape para camiones	200
6.9 Diseño y procedimiento de construcción del camino El Cajón-Ayotita	202
6.9.1 Generalidades	202
6.9.2 Geología	202
6.9.3 Análisis de estabilidad	203
6.9.4 Elementos de una curva circular simple	204
6.9.5 Tipos de secciones transversales de terracerías	205
6.9.6 Proyecto geométrico del camino “El Cajón – Ayotita”	205
6.9.6.1 Trazo del eje y de las curvas horizontales del Km 52+186.38 al Km 54+200	207
6.9.6.2 Secciones transversales del Km 52+262.733 al Km 54+200	239
6.9.6.3 Perfil del terreno natural y de la capa subrasante del Km 52+170 al Km 54+100 y cálculo de volúmenes de obra	247
6.9.6.4 Ejecución de trabajos de terracerías	264
CAPÍTULO VII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	266
7.1 Conclusiones	266
7.2 Recomendaciones	266
Apéndice A. Estaciones Totales	267
Apéndice B. Constantes de prismas	271
Apéndice C. Planos	272
Glosario	278
Referencias bibliográficas	279

INTRODUCCIÓN

El campo de trabajo del Ingeniero Topógrafo y Geodesta es amplio, su participación en una obra civil como el Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón” abarca desde el posicionamiento de puntos de control terrestre; el trazo de caminos de acceso para ejecutar cada una de las estructuras que forman las obras de este mismo proyecto, hasta el último detalle de las obras civiles.

La Topografía es una ciencia aplicada a la geometría, la trigonometría, la física y la astronomía, sin el conocimiento de esta ciencia no podría el ingeniero por sí solo proyectar ninguna obra. Sin un buen plano no podría proyectar un edificio o trazar linderos; sin el levantamiento de secciones transversales no le sería posible proyectar presas, puentes, caminos de acceso o terracerías, carreteras, canales, túneles, galerías, montaje de piezas electromecánicas en zonas terrestres y subterráneas, etc.

En la construcción del Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”, el área de Topografía General en coordinación con las demás áreas de supervisión desempeñó un papel muy importante durante la construcción de cada una de las obras que comprenden una central hidroeléctrica como son: Obras de Contención, Obras de Excedencias, Obras de Generación, Obras de Desvío y por último las Obras Viales.

Con los puntos de control terrestre se realizan poligonales de apoyo para revisar los valores de las coordenadas X Y Z de cada mojonera y evitar errores en las coordenadas en el momento de orientar la Estación Total. Con estos puntos se desarrollaron la supervisión topográfica durante todo el proceso de ejecución de los trabajos topográficos como son: la excavación subterránea y a cielo abierto; configuraciones de bancos de material (2, 3B, T, 4), caminos, taludes, cerros, cárcamos, etc.; tratamiento de la roca que consiste en barrenación para anclaje y drenaje; lanzamiento de concreto; colocación de acero, cimbras y concreto; así como el montaje de equipo electromecánico.

La actividad topográfica se limita hasta el último detalle tanto dimensional como geométrico y de localización de puntos con el sistema de coordenadas empleados en el proyecto en todas las obras.

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer a los estudiantes de las carreras de ciencias de la tierra, especialmente la carrera de Ingeniería Topográfica y Geodésica (actualmente Ingeniería Geomática), la importancia y aplicación de la topografía en varias áreas de la construcción desde planimetría y altimetría tanto en levantamientos de superficies como subterráneas hasta levantamientos fotogramétricos y con GPS. En esta tesis se presenta todas las actividades relacionadas con Topografía que desarrollé durante mi estancia en el Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón” y en cada capítulo se presentan dichas actividades para cada obra o estructuras principales que conforman el proyecto hidroeléctrico.

OBJETIVOS

- Aplicar los conocimientos para realizar cualquier levantamiento topográfico (planimetría y altimetría). Realizar levantamientos terrestres y subterráneos así como trazar las configuraciones o detalles de las galerías, túneles y frentes.
- Analizar y ejecutar los métodos más convenientes para posicionar puntos de control terrestre, y junto con los supervisores resolver los problemas que se presenten en esta obra civil.
- El objetivo de la topografía en la construcción de la obra civil y electromecánica en el Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón” fue llevar a cabo la supervisión durante la construcción de cada una de las estructuras que conforman el proyecto, realizando todas las actividades necesarias para contar con referencias, ejes (Ejemplo: eje de unidades, eje de túnel de desfogue, eje de casa de máquinas, eje de la cortina, etc.) y puntos de control terrestre (mojoneras, bancos de nivel y placas de acero empotrados en el piso) en coordenadas UTM (Universal Transversal of Mercator) o Locales (Topográficas).

PROBLEMAS A RESOLVER

- Mantener actualizados las referencias y puntos de apoyo en cada una de las diferentes estructuras de una obra (obras de contención, de generación, etc.) para que la supervisión topográfica sea rápida y confiable.
- Dar aviso algunos detalles que le falten a los planos en ejecución o algunas modificaciones que se presenten en la obra civil por parte de la Constructora El Cajón S.A. (CECSA) y de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para los planos en revisión.
- Cooperar y apoyar a la empresa constructora Duero Ingeniería para el montaje de equipo electromecánico como compuertas, turbinas, canutos (placa circular de acero para el blindaje de las tuberías a presión), etc..

ALCANCES

- Dar apoyo a los diferentes frentes de supervisión en cuanto a trabajos topográficos se refiere para la conciliación de estimaciones, avances de obra, verificación de trabajos realizados por parte del contratista de obra civil.

Capítulo

1

**PROYECTO
HIDROELÉCTRICO
"EL CAJÓN"**

CAPITULO I

PROYECTO HIDROELÉCTRICO “EL CAJÓN”

1.1 Antecedentes

El Proyecto Hidroeléctrico El Cajón forma parte del Sistema Hidrológico Santiago, el cual comprende 27 proyectos con un potencial hidroenergético de 4 mil 300 MW. De este sistema, sólo se ha desarrollado 32%, representado por la construcción de seis centrales. El Cajón ocupa el segundo lugar en potencia y generación, después de la Central de Aguamilpa-Solidaridad.



Figuras 1.1 y 1.2. Ubicación de la presa El Cajón en el mapa del Estado de Nayarit.

Los estudios básicos en el sitio demostraron la factibilidad del proyecto y condujeron a la realización de estudios específicos para precisar el conocimiento topográfico, geológico, geotécnico, social y ambiental del área. Su embalse contribuirá a realizar los escurrimientos de su cuenca y beneficiará a la Central Hidroeléctrica Aguamilpa-Solidaridad ya que al recibir su vaso las aportaciones reguladas del río, incrementará su generación firme y se reducirán las probabilidades de derrama por el vertedor. El aprovechamiento permitirá la generación de energía eléctrica mediante dos unidades de 375 MW cada una, por lo que se tiene prevista una generación media anual de 1 228.64 GWh.

El acceso a la obra es a partir de la Ciudad de Tepic y tomando la carretera federal en dirección a Guadalajara, en el km 30 se toma la desviación a Santa María del Oro. Después de recorrer 20 km pavimentados se continúa por un camino de terracería de 40 km de longitud hasta el sitio del proyecto.

1.2 Ubicación

El sitio previsto para la construcción de las obras del proyecto se encuentra ubicado a 47 km en línea recta de la ciudad de Tepic, dirección sureste. Forma parte de los terrenos comunales del poblado Cantiles, sobre el río Santiago a 60 km aguas arriba de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa-Solidaridad, entre los municipios de la Yesca y Santa María del Oro. Sus coordenadas geográficas son 21°25'41” de latitud norte y 104°27'14” de longitud oeste.



Figura 1.3. Ubicación de la presa Aguamilpa y la presa El Cajón en el mapa del Estado de Nayarit.

1.3 Estudios Preliminares

Las obras de ingeniería generalmente las obras hidráulicas y especialmente las presas de almacenamiento, se requieren estudios e información básica para la elaboración de su diseño y construcción, así como también la localización de la misma en un plano topográfico. En general se requieren estudios de:

1.3.1 Topografía

Para la construcción de una presa, es necesario contar con levantamientos topográficos completos. Primero se realiza un levantamiento aerofotogramétrico de la zona en estudio para localizar geográficamente el sitio de la obra e informar las vías de comunicación y acceso al sitio de la obra, las poblaciones próximas a la obra. Estos datos pueden obtenerse de cartas geográficas elaboradas por instituciones de prestigio como INEGI. Con el levantamiento aerofotogramétrico se aportan datos de la dimensión, forma y demás elementos de la boquilla¹ y del cauce del río Santiago y nos da los primeros indicios del tipo de cortina adecuada a la misma, también se obtiene la gráfica Elevaciones – Capacidades del Vaso – Áreas.

El levantamiento de la boquilla¹ se realiza con el objeto de disponer de un plano topográfico detallado para el proyecto de la cortina; contar con un apoyo para los estudios geológicos y establecer puntos que puedan emplearse para el control de líneas y niveles durante la construcción de la presa. El levantamiento de la boquilla prácticamente consiste en trazar la línea correspondiente al eje probable de la cortina. Este eje se materializa en sus extremos con mojoneras o monumentos de concreto, y sirve de apoyo a una red de poligonales que permiten un levantamiento detallado del sitio de la boquilla y se extiende unos 500 metros aguas arriba y aguas abajo.

La Comisión Federal de Electricidad realizó un levantamiento aerofotogramétrico de la boquilla¹, posteriormente se realizó un estudio fotogramétrico del vaso, de donde se obtuvo el plano topográfico a escala 1:20 000, con curvas de nivel, a partir del cual la Secretaría de Recursos Hidráulicos determinó la curva de elevaciones capacidades del vaso y que fue utilizada en los estudios de funcionamiento y de tránsito de avenidas.

1.3.2 Hidrología

Como requisito indispensable se debe contar con un estudio hidrológico para conocer el régimen de la corriente por aprovechar, la precipitación pluvial tomando en cuenta el periodo de estiaje y con ello determinar la capacidad útil de la presa y volumen de agua del embalse, que sumada al azolve probable dará el volumen al NAMO del vaso de almacenamiento (embalse).

¹Boquilla: Abertura o estrechamiento del cauce de un río.



Fotografía 1. Vista parcial del área que abarcará la presa El Cajón

- Temperatura media mensual máxima de 32°C en el mes de mayo y mínima de 23,2°C en los de enero.
- Evaporación media mensual máxima de 317,8 mm en mayo y mínima de 129 mm en diciembre.
- Precipitación media mensual máxima de 242,1 mm en julio y mínima de 0,2 mm en diciembre.
- Escurrimiento medio mensual máximo de 852 millones de metros cúbicos en los meses de agosto y mínimo de 83 millones de metros cúbicos en los de febrero.
- En la zona de las obras, la temporada de lluvias se presenta muy marcada entre los meses de junio a octubre y el estiaje entre noviembre a mayo. Durante el invierno se presentan lluvias en un porcentaje ligeramente mayor al 5% de la media anual.

• Área de la cuenca aportadora	54 198 km ²
• Volumen de escurrimiento medio anual histórico (1949-1999)	4 026 hm ³
• Volumen de escurrimiento medio anual menos usos futuros	3 326 hm ³
• Volumen medio aprovechable	3 166 hm ³
• Gasto medio anual menos usos futuros	105 m ³ /s
• Gasto máximo registrado	7 029 m ³ /s
• Área de la cuenca	54 198 km ²
• VMA menos usos y retornos futuros (1998-2046)	3 326 hm ³
• Gasto medio aprovechable (1998-2046)	105 m ³ /s
• Gasto de la avenida de diseño para desvío	7 029 m ³ /s
• Gasto de la avenida de diseño para vertedor	14 864 m ³ /s

1.3.3 Geología

Antes de iniciar las obras se realizaron importantes estudios que dieron por resultado un profundo conocimiento de la geología del lugar y de las discontinuidades estructurales existentes en el macizo rocoso, incluso se excavaron cuatro túneles y varias galerías en las márgenes del río, además de los trabajos geofísicos, geológicos, de perforación, permeabilidad e instrumentación.

La geología permite estudiar el comportamiento estructural y las características de permeabilidad de las formaciones geológicas de la cuenca hidrológica. Las fallas, los plegamientos, los estratos, los derrames de lava, el grado de alteración de las formaciones y su origen que se presentan en el lugar por construir, son datos importantes durante la etapa de estudios previos al diseño de las presas.

También, bajo el punto de vista geológico estructural, el macizo rocoso del proyecto se encuentra intrusionado, basculado y claramente delimitado por el fallamiento regional, que permitió la definición de bloques y subbloques. De acuerdo con los estudios realizados, las obras se emplazaron principalmente en roca ignimbrita de composición riodacítica, la cual se diferenció en tres unidades. Entre estas unidades aparecen dos horizontes aglomeráticos, uno de cinco metros de espesor entre las unidades dos y tres, y otro de 22 a 25 m ubicado en la segunda unidad, en el macizo rocoso del sitio donde se encuentran las obras y en especial en la margen izquierda.

Esta situación implica que en dicha margen se prevea tener mayores tratamientos a la roca para la construcción de las obras exteriores y subterráneas. Las ignimbritas son rocas de origen volcánico, extraordinariamente heterogéneas de muy buena calidad, pero que al momento de enfriarse pueden haber sufrido fracturas importantes por lo cual debe tenerse especial cuidado en el tratamiento de la roca.

1.3.4 Bancos de materiales

Por otra parte, se realizó un exhaustivo reconocimiento en los bancos de materiales (aluvión del río y enrocamiento) y una extensa campaña de investigaciones geotécnicas para definir los parámetros de resistencia, deformación y permeabilidad del macizo rocoso. En la actualidad, se cuenta con suficientes estudios y un análisis geológico-geotécnico que han permitido prediseñar las obras civiles estimando las cantidades de obra y costo de las mismas con mayor certidumbre. Dichos bancos de material sirven tanto para el núcleo como para los filtros y transiciones en la colocación de los mismos en el cuerpo principal de la cortina.

1.4 Supervisión

De acuerdo con las Especificaciones de Construcción de Obra Civil del P.H. El Cajón, el contratista tiene la obligación de contar con personal que supervise e inspeccione todas las etapas del proceso de producción, transporte, colocación, colado y revestimiento de concreto, de acuerdo con lo siguiente:

- Inspecciones previas al colado: cimbra, acero de refuerzo, concreto, transporte del concreto, elementos ahogados, juntas de construcción y de control, líneas y niveles.
- Inspecciones durante el colado: en la planta de concreto, en el transporte del concreto y en el sitio de colado.
- Inspecciones posteriores al colado: juntas de construcción, juntas de contracción, remoción de cimbras, curado del concreto, acabados, líneas, niveles y dimensiones del concreto endurecido, defectos de construcción menores y defectos de construcción mayores y reparaciones.

El contratista debe dar las facilidades a Comisión para que verifique el cumplimiento de las especificaciones, donde y cuando lo juzgue necesario. Desde el inicio de las actividades de la colocación del concreto se debe hacer un muestreo en todos los colados por cada mezcla utilizada, con el objeto de llevar un control estadístico del concreto colado. Estos muestreos son en series de seis cilindros fabricados en planta y/o campo según se requiera, para ensayos a compresión a siete, 28 y 90 días

Entre los trabajos más impresionantes hasta el momento destaca la construcción de las obras hidráulicas de desvío, las cuales consisten en dos túneles de sección portal de 14 m por 14 m y una longitud de 734 m y 835 m.

Para la excavación de los túneles se emplearon explosivos y maquinaria específica óptima. Después de detonada la carga explosiva, se procede a retirar el material y dar paso al lanzamiento de concreto para estabilizar o sostener el terreno. Esta operación es repetida diariamente para dar avance a la obra.

Dentro del concreto lanzado se está empleando Sigunit L-50 AFX, aditivo acelerante de fraguado líquido libre de álcalis. Este aditivo de tecnología suiza se usa actualmente en el túnel de San Gottardo, en Suiza, que será el más largo del mundo. Posterior a la excavación y sostenimiento de los túneles se procede a la estabilización de la roca mediante preanclajes, anclajes y concreto lanzado.

En los portales de entrada y salida a su vez se utilizan marcos metálicos como soporte. En su primera etapa, la central hidroeléctrica deberá iniciar operaciones el 28 de febrero de 2007 y la segunda el 31 de mayo del mismo año. Sin embargo, no será sino hasta el verano de 2007 cuando iniciará la etapa comercial con una capacidad de generación de entre 750 y 800 megawatts en sus dos unidades y 40% de integración nacional.

La puesta en servicio de dos unidades turbogeneradoras equipadas tipo Francis, y los valores garantizados de potencia a diferentes caídas hidráulicas, no podrán tener una potencia menor de por lo menos de 670 MW.

1.5 Ventajas de las centrales hidroeléctricas

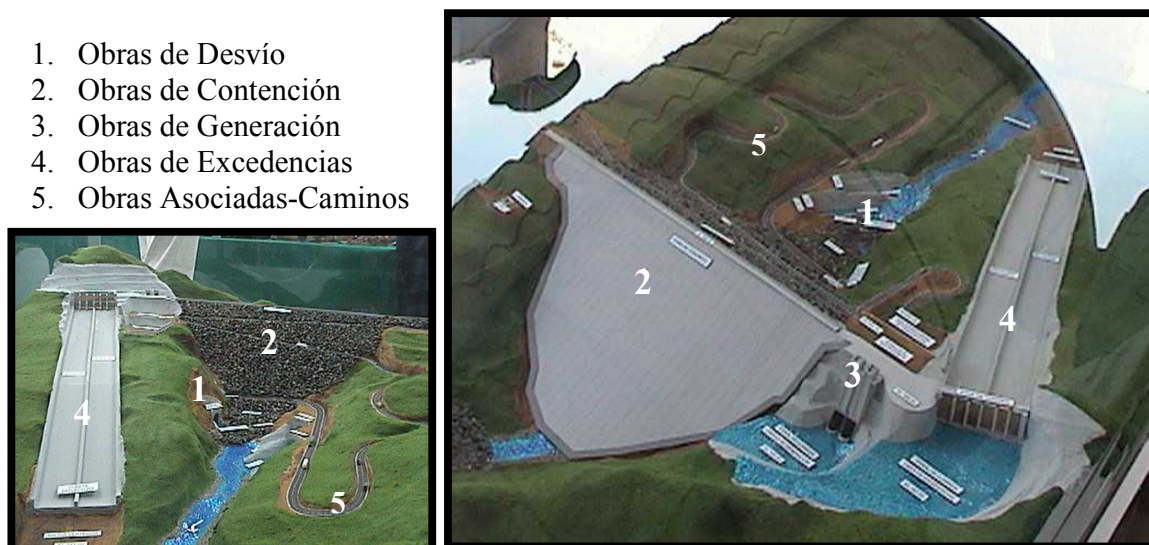
Las ventajas de las centrales hidroeléctricas son evidentes:

- a. No requieren combustible, sino que usan una forma renovable de energía, constantemente repuesta por la naturaleza de manera gratuita.
- b. Es limpia, pues no contamina ni el aire ni el agua.
- c. A menudo puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y aún ornamentación del terreno y turismo.
- d. Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
- e. Las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable.
- f. La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia siendo sus costes de mantenimiento, por lo general, reducidos.

1.6 Principales obras que conforman el P.H. “El Cajón”:

- Obras de Desvío: Su función principal es desviar el flujo de agua del Río Santiago hacia la margen izquierda o derecha del cauce del mismo río y junto con las ataguías para poder realizar la obra civil en dicho cauce.
- Obras de Contención: Consiste en almacenar el mayor volumen de agua en millones de metros cúbicos, proveniente de las precipitaciones pluviales y enviar el flujo de agua hacia la obra de toma por medio del canal de llamada.
- Obras de Generación: Recibe el flujo de agua proveniente del vaso almacenador (embalse) por medio de dos compuertas de las unidades del bocatoma pasando por las tuberías a presión hasta llegar a las turbinas generadoras ubicadas en casa de máquinas.
- Obras de Excedencias: Esta estructura controla y regula los derrames de agua que se consideran excedentes de la capacidad útil del vaso de almacenamiento.
- Obras Asociadas: Se realizan obras para cubrir las necesidades del hombre como caminos, puentes, edificios para oficinas, clínicas, comedores, campamentos, talleres mecánicos, almacenes, subestación eléctrica, etc.

En la siguiente fotografía se muestra una maqueta de la planta general en donde se indican las cinco obras del proyecto Hidroeléctrico El Cajón:



Fotografía 3. Maqueta del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón.



Fotografía 2 Vista parcial de la presa El Cajón hasta Marzo del 2005.



Fotografía 4. Vista del avance de la presa El Cajón hasta Agosto de 2005.

Capítulo

2

OBRAS DE
DESVÍO

CAPÍTULO II

OBRAS DE DESVÍO

2.1 Descripción de la Obra de Desvío

Para la construcción de la presa El Cajón, especialmente la cortina de concreto es necesario desviar el flujo de agua del Río Santiago por otro rumbo, de esta manera se construyeron dos túneles de desvío y dos ataguías aguas arriba y aguas abajo.



Figura 2.1. Planta general de las obras de desvío.

Longitud Túnel 1	-----	706 m
Longitud Túnel 2	-----	786 m
Sección Túnel (Portal)	-----	14 x 14 m
Gasto Máximo	-----	6,500 m ³ /seg.

2.1.1 Túnel de Desvío

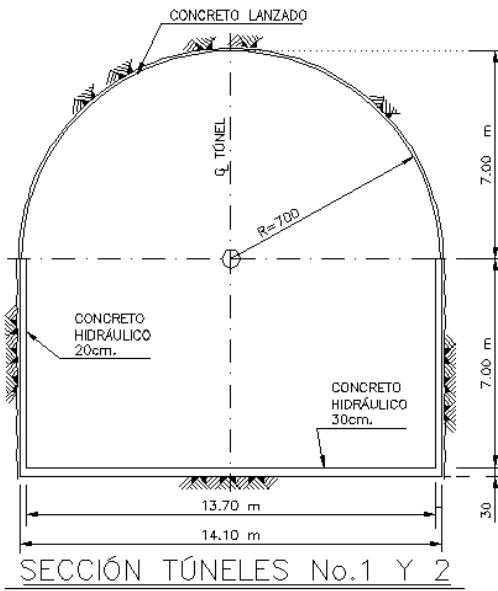
Consiste en dos túneles de sección portal, ambas de 14 m de ancho por 14 m de altura, localizados en la margen izquierda del río, excavados en roca revestidos de concreto hidráulico en la plantilla y paredes; así como de concreto lanzado en bóveda, diseñados para transitar la avenida de diseño (6 481 m³/s). Los portales de entrada y salida se excavaron en roca. Cada túnel cuenta con una lumbrera revestida de concreto para alojar y operar los obturadores accionados por malacates estacionarios para el control del flujo del agua. La compuerta se desliza a través de una lumbrera vertical, revestida de concreto, por medio de un malacate. El mecanismo instalado está en la plataforma junto al marco que soportará la compuerta durante el cierre final.

El túnel no. 1 inicia (portal de entrada) en la estación 0+098.129 con un azimut de $241^{\circ}30'57.20''$ posteriormente tiene una curva que inicia en la estación 0+557.899 y termina en la 0+616.975 con una deflexión de $24^{\circ}00'$ para continuar con un azimut de $266^{\circ}00'$ hasta el portal de salida en la estación 0+832.215. La elevación del piso a la entrada del túnel es de 223.00 msnm y a la salida 220.50 msnm.

El túnel no. 2 inicia (portal de entrada) en la estación 0+095.284 con un azimut de $241^{\circ}30'56.98''$ posteriormente tiene una curva que inicia en la estación 0+554.054 y termina en la 0+631.067 con una deflexión de $24^{\circ}00'$ para continuar con un azimut de $266^{\circ}00'$ hasta el portal de salida en la estación 0+906.307. La elevación del piso a la entrada del túnel es de 227.00 msnm y a la salida 220.50 msnm.



Fotografía 1. Túnel de desvío 1 y 2 (Portal de entrada).



Fotografías 2 y 3. Túnel de desvío 1 y 2 (Portal de salida).

2.1.2 Ataguías

Para el cierre del cauce del Río Santiago se complementa con dos ataguías construidas con materiales graduados, el núcleo impermeable de ambas está ligado a una pantalla impermeable construida sobre aluvión, hasta la roca sana del fondo del cauce del río, para evitar filtraciones hacia la zona de construcción de la cortina, garantizando la correcta construcción del núcleo y pantalla.

Para tener las condiciones adecuadas para el desplante del plinto (base cuadrada de la columna), consistente en mantener seca dicha zona, fue conveniente realizar la construcción de las ataguías antes del período de lluvias.

La ataguía aguas arriba se desplanta en la elevación 210.00 msnm hasta alcanzar la elevación de la corona 268.50 msnm y su eje principal sobre el centro de línea de la corona es un norte franco, la longitud sobre la corona de 240 m, los taludes que conforman dicha ataguía son de 1.75:1 aguas arriba y 1.5:1 aguas abajo.

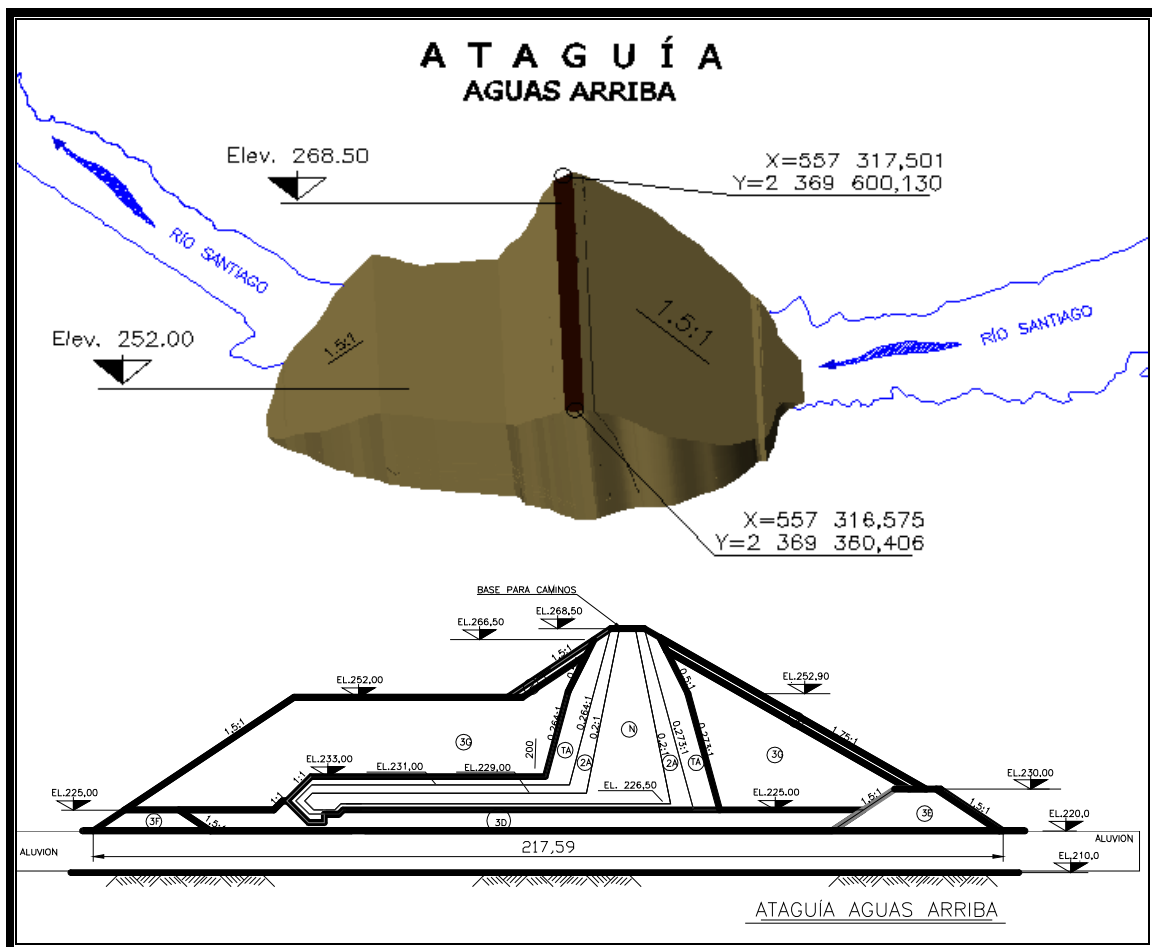


Figura 2.2. Ataguía aguas arriba (planta, perfil e isométrico).



Fotografías 4 y 5. Ataguía aguas arriba. En la siguiente fotografía, se encuentra la misma ataguía y al fondo se observa la cortina de concreto.

La ataguía aguas abajo se desplanta también en la elevación 210 msnm hasta la elevación 235 msnm de la corona, sobre el centro de la línea de la corona tiene una longitud de 136.71 m, dicho eje transversal al cauce del Río Santiago tiene un azimut de $289^{\circ}82'13.65''$ y se encuentra 787.01 m aguas abajo del centro de línea de la ataguía aguas arriba.

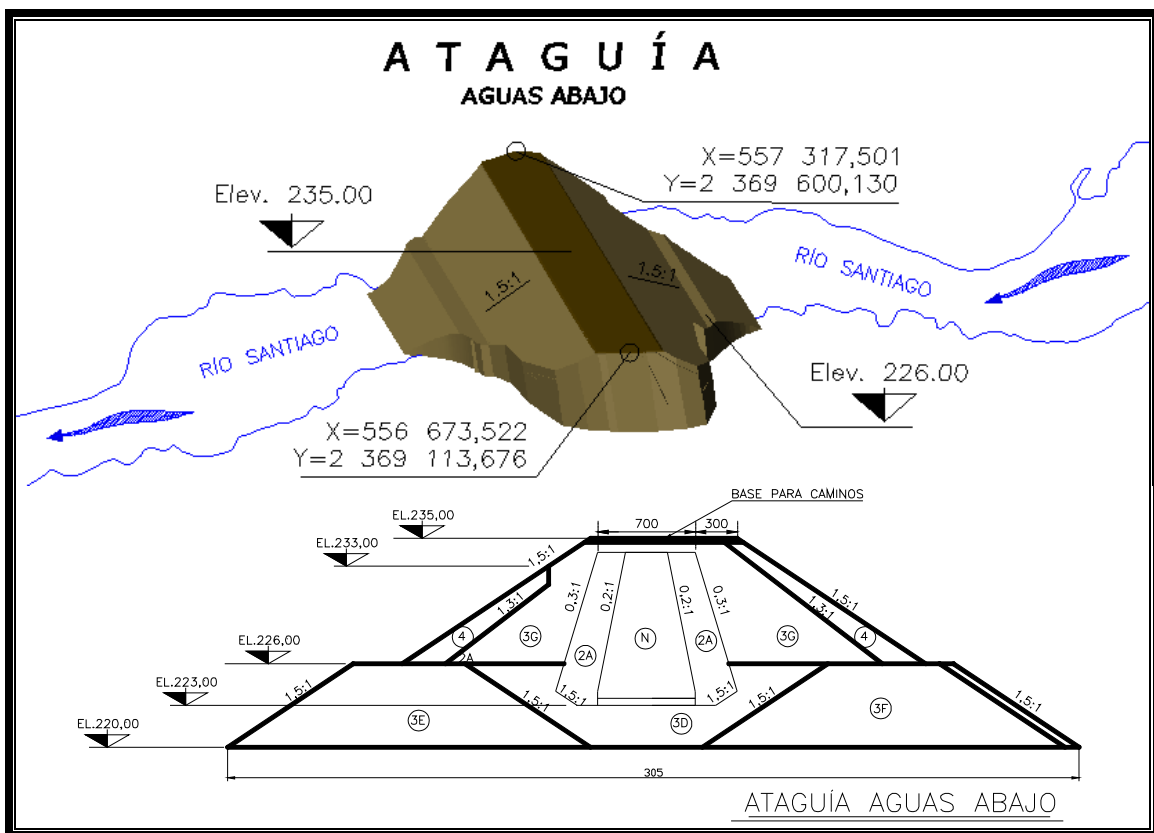


Figura 2.3. Ataguía aguas abajo (planta, perfil e isométrico).



Fotografía 6. Ataguía aguas abajo.

Para la estabilización de las excavaciones se realizaron los tratamientos al macizo rocoso, consistentes en preanclajes, anclajes, concreto lanzado, además de los portales de entrada y salida se utilizaron ademes a base de marcos metálicos.

2.2 Actividades topográficas

2.2.1 Murete de protección en portales de entrada

En la zona de los portales de entrada se colocó un murete de protección de concreto reforzado, por lo tanto se hizo el levantamiento topográfico para la colocación del murete de contención a la elevación de 255.00 m.s.n.m. con un talud de 0.25:1 (H:V), tomando en cuenta las coordenadas origen que son las siguientes mojoneras:

Mojonera	X	Y	
R - 2	556783.345	2369547.245	
D - 1	557214.560	2369241.100	Elev. 385.655

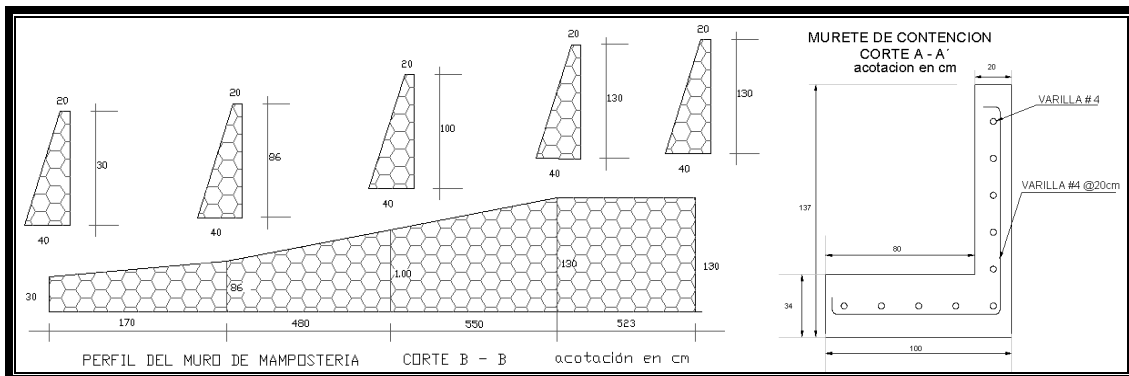


Figura 2.4. Corte longitudinal del murete de protección.

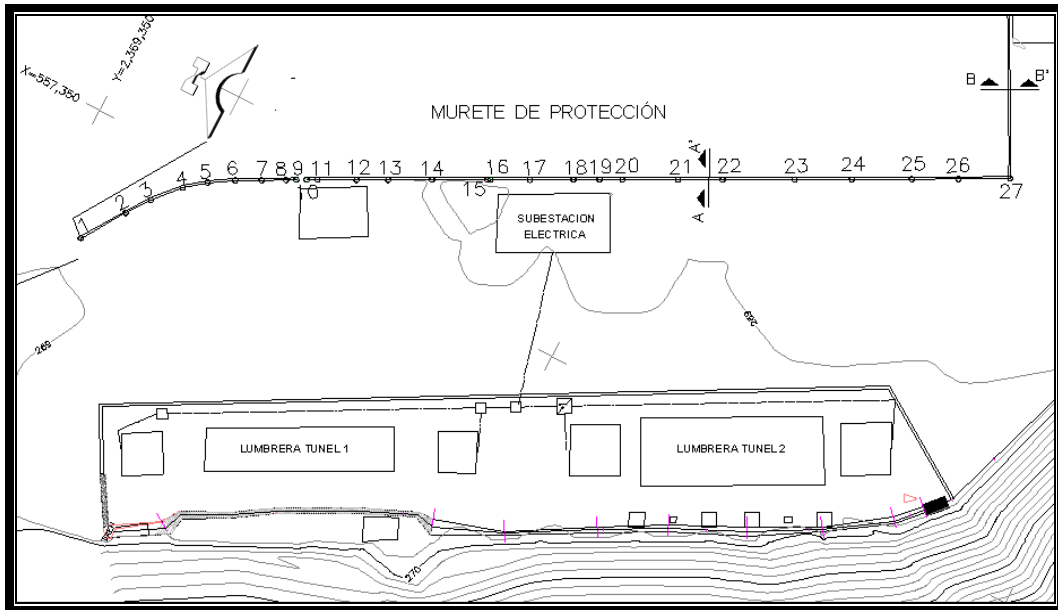


Figura 2.5. Ubicación del murete de protección en la zona de lumbreras de portales de entrada.

CUADRO DE CONSTRUCCIÓN - MURETE - PE						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST	PV				Y	X
				1	2,369,345.8050	557,338.2510
1	2	S 57°30'21.81" E	5.022	2	2,369,343.1070	557,342.4870
2	3	S 55°11'57.59" E	2.747	3	2,369,341.5390	557,344.7430
3	4	S 49°22'35.08" E	3.345	4	2,369,339.3610	557,347.2820
4	5	S 39°55'12.09" E	2.436	5	2,369,337.4930	557,348.8450
5	6	S 33°18'12.86" E	2.714	6	2,369,335.2250	557,350.3350
6	7	S 28°17'40.92" E	2.563	7	2,369,332.9680	557,351.5500
7	8	S 28°48'31.25" E	2.376	8	2,369,330.8860	557,352.6950
8	9	S 29°14'18.12" E	0.996	9	2,369,330.0166	557,353.1817
9	10	S 29°14'18.12" E	1.001	10	2,369,329.1430	557,353.6707
10	11	S 29°14'18.12" E	1.061	11	2,369,328.2170	557,354.1890
11	12	S 27°48'33.26" E	3.790	12	2,369,324.8650	557,355.9570
12	13	S 28°21'22.55" E	3.076	13	2,369,322.1580	557,357.4180
13	14	S 28°31'44.46" E	4.267	14	2,369,318.4090	557,359.4560
14	15	S 28°17'40.50" E	4.401	15	2,369,314.5340	557,361.5420
15	16	S 28°15'41.29" E	0.994	16	2,369,313.6586	557,362.0126
16	17	S 28°15'41.29" E	0.300	17	2,369,313.3942	557,362.1547
17	18	S 28°15'41.29" E	3.842	18	2,369,310.0100	557,363.9740
18	19	S 28°41'44.80" E	4.234	19	2,369,306.2960	557,366.0070
19	20	S 28°08'21.73" E	4.737	20	2,369,302.1190	557,368.2410
20	21	S 28°29'00.16" E	5.397	21	2,369,297.3750	557,370.8150
21	22	S 28°15'22.66" E	4.364	22	2,369,293.5310	557,372.8810
22	23	S 28°25'30.96" E	7.012	23	2,369,287.3640	557,376.2190
23	24	S 28°36'49.54" E	5.542	24	2,369,282.4990	557,378.8730
24	25	S 28°32'06.49" E	5.828	25	2,369,277.3790	557,381.6570
25	26	S 28°44'34.79" E	4.554	26	2,369,273.3860	557,383.8470
26	27	S 28°48'42.46" E	5.019	27	2,369,268.9880	557,386.2660
LONGITUD = 91.61 m						

2.2.2 Murete de protección en portales de salida

En la zona de los portales de salida también se colocó un murete de protección de concreto reforzado, por lo tanto se hizo el levantamiento topográfico para la colocación del murete de contención a la elevación de 255.00 m.s.n.m. con un talud de 0.25:1 (H:V), tomando en cuenta las mismas coordenadas origen de las mojoneras antes mencionadas.

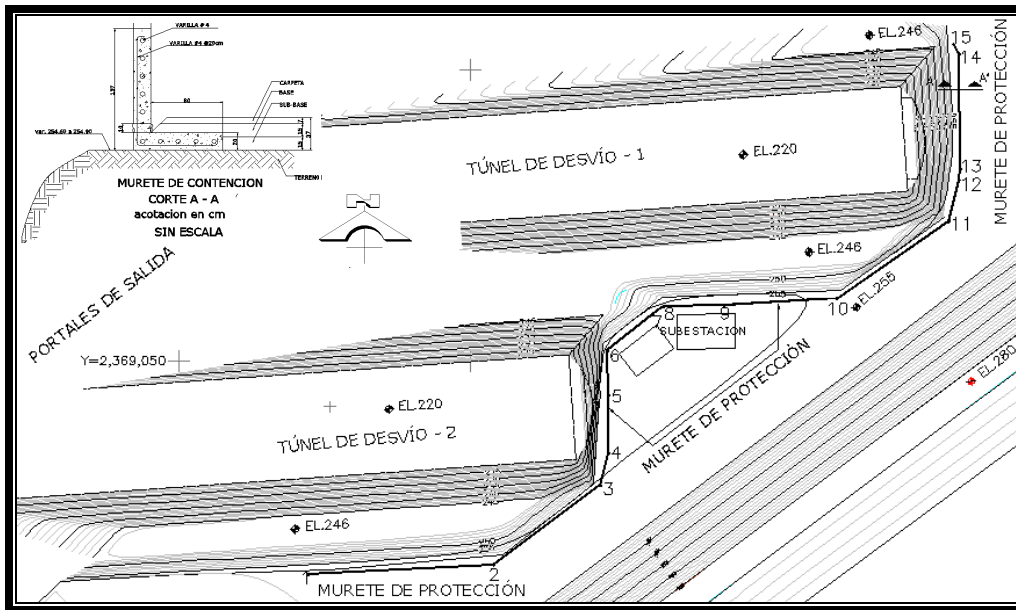


Figura 2.6. Ubicación del murete de protección en portales de salida.

CUADRO DE CONSTRUCCION - MURETE - PS								
LADO	EST	PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS		
						Y	X	
					1	2,369,013.2141	556,622.2404	
1	2		N 86°53'35.79" E	31.767	2	2,369,014.9358	556,653.9603	
2	3		N 53°37'08.57" E	22.916	3	2,369,028.5285	556,672.4099	
3	4		N 14°32'04.04" E	5.741	4	2,369,034.0858	556,673.8507	
4	5		N 00°20'40.27" W	9.924	5	2,369,044.0098	556,673.7910	
5	6		N 01°15'17.56" W	7.757	6	2,369,051.7650	556,673.6211	
6	7		N 51°09'31.73" E	9.863	7	2,369,057.9505	556,681.3031	
7	8		N 53°37'08.62" E	2.331	8	2,369,059.3334	556,683.1800	
8	9		N 89°09'07.97" E	10.386	9	2,369,059.4870	556,693.5646	
9	10		N 86°43'38.64" E	19.387	10	2,369,060.5938	556,712.9198	
10	11		N 55°16'27.91" E	23.415	11	2,369,073.9322	556,732.1646	
11	12		N 13°40'17.21" E	7.308	12	2,369,081.0334	556,733.8919	
12	13		N 07°24'18.35" E	1.902	13	2,369,082.9197	556,734.1371	
13	14		N 00°21'51.03" W	19.736	14	2,369,102.6552	556,734.0116	
14	15		N 31°36'56.65" W	1.908	15	2,369,104.2802	556,733.0113	
LONGITUD = 174.341 m								

Capítulo

3

OBRAS DE
CONTENCIÓN

CAPÍTULO III

OBRAS DE CONTENCIÓN

3.1 Descripción de la Obra de Contención

Estas obras se encuentran ubicadas sobre el cauce del Río Santiago; las estructuras principales que conforman las obras de contención se encuentran la cortina de concreto, la cortina de roca (enrocamiento) y el plinto. La función principal de estas obras es detener, almacenar y posteriormente enviar el flujo del agua hacia las tuberías a presión.

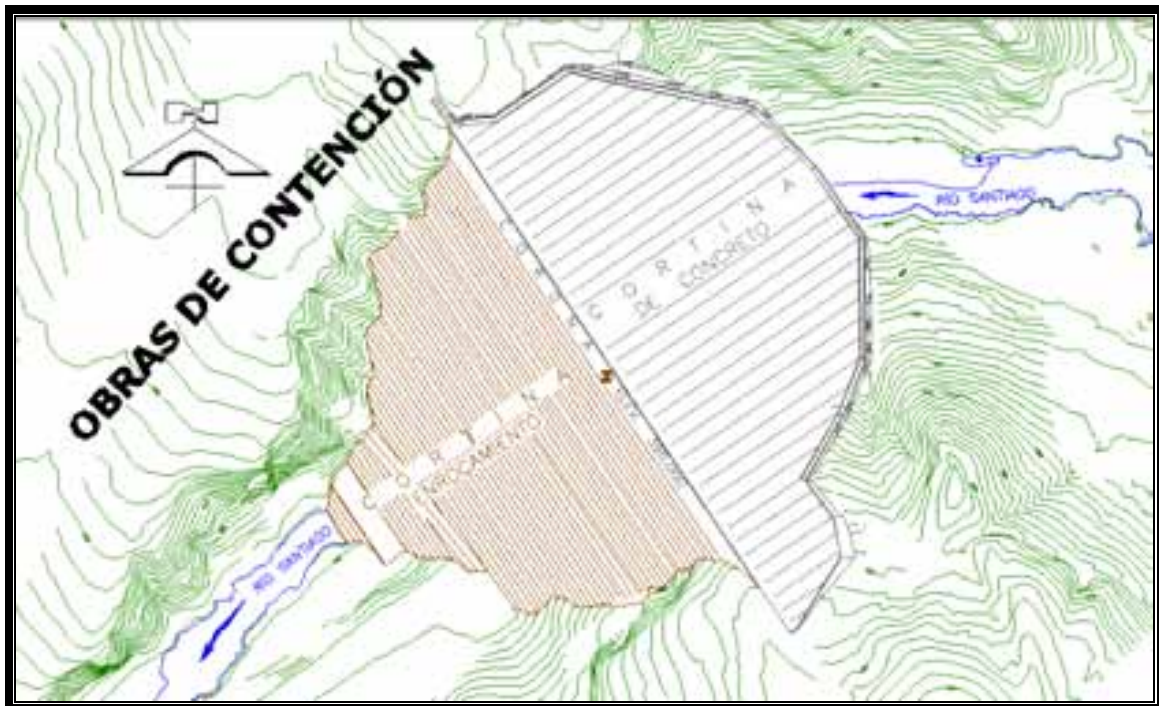


Figura 3.1. Planta general de las Obras de Contención.

3.1.1 Plinto

Es la estructura que recibe el empotramiento de la cara de concreto, que es propiamente el plano de cierre hidráulico de la presa. Es el principal asentamiento del cuerpo de la cortina de concreto que abarca desde aguas arriba pasando por las márgenes izquierda y derecha hasta llegar a la corona.

La cimentación del plinto es en roca, para evitar filtraciones se ha constituido una pantalla impermeable bajo la cimentación y en tres galerías por cada margen en el macizo rocoso.

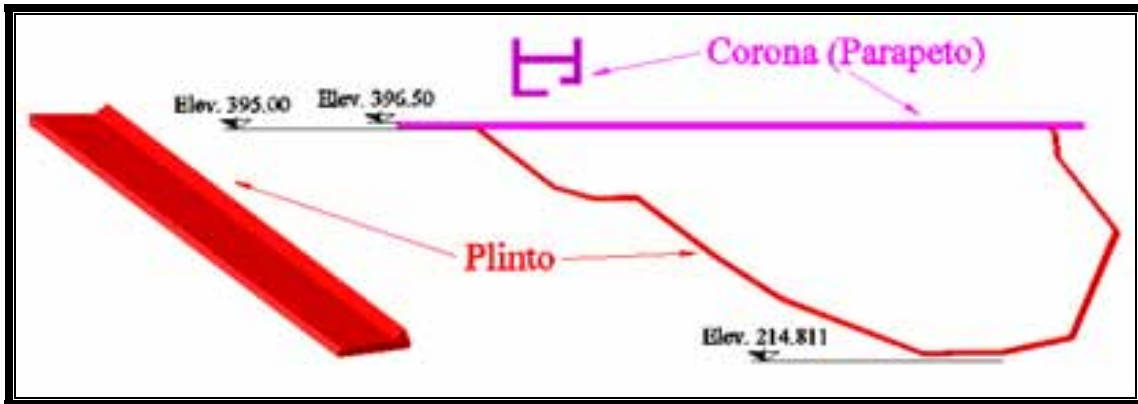


Figura 3.2. Ubicación del plinto en la cortina de concreto.



Fotografías 1 y 2. Plinto en la margen derecha.

3.1.2 Cortina

Es la estructura principal entre las obras de contención que se desplanta a la elevación 210 msnm entre las ataguías aguas arriba y aguas abajo hasta alcanzar la elevación de la corona 395 msnm, sobre el centro de línea de la corona tiene una longitud de 550 m. Dicho eje transversal al cauce del río Santiago tiene un azimut de $326^{\circ}00'32.82''$ y la altura total del desplante hasta la corona es de 186.5 m.

La cara aguas arriba de la cortina está formada por cara de concreto y la cara aguas abajo está formada por enrocamiento, ambas con taludes de 1.4:1 (H:V), su volumen asciende a cerca de 10.5 millones de metros cúbicos.

La cortina es del tipo de enrocamiento con cara de concreto (CFRD por sus siglas en inglés, figura 3.3). El cuerpo de la misma se compone de materiales graduados que dan apoyo a la cara de concreto formada por losas de concreto de aproximadamente 15 m de ancho y de espesor variable. La cara de concreto se apoya en el plinto que, además de esta función, es la plataforma para realizar las inyecciones de consolidación y pantalla impermeable. Junto con un sistema de galerías excavadas en ambas laderas adyacentes al empotramiento de la cortina, éstas formarán el plano de estanqueidad, (ver figura 3.2).

El colado de las losas de la cortina es por etapas, en la figura 3.4 se muestra la cara de la cortina de concreto y se observan tres líneas divisoras a lo largo de la cara de la cortina en la cual indican el avance y por etapas el colado de las losas.

La primera etapa abarca desde las losas de arranque que se desplantan en toda la cara del plinto hasta la elevación 280 msnm, la segunda etapa inicia de la primera junta de construcción hasta la elevación 340 msnm y la tercera etapa inicia de la segunda junta de construcción hasta la elevación 391.70 msnm. En total son 36 losas que inicia en la estación K 0 + 125.408 por la margen izquierda y termina en la estación K 0 + 660.361 por la margen derecha, con una longitud total de 534.953 m de la losa no. 1 a la losa no. 36.



Figura 3.3. Estructuras principales de las obras de contención.

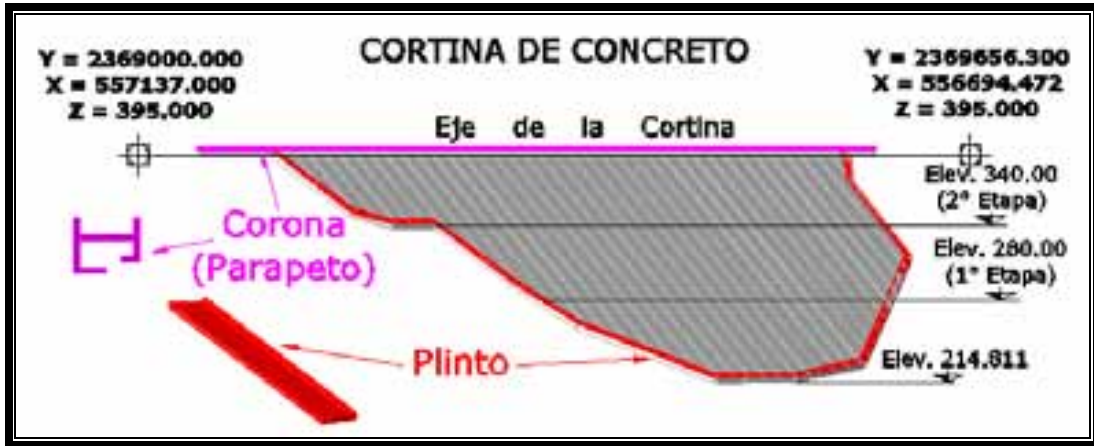


Figura 3.4. Vista general talud aguas arriba de la cortina de concreto.



Fotografía 3. Primera etapa del colado de la cortina de concreto.



Fotografía 4. Cortina de roca (enrocamiento) aguas abajo.

3.2 Elementos geométricos de la Cortina

En la siguiente figura se muestra los principales elementos y características geométricas de la cortina como son: corona, NAMO, NAME, bordo libre, talud, núcleo impermeable, respaldos, filtros y protecciones para oleaje y lluvia.

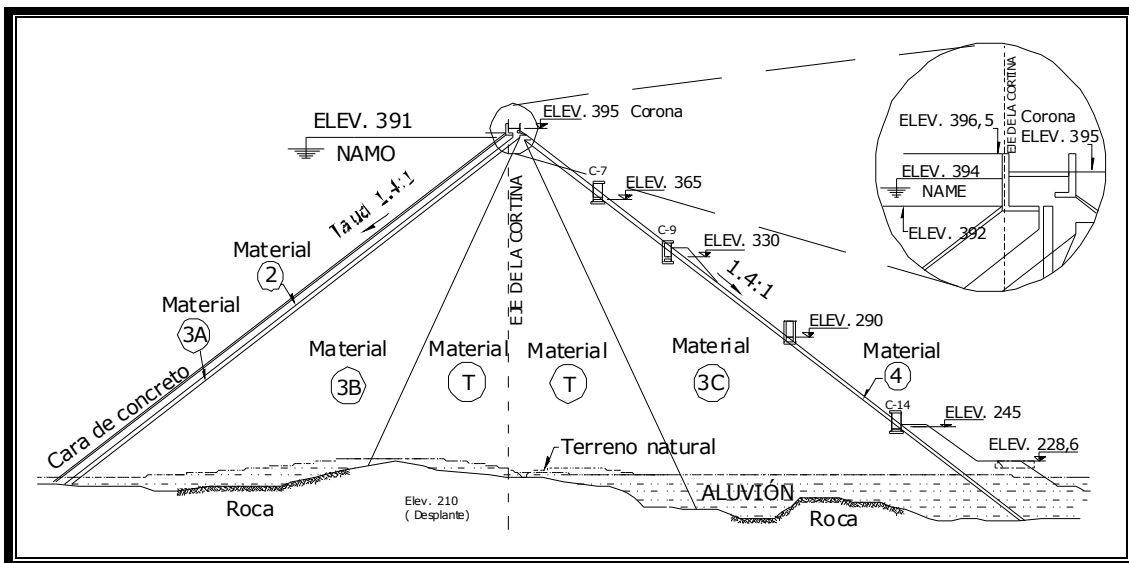


Figura 3.5. Elementos y características geométricas de la cortina.

Corona: Parte superior de la estructura (paramento), generalmente revestida de concreto para prevenir el secado del núcleo impermeable y proporcionar un camino para el tránsito de vehículos.

Altura: Diferencia entre las elevaciones de la corona y el desplante de la corona, la altura aproximada es de 186 metros.

NAME: Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias. Nivel máximo que alcanza el agua dentro del vaso de almacenamiento (embalse) de la presa al desfogar por el vertedor de excedencias.

NAMO: Nivel de Aguas Máximas Ordinarias. Nivel de agua en el vaso de almacenamiento (embalse) de la presa, resultante de la operación de la planta a su capacidad de diseño. El valor es utilizado para calcular el porcentaje de llenado de cada embalse de la presa de almacenamiento, se expresa en millones de metros cúbicos.

Bordo libre: Diferencia de elevaciones entre el nivel de la corona y el de aguas máximo extraordinarias (NAME); este último alcanza cuando el vertedor trabaja a su capacidad límite de descarga. El borde libre debe proteger a una presa, con cierto margen de seguridad, de los efectos del oleaje generado por el viento o sismos y tomar en cuenta el asentamiento máximo de la corona.

Talud: Es la pendiente que se aplica a la cortina de concreto y a la cortina de roca (enrocamiento), el talud aguas arriba y aguas abajo es de 1.4:1, es decir; 1.4 unidades horizontalmente y una unidad verticalmente, por esta razón se le asigna la siguiente expresión 1.4:1 (H:V).

Núcleo impermeable: Pantalla impermeable de la cortina construida con suelo compactado, este núcleo puede estar al centro y ser vertical o inclinado, o bien, localizado próximo al paramento de aguas arriba (material T).

Respaldos: Partes de la cortina construidas con materiales permeables como aluvión, enrocamiento (materiales 3C y 4), o bien suelos limosos o arcillosos colocados aguas abajo pero confinados por filtros.

Filtros: Elementos de la sección formados con arena fina, bien graduada, destinados a coleccionar las filtraciones a través del núcleo impermeable y protegerlo de una posible erosión interna (materiales 2 y 3A).

Protecciones: Para evitar la erosión causada por oleaje por el talud de aguas arriba (cortina de concreto) o por lluvias en el de aguas abajo (cortina de roca), los paramentos respectivos se forman con materiales capaces de resistir dicha acción.

3.3 Procedimiento de construcción y diseño de la Cortina

Para el desplante de la cortina se colocaron básicamente dos tipos de material, aluvión proveniente de los depósitos arcilloso o arenoso del cauce del río Santiago y el material de enrocamiento producto de las excavaciones. Durante la construcción de la cortina se colocaron diversos materiales proveniente de los bancos naturales y producto de las excavaciones ubicados en ambos márgenes del río Santiago. Dichos materiales fueron colocados por zonas y elevaciones bien definidas topográficamente dejando los taludes bien configurados sobre todo el de aguas arriba de 1.4:1 (H:V) que fue el apoyo para la losa de concreto, la cuál se empotró en forma perimetral en el fondo del cauce y la ladera de la boquilla mediante una zapata de concreto llamada plinto.

La cara de concreto se construyó por losas perpendiculares al eje de la cortina, dichas losas se desplantaron del plinto previamente construido en donde se ubicaron referencias topográficas en ambas laderas de tal forma que se conservara un paralelismo con el eje de la cortina para que se facilitar la verificación topográfica del talud en cada losa de concreto.

3.3.1 Colocación de materiales

Para la construcción de la cortina de concreto primero se colocan bordillos de concreto extruído que es el respaldo de la losa de concreto, cada 30 cm en forma escalonada con un talud de 1.4:1 (H:V), seguido de filtros o materiales graduados con tamaño máximo de 20 cm (material 2 y 3A) y finalmente el enrocamiento, como se muestra en la siguiente figura:

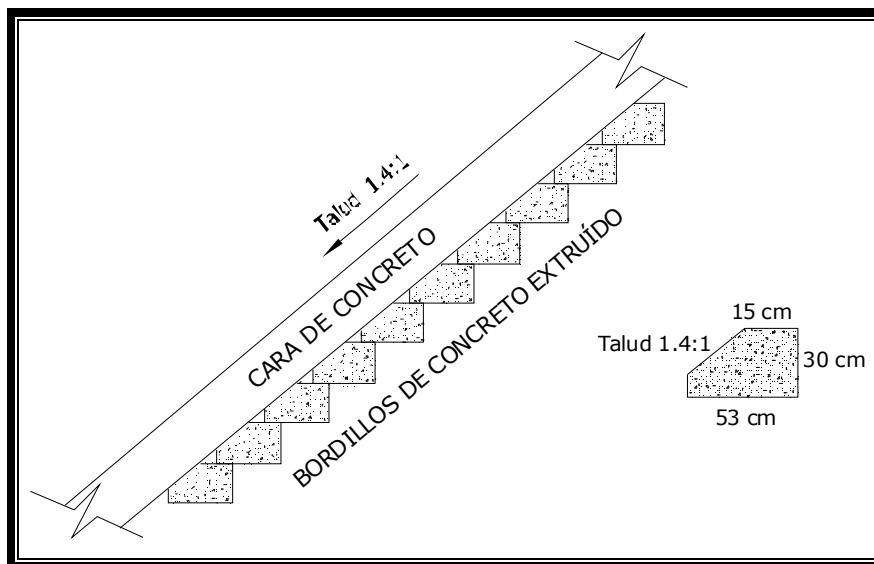


Figura 3.6. Detalle del bordillo de concreto extruído.

El bordillo está compuesto por una mezcla de grava, arena, agua y cemento pobre. Cuando se coloca un bordillo se van colocando por capas, diversos filtros (materiales 2 y 3A, principalmente) y materiales 3B (enrocamiento principal) y T (transición).

El espesor de la capa varía del tipo de material que se va a colocar; por ejemplo: los materiales 2 y 3A tienen un espesor de 30 cm que es el espesor del bordillo con un talud de 1.4:1 (H:V), los materiales 3B y T tienen un espesor de 80 cm con un talud de 0.5:1 (H:V).



Fotografías 5 y 6. Bordillos de cortina de concreto extruido talud aguas arriba.

El proceso de zonificación de materiales para la cortina de concreto se lleva a cabo de la siguiente manera:

Una vez que el bordillo fue colocado por los Ingenieros Topógrafos y sus respectivas brigadas de topografía se encargaron de marcar niveles y límites con estacas de madera o de acero para la colocación de cada uno de los materiales 2, 3A, 3B, T, etc. con respecto al eje de la cortina que es el centro de línea de la corona, el espesor de la capa para ambos materiales es de 30 cm. Por lo general al espesor de la capa de cada material le sumamos 4 cm de tolerancia porque los materiales se van compactando con rodillo liso vibratorio de 100 kN de peso (maquinaria: aplanadora), en el momento de colocar el material se va compactando hasta que quede libre de zonas segregadas y así se evita que la capa del material sea menos de 30 cm de espesor.

Del bordillo a 6 metros al eje de la cortina se coloca en capas de 30 cm de espesor de material 2 (grava arena limosa), y del material 2 a cuatro metros al eje de la cortina se coloca en capas también de 30 cm de espesor de material 3A (enrocamiento graduado con tamaño máximo de 20 cm), ver fotografías 7 y 10. Del límite del material 3A hacia el eje de la cortina se coloca el material 3B (enrocamiento bien graduado con tamaño máximo de 65 cm) en capas con espesor en estado suelto no mayor de 80 cm, luego le sigue el material T (enrocamiento bien graduado, con tamaño mínimo igual a 80 cm), colocada en capas con espesor en estado suelto no mayor de 100 cm, ambos materiales compactada con rodillo liso vibratorio de 118 kN (aplanadora). Todos los materiales antes mencionados la colocación es desde el límite del material T hasta la cortina aguas arriba.

Del lado de la cortina de roca (talud aguas abajo) se coloca el material 3C (enrocamiento graduado con tamaño máximo igual a 110 cm) colocada en capas con espesor en estado suelto de 140 cm compactada con seis pasadas de rodillo liso vibratorio de 118 kN, y por último el material 4 (fragmentos de roca sana con tamaño mayor que 80 cm), no se compacta por capas sino que va acuñado.



Fotografía 7. Distribución de materiales en la cortina.



Fotografía 8. Colocación de estacas de nivel para marcar el espesor de la capa y límite de cada material.



Fotografía 9. Sensor de nivel de la esparcidora sobre un hilo para el espesor y colocación de la capa de material 2.



Fotografía 10. Colocación de material 2 hacia la margen izquierda de la cortina.



Fotografía 11. Vista general del colado de la cortina (1° etapa) talud aguas arriba, y de la colocación de bordillos y materiales diversos a la elevación 310 msnm.

Después de colocar los materiales antes mencionados el procedimiento es el mismo, se vuelven a colocar bordillos, se marcan niveles y límites con estacas para cada material con el espesor indicado en el proyecto y se colocan los materiales hasta cumplir con la primera etapa para el colado de las losas. En las figuras 3.7 y 3.8, se muestran la localización y arreglo de los distintos materiales en la cortina en planta y perfil; en la figura 3.8 se observa la distribución de los principales materiales de enrocamiento, 3B, T y 3C.

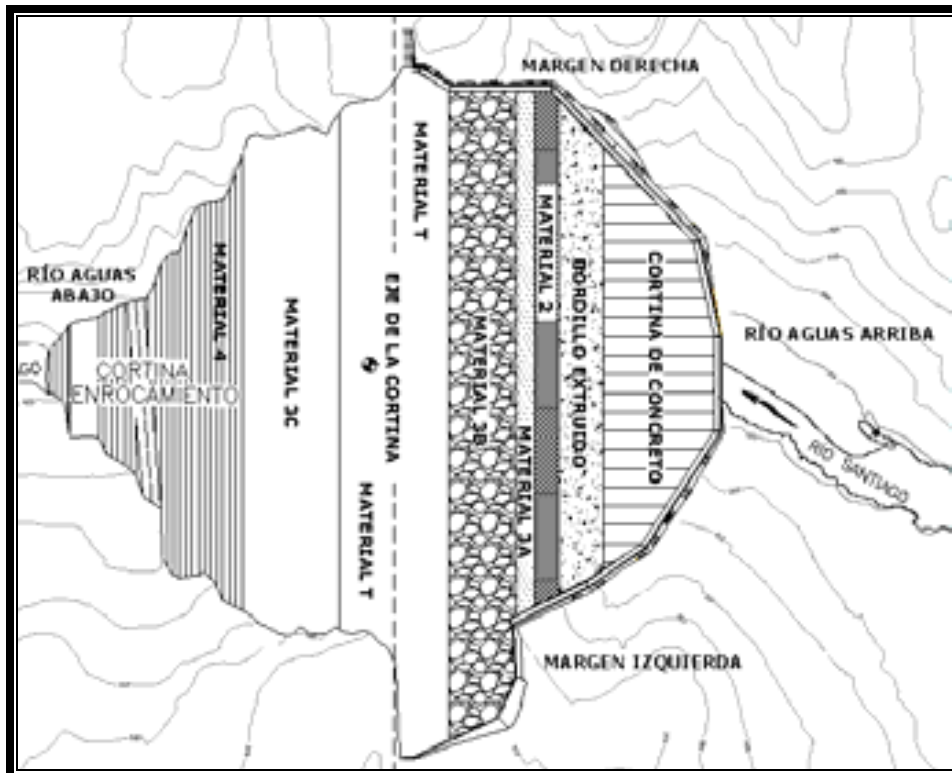


Figura 3.7. En planta, colocación de materiales diversos en la cortina.

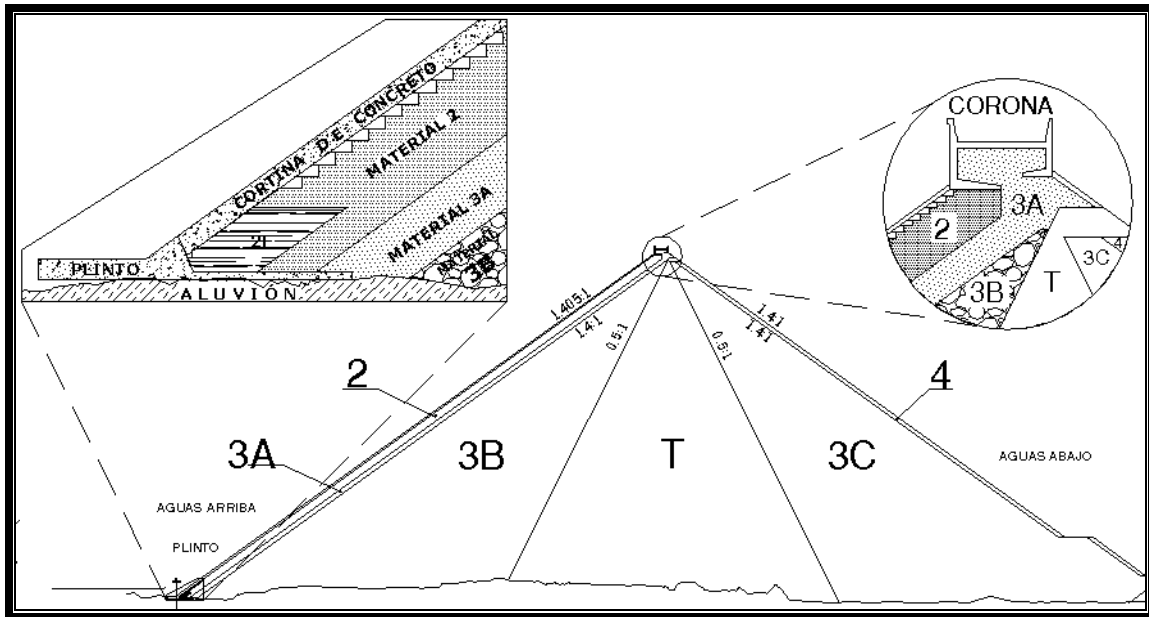


Figura 3.8. En perfil, distribución de los tres materiales de enrocamiento, 3B, T y 3C.

En la siguiente tabla se muestra los datos generales de los materiales, así como sus características u origen para la zonificación de dichos materiales en la cortina:

MAT.	ZONA DE LA ESTRUCTURA	ORIGEN	CARACTERÍSTICAS
1B	SOBRE LOSA DE CONCRETO	BANCO DE ARENA FINA LIMOSA DEL CAUCE O PRODUCTO DE PROCESAMIENTO DE ENROC.	ARENA FINA LIMOSA SIN PLASTICIDAD
2F	DESTILADOR	BANCO EL VERTEDOR	GRAVA ARENA LIMOSA BIEN GRADUADA
2	SOPORTE DE LOSA	BANCO EL VERTEDOR	GRAVA ARENA LIMOSA CON CONTENIDO DE FINOS ENTRE 6 Y 10% Y AL MENOS 35% PASANDO LA MALLA No. 4
3A	FILTRO/TRANSICIÓN ENTRE ZONA 2 Y 3B	BANCO EL VERTEDOR	ENROCAMIENTO BIEN GRADUADO CON 20cm DE TAMAÑO MÁXIMO
3B	ENROCAMIENTO PRINCIPAL	BANCO EL VERTEDOR	ENROCAMIENTO BIEN GRADUADO, CON TAMAÑO MÁXIMO IGUAL A 65cm
T	TRANSICIÓN	BANCO EL VERTEDOR	ENROCAMIENTO BIEN GRADUADO, CON TAMAÑO MÁXIMO IGUAL A 80cm
3C	RESPALDOS DE AGUAS ABAJO	EXCAVACIONES Y/O BANCO DE ROCA EL VERTEDOR	ENROCAMIENTO BIEN GRADUADO, CON TAMAÑO MÁXIMO IGUAL A 110cm
3H	PROTECCIÓN DE MATERIAL 1B	EXCAVACIONES Y/O BANCO DE ROCA EL VERTEDOR	REZAGA LIBRE DE MATERIALES ARCILLOSOS Y DE ROCA INTEMPERIZADA 30cm DE TAMAÑO MÁXIMO
4	ENROCAMIENTO DE PROTECCIÓN	EXCAVACIONES Y/O BANCO DE ROCA EL VERTEDOR	FRAGMENTOS DE ROCA SANA CON TAMAÑO MAYOR QUE 100cm

Tabla 3.1. Cuadro de materiales.

Conforme se van colocando los bordillos y los diversos materiales en la cortina, se procede a construir las losas de arranque que se desplantan en toda la cara del plinto en la primera etapa, desde la margen izquierda hasta la margen derecha y en la segunda etapa, las losas de arranque inician en las márgenes sobre la junta de construcción. Dichas losas de arranque sirven de inicio para el colado de las losas de concreto, donde la cimbra deslizante no tiene acceso a zonas pequeñas generalmente en las márgenes derecha e izquierda de la cortina.



Fotografía 11. Losas de arranque en la margen derecha.



Fotografía 12. Colado de las losas de concreto

3.3.2 Cortina de concreto

Después de haber concluido con la primera etapa de la colocación de bordillos y de la colocación de materiales tanto filtros (material 2 y 3A) como de enrocamiento (material 3B, T y 3C) y de las losas de arranque, se empiezan a marcar niveles para el armado de refuerzo de acero de las losas y de las juntas entre las dos losas. La verificación topográfica consistió en centrar la Estación Total en una de las referencias topográficas establecidas sobre el plinto y trazar una línea paralela al eje de la cortina y sobre ésta línea tomar las elevaciones con nivel fijo de las guías de la losa próxima a colarse y comparando las elevaciones tomadas físicamente con las de proyecto para hacer los ajustes correspondientes, tomando en cuenta las tolerancias permitidas. Este procedimiento se utilizó en todas y cada una de las losas, alineándolas también en las juntas de construcción.

La cara de concreto cuenta con un sistema de juntas y sellos de cobre y PVC; que son colocados en todas las juntas de la cara de concreto; así como en la junta perimetral plinto – cara de concreto. Estas protecciones deben garantizar que las filtraciones sean mínimas. Para medir éstas, se ubicó una galería filtrante al pie de la cortina en la zona aguas abajo, de tal manera que por ella se captan todas las filtraciones que ocurren por el cuerpo de la presa y se pueda obtener el gasto de filtración en cualquier época del año.

El ancho de las losas principales es de 15 m, tanto las losas de cortina como las losas de arranque están numeradas en orden ascendente de la margen izquierda a la margen derecha, en total son 36 losas y de espesor variable, el espesor de las losas de la cortina de concreto varía uniformemente de 80 cm a 30 cm, ver plano CD-C021-PL-091-01 en anexos o apéndices. Para el colado de las losas, primero se colocaron varillas de nivel empotradas en el bordillo de cortina con el espesor como se indica en el proyecto tomando en cuenta el talud de 1.4:1 para la colocación del acero de refuerzo a lo largo y a lo ancho de cada losa (fotografías: 13 y 14). Con los valores de proyecto se conocen el cadenamiento y la elevación para cada losa, con estos valores podemos alinear el acero de refuerzo de las losas respetando el talud y marcar niveles del espesor de dicha losa con varillas de acero empleando la fórmula (3.1).

Valores proyecto:

Elev. = 391.70, es la elevación del punto de control de la junta estructural entre la cara de concreto y la estructura del parapeto y de la corona de la cortina, Talud = 1.405:1 (H:V), pendiente de la cara de concreto $s = 0.7117\%$.

Si la pendiente o talud de las losas es $m = Y / X = 1/1.405$, entonces la elevación de la losa está dada por $Elev. = (1/1.405) \times X$. Como el espesor “e” de las losas es variable, está acotada por la siguiente ecuación:

$$e = (391.70 - Elev.) \times 0.00287 + 0.30 \quad (3.1)$$

Con la Estación Total y con la ayuda del cadenero que coloca el prisma en cualquier punto geométrico de las losas de la cortina, se puede obtener el valor X que es la distancia lineal del punto por medir al eje de la cortina y el valor del cadenamiento Y, que inicia desde la margen izquierda (K 0+125.408) hasta la margen derecha (K 0+660.361).



Fotografías 13 y 14. Armado de acero de refuerzo en la losa 24, en la figura opuesta se aprecian los avances en la colocación del acero de refuerzo en las losas 22, 26 y 28.

Una vez colocado el acero de refuerzo en las losas, se colocan rieles de acero en las juntas de cada losa para la colocación de la cimbra deslizante e iniciar el colado de las losas. Por lo general se deja libre una losa para que se pueda trabajar más cómodo, por ejemplo; si se está trabajando con la losa 22, se deja libre la losa 23 y se puede trabajar con la losa 24 y así sucesivamente.

Para colocar los rieles, en las juntas de las losas se colocan escuadras de acero que van atornilladas a lo largo de una barra compuesta por un sello de cobre, para las uniones entre losas y en la unión plinto – losas (ver fotografía: 16), en donde esta barra de cobre va empotrada junto con una banda pvc, en la cara de bordillo de cortina, por esta razón es necesario dejar libre la siguiente losa. El topógrafo se encarga de nivelar las escuadras que sirven de soporte para los rieles, al espesor de la losa se le suma la altura del riel para conocer la elevación total y con esto se puede nivelar los rieles en las dos juntas de la losa, también es necesario alinear los rieles a lo largo de la losa considerando el ancho de 15 metros, para ambas mediciones hay que tomar en cuenta el talud para los cálculos de la elevación y de la posición en cualquier punto del riel.

El cadenero coloca el prisma con bastón arriba del riel para que con la Estación Total se les de instrucciones al cadenero y él mismo decirles a los soldadores de que muevan la escuadra de acero ya sea hacia arriba o hacia abajo, con la ayuda de una cuña de madera que se coloca en la parte de abajo de la escuadra, se puede mover dicha escuadra. Una vez niveladas cada una de las escuadras en ambas juntas de la losa, se procede a soldar todas las escuadras con el riel y con varillas de acero, para evitar que se muevan.



Fotografía 15. Colocación y nivelación de las escuadras de acero para el soporte de los rieles.



Fotografía 16. Junta compuesta por un sello de cobre.



Fotografías 17 y 18. Maniobras para la colocación de la cimbra deslizante y trabajos preliminares para el colado de la losa 24 en la cara de concreto.

En la siguiente fotografía se muestra una vista panorámica de todas las obras, en esta foto se observa el avance del colado de las losas de la cortina de concreto que cumplió con la primera etapa como se mencionó anteriormente llega a la elevación 280 m.s.n.m., también se observa el avance de la colocación de bordillos de concreto pobre, arriba de la cortina de concreto se muestra el avance de la zonificación de diversos tipos de materiales que forman el cuerpo principal de la cortina. La línea roja indica el eje de la cortina y la elevación de la corona de la cortina.



Fotografía 19. Vista panorámica de la cortina de concreto.

3.4 Topografía de Obras

A continuación se presentan las principales actividades de la topografía de obras que abarca desde la colocación de puntos de control terrestre y la red de triangulación hasta los mínimos detalles de la obra civil especialmente en la estructura principal de la obra de contención que es la cortina de concreto.

3.4.1 Planimetría de Obras

En esta rama de la topografía, se representa todo cuerpo geométrico en un plano en coordenadas X Y. Primero es necesario localizar geográficamente el sitio de la obra, e informar de las vías de comunicación y caminos de acceso a la obra, estos datos podrán obtenerse de cartas geográficas que considere; el norte astronómico, la escala, coordenadas geográficas y elevaciones sobre el nivel medio del mar de la zona presentada.

Primero se colocaron mojoneras en el lugar donde se realizará la obra como puntos de control terrestre, se colocaron en las márgenes de la cortina y otros sobre el cauce del río Santiago, con estos puntos de control se realizaron poligonales de apoyo para llevar un control en las coordenadas X Y Z en el momento de ejecutar las medidas en los trabajos topográficos. Es muy importante revisar las coordenadas de las mojoneras y placas de acero empotradas en roca o cemento que pueden sufrir cualquier tipo de movimiento provocadas por voladuras, maquinarias o personas que laboren en la obra y crear nuevos puntos de control en caso de que la placa se requiera mover, ya sea por las futuras excavaciones, voladuras o por la zonificación de materiales, y así para continuar con las obras.

A continuación se presentan algunas coordenadas que se emplearon para el arranque de las obras de contención así como las poligonales de apoyo para llevar a cabo el control topográfico de las mediciones en cada levantamiento y para la ejecución de la obra civil. Todos los levantamientos y medidas ejecutadas, realizados en la obra de contención se operaron con la Estación Total “Geodimeter”.

Para crear nuevos puntos de control terrestre y realizar levantamientos topográficos como excavaciones, secciones transversales, limpiezas de laderas, etc.; se controló a partir del centro de línea o eje de la cortina cuyas coordenadas son:

$$\text{Margen izquierda} \begin{cases} X = 557137.000 \\ Y = 2369000.000 \\ Z = 391.700 \end{cases} \quad \text{Margen derecha} \begin{cases} X = 556694.472 \\ Y = 2369656.300 \\ Z = 391.700 \end{cases}$$

Los puntos de control terrestre empleados para la volumetría en la zonificación de materiales son las siguientes mojoneras:

$$V-4 \begin{cases} X = 556907.647 \\ Y = 2369613.408 \\ Z = 322.093 \end{cases} \quad V-10 \begin{cases} X = 557068.956 \\ Y = 2369304.831 \\ Z = 293.253 \end{cases} \quad J-31 \begin{cases} X = 557131.595 \\ Y = 2369323.762 \\ Z = 273.642 \end{cases}$$

Con estas coordenadas se pueden calcular los rumbos y distancias así como los ángulos interiores para saber si la poligonal de apoyo cumple con la condición de la suma de los ángulos interiores para un triángulo es $180^{\circ}00'00''$ y para una figura cualquiera debe cumplir con la siguiente condición $\sum \angle = 180^{\circ}(n-2)$ donde “n” es el número de lados.

Hay dos formas de comprobar la poligonal de apoyo, por cálculo de ángulos interiores mediante fórmulas y calculando los rumbos para obtener los ángulos interiores. Por ejemplo de los puntos de control terrestre antes mencionados a continuación se presentan los cálculos para los dos métodos:

- Mediante fórmulas

Primero se obtienen las distancias entre dos puntos aplicando la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (3.2)$$

las distancias obtenidas son:

$$\overline{V-4 \rightarrow J-31} = 366.125m \quad \overline{J-31 \rightarrow V-10} = 65.437m \quad \overline{V-10 \rightarrow V-4} = 348.196m$$

El área y los ángulos interiores se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} \quad (3.3)$$

$$p = (a+b+c)/2 \quad (3.4)$$

$$\hat{A} = 2 \tan^{-1} \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}} \quad \hat{B} = 2 \tan^{-1} \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}} \quad \hat{C} = 2 \tan^{-1} \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}}$$

Los datos obtenidos son:

$$S = 11191.320m^2$$

$$p = 389.879m$$

$$\hat{A} = 10^{\circ}06'43.25'' \quad \hat{B} = 69^{\circ}06'20.65'' \quad \hat{C} = 100^{\circ}46'56.09''$$

Comprobando:

$$\hat{A} = 10^{\circ}06'43.25''$$

$$\hat{B} = 69^{\circ}06'20.65''$$

$$\hat{C} = 100^{\circ}46'56.09''$$

$$\sum \hat{\alpha} = 180^{\circ}00'00''$$

$$S = \frac{1}{2} \text{absen}C = 11191.320m^2$$

- Por rumbos

Aplicando la fórmula del rumbo para dos puntos cualquiera con coordenadas $A(X_1, Y_1)$ y $B(X_2, Y_2)$:

$$Rbo\overline{AB} = \tan^{-1} \left[\frac{(X_2 - X_1)}{(Y_2 - Y_1)} \right] \quad (3.5)$$

Los rumbos obtenidos con las coordenadas de las mojoneras V-4, V-10 y J-31 son y están acotadas en la siguiente figura:

$$Rbo\overline{V-4 \rightarrow J-31} = S37^{\circ}42'37.50'' E$$

$$Rbo\overline{J-31 \rightarrow V-10} = S73^{\circ}11'02.15'' W$$

$$Rbo\overline{V-10 \rightarrow V-4} = N27^{\circ}35'54.14'' W$$

Donde “d” es la distancia, “S” el área y “p” perímetro.

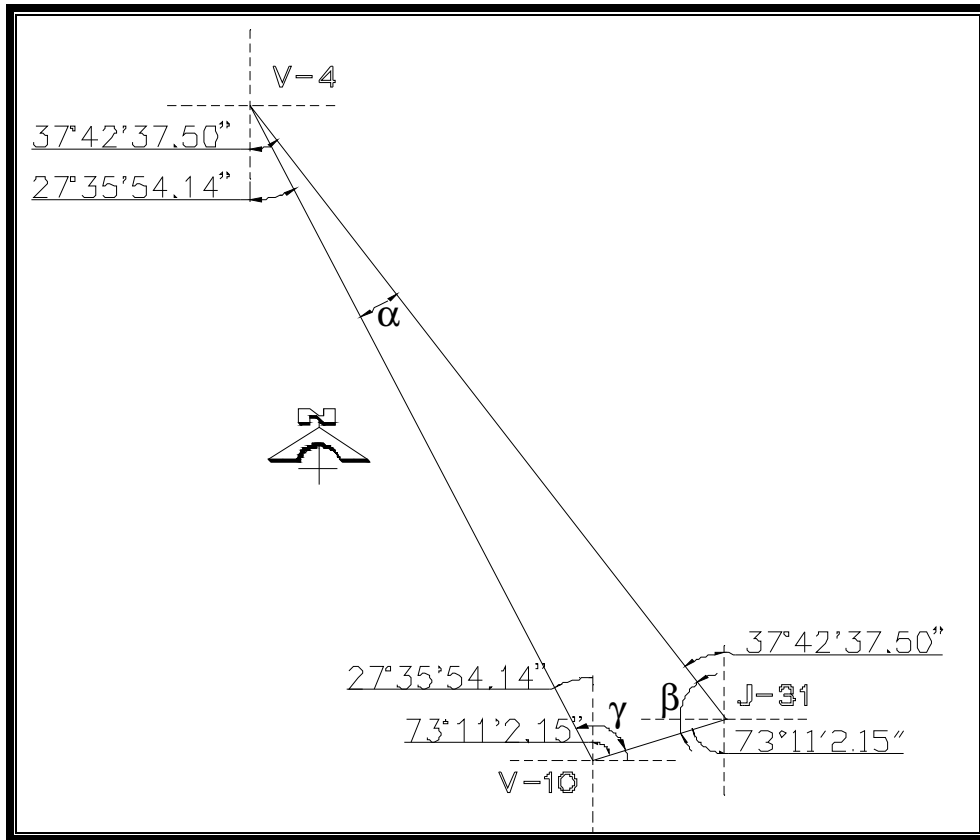


Figura 3.9. Ángulos interiores y exteriores obtenidos con los rumbos.

Con los rumbos obtenidos se obtienen los ángulos interiores α , β y γ de la figura anterior:

$$\alpha = Rbo\overline{V-4 \rightarrow J-31} - Rbo\overline{V-4 \rightarrow V-10} = 10^{\circ}06'43.36''$$

$$\beta = 180^{\circ} - Rbo\overline{J-31 \rightarrow V-4} - Rbo\overline{J-31 \rightarrow V-10} = 69^{\circ}06'20.35''$$

$$\gamma = Rbo\overline{V-10 \rightarrow J-31} + Rbo\overline{V-10 \rightarrow V-4} = 100^{\circ}46'56.29''W$$

$$\alpha = 10^{\circ}06'43.36''$$

$$\beta = 69^{\circ}06'20.35''$$

$$\gamma = 100^{\circ}46'56.29''$$

$$\underline{\sum \sphericalangle = 180^{\circ}00'00''} \quad \therefore \text{si cumple}$$

Actualmente existen programas que pueden facilitar los cálculos de coordenadas, de rumbos, y de superficies para cualquier tipo de poligonal de apoyo. A continuación se presentan algunos poligonales de apoyo calculados con el programa CivilCAD.

CUADRO DE CONSTRUCCION						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST	PV				Y	X
				V-4	2,369,613.408	556,907.647
V-4	J-31	S 37°42'37.50" E	366.125	J-31	2,369,323.762	557,131.595
J-31	V-10	S 73°11'02.15" W	65.437	V-10	2,369,304.831	557,068.956
V-10	V-4	N 27°35'54.14" W	348.196	V-4	2,369,613.408	556,907.647
SUPERFICIE = 11,191.348 m ²						

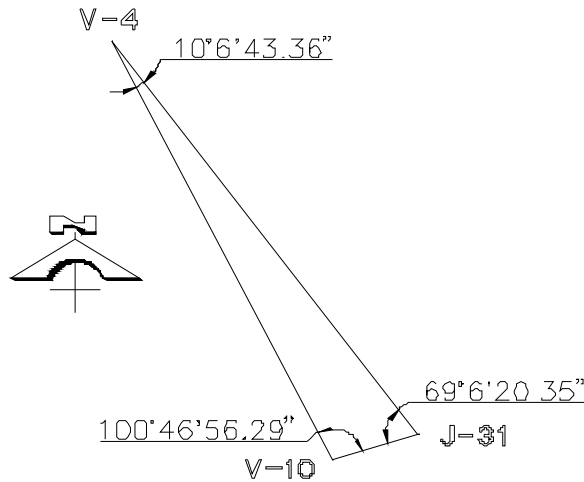


Figura 3.10. Poligonal de apoyo para la colocación de bordillos en la cortina.

CUADRO DE CONSTRUCCION						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST	PV				Y	X
				SUB.	2,369,459.440	556,654.703
SUB.	TANQ.	S 80°06'27.17" E	511.911	TANQ.	2,369,371.494	557,159.003
TANQ.	AUX.	S 60°06'47.12" W	462.241	AUX.	2,369,141.164	556,758.235
AUX.	SUB.	N 18°0'109.08" W	334.692	SUB.	2,369,459.440	556,654.703
SUPERFICIE = 75,700.681 m ²						

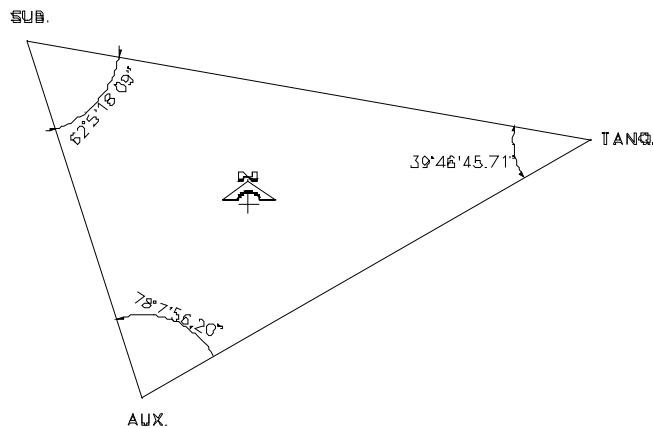


Figura 3.11. Poligonal de apoyo para la colocación de materiales en la cortina.

CUADRO DE CONSTRUCCION						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST	PV				Y	X
				TANQ.	2,369,371.494	557,159.003
TANQ.	J-31	S 29°51'51.12" W	55.034	J-31	2,369,323.768	557,131.599
J-31	J-30	N 38°07'36.10" W	327.253	J-30	2,369,581.201	556,929.552
J-30	TANQ.	S 47°34'27.17" E	310.845	TANQ.	2,369,371.494	557,159.003
SUPERFICIE = 8,348.795 m2						

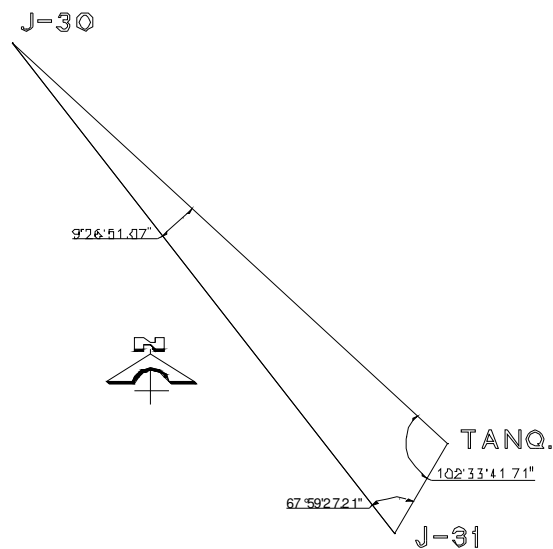


Figura 3.12. Poligonal de apoyo para la colocación de losas de concreto en la cortina.

Hay que recordar que los datos calculados por una persona con calculadora pueden variar con los datos calculados por los programas CivilCAD o Excel, estos programas no redondean los valores y a cambio los calculados por una persona puede calcular una medida redondeando hasta milésimas. También es importante revisar constantemente las coordenadas de las mojoneras y de las placas de acero donde se encuentra marcado el punto de apoyo con coordenadas X Y Z para evitar errores en los levantamientos topográficos, en las figuras 3.10 y 3.12, fueron levantados por dos brigadas diferentes y se observa que las coordenadas del punto J-31 varió en milésimas, esto se debe a la mala calibración del aparato y del prisma, y por esta razón es necesario compartir información entre las brigadas involucradas en el proyecto para mayor precisión en las medidas. En caso de error de cierre lineal o angular se procede a compensar la poligonal.

También se realizaron cálculos de áreas de secciones transversales para los diferentes materiales (material 2, 3A, 3B, T y 3C) colocados en la cortina. Hay tres formas de calcular el área de un polígono irregular con curvas y rectas, y a veces sin forma precisa; empleando un planímetro digital, usando papel milimétrico o hacer una malla de cuadros a escala y con los programas AutoCAD y CivilCAD.

En la siguiente figura 3.13, en la parte sombreada del centro de la figura, se muestra el avance de la colocación de diferentes tipos de materiales hasta el 15 de Junio del 2005, en las siguientes tres diagramas (figuras 3.14 al 3.16), se muestran el área de la sección transversal de cada material colocado en la cortina para cada estación o cadenamamiento en Y.

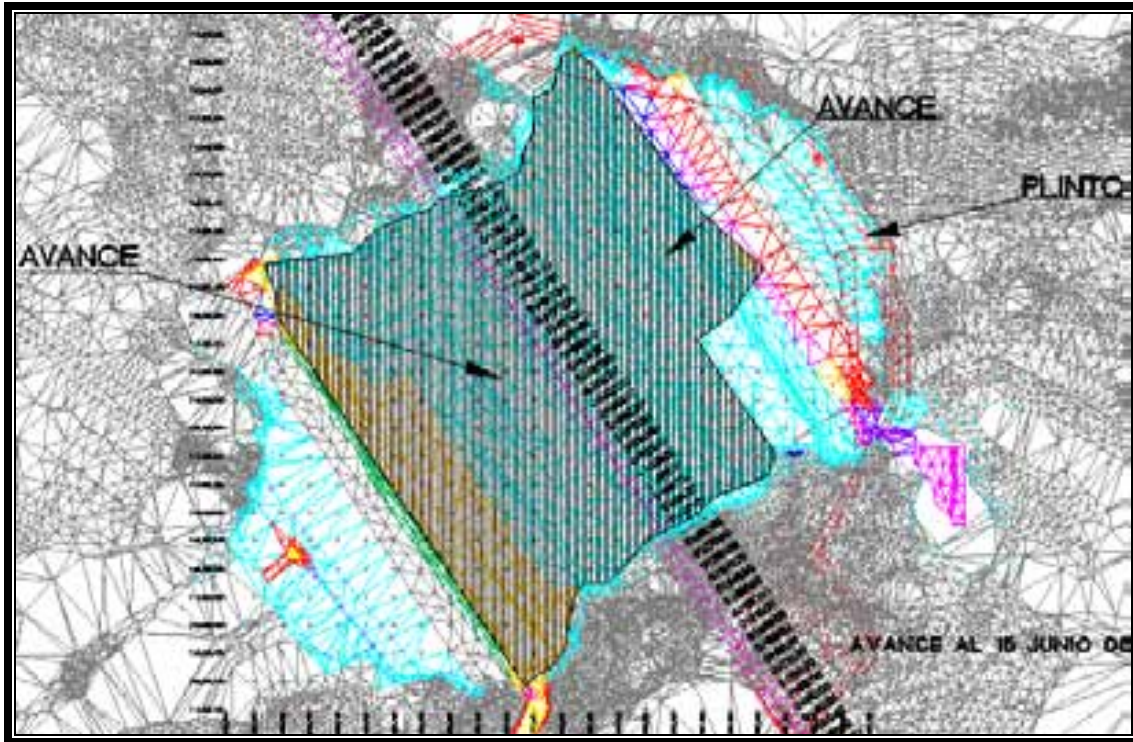
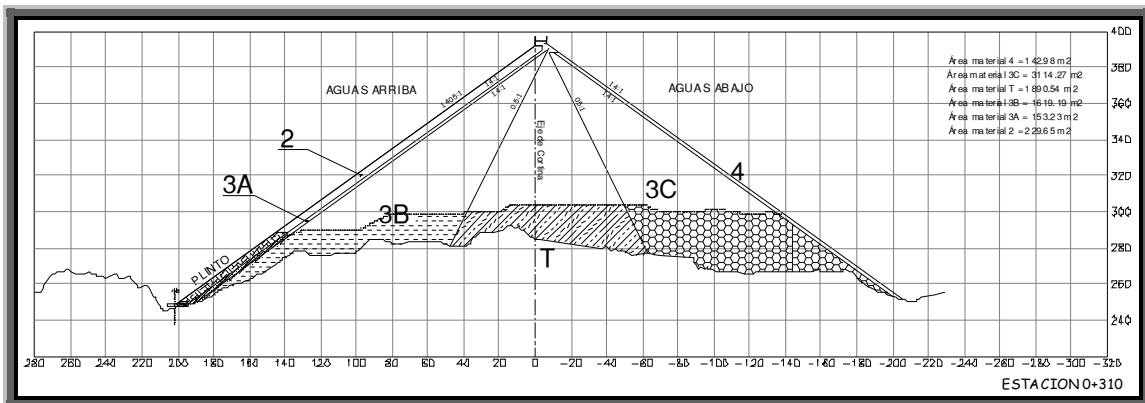
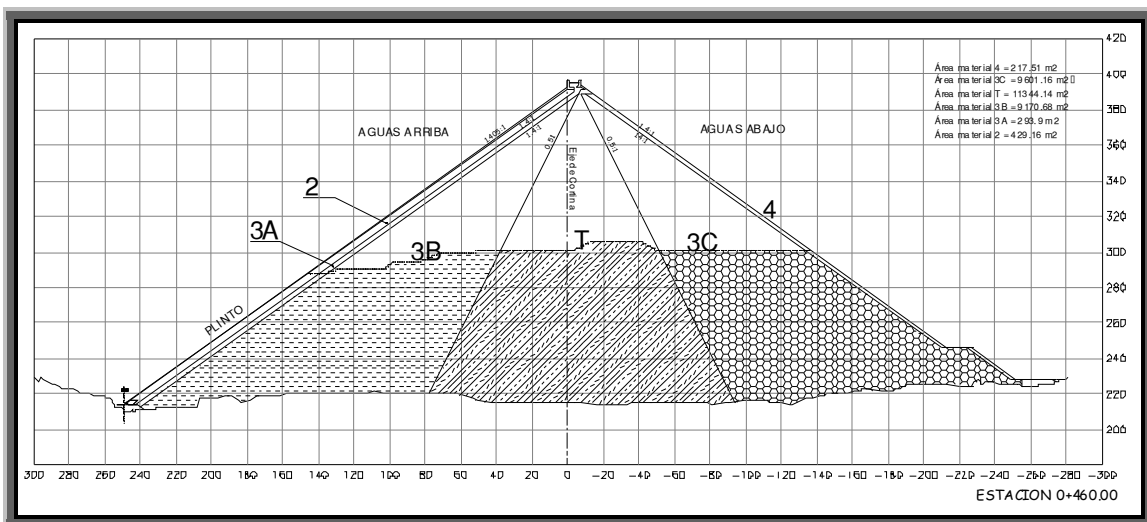
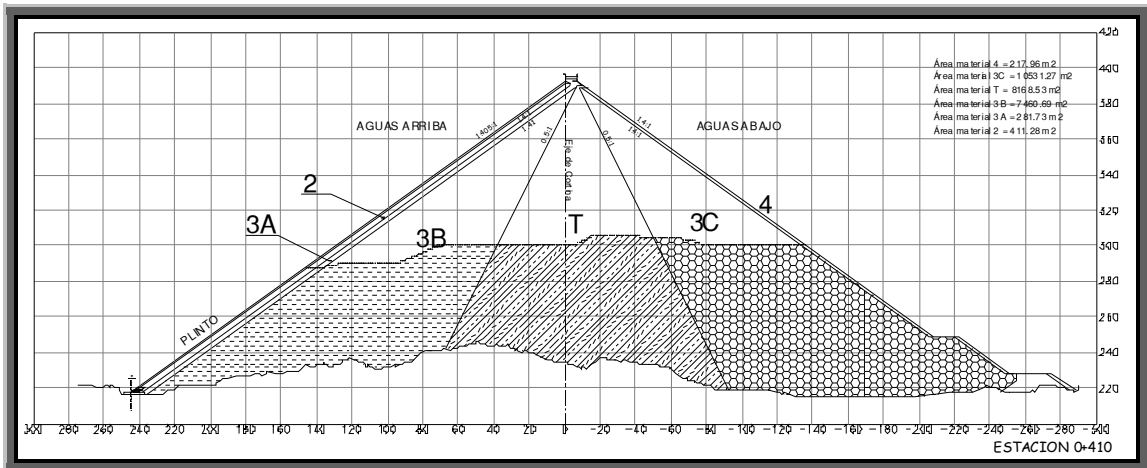
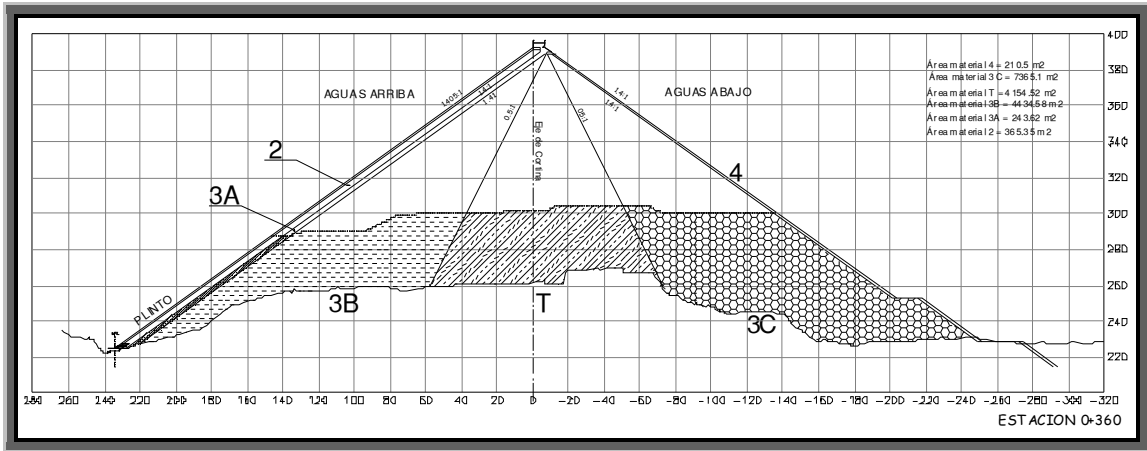


Figura 3.13. Distribución de materiales en la cortina.

A continuación se presentan las secciones por estación del avance de la colocación de diversos materiales en la cortina mostrada en la figura de arriba (zona sombreada), para más adelante se calcularán el volumen parcial, acumulado y total de cada uno de los materiales.





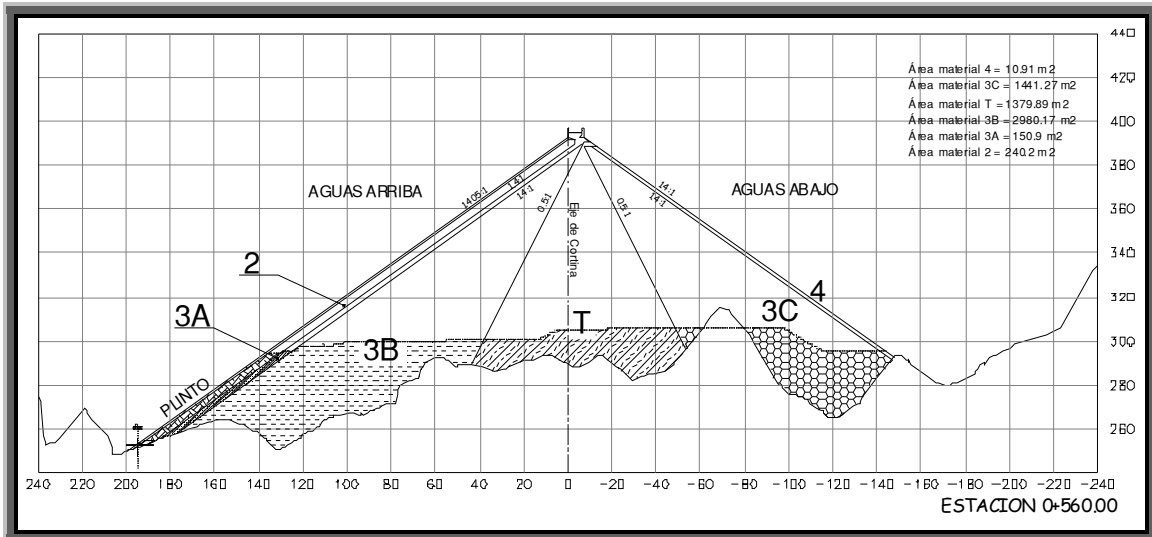
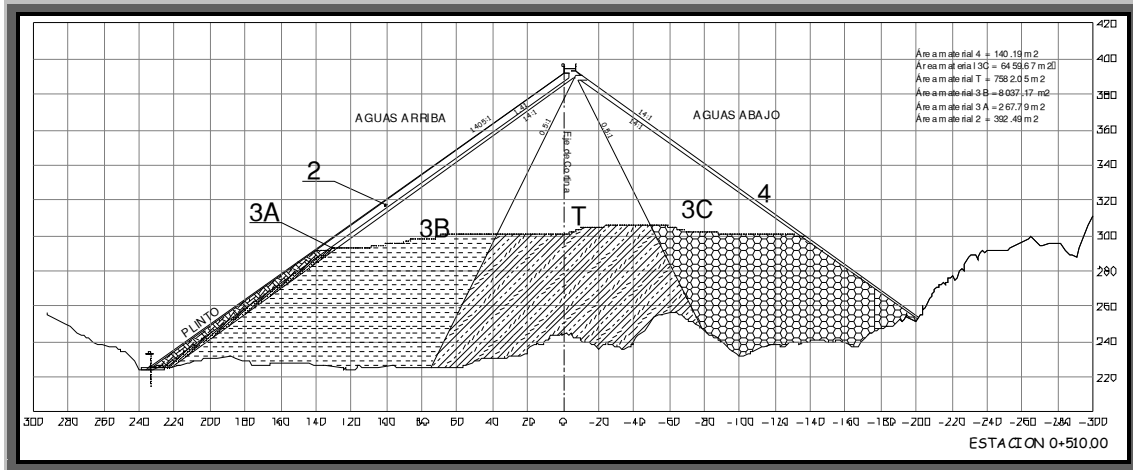


Figura 3.14. Secciones de colocación de material en cortina con corte al 15 de Junio del 2005.

3.4.2 Levantamiento físico del bordillo de concreto extruido

Después de colocar el bordillo es de gran importancia hacer un chequeo de la posición del bordillo para saber si cumple con el proyecto y evitar errores para la próxima colocación del bordillo. Para llevar a cabo el control de las medidas es necesario calcular los cadenamientos X Y, y los límites de los materiales 2 y 3A para cada bordillo tomando en cuenta los valores de proyecto como la elevación del punto de control de la junta estructural (fin de las losas en la corona) y el talud 1.4:1 (H:V).

Con estos cálculos se colocaron bordillos en el período comprendido del 18 al 28 de Mayo del 2005.

Elevación proyecto = 391.70 msnm
 Talud = 1.4:1

Bordillo No.	Capa No.	Elevación m.s.n.m.	S. Talud X	Material 2 X - 6 m	Material 3A X - 4 m
222	227	282.12	153.41	147.41	143.41
223	228	282.42	152.99	146.99	142.99
224	229	282.72	152.57	146.57	142.57
225	230	283.02	152.15	146.15	142.15
226	231	283.32	151.73	145.73	141.73
227	232	283.62	151.31	145.31	141.31
228	233	283.92	150.89	144.89	140.89
229	234	284.22	150.47	144.47	140.47
230	235	284.52	150.05	144.05	140.05
231	236	284.82	149.63	143.63	139.63
232	237	285.12	149.21	143.21	139.21
233	238	285.42	148.79	142.79	138.79
234	239	285.72	148.37	142.37	138.37
235	240	286.02	147.95	141.95	137.95
236	241	286.32	147.53	141.53	137.53
237	242	286.62	147.11	141.11	137.11
238	243	286.92	146.69	140.69	136.69
239	244	287.22	146.27	140.27	136.27
240	245	287.52	145.85	139.85	135.85
241	246	287.82	145.43	139.43	135.43
242	247	288.12	145.01	139.01	135.01
243	248	288.42	144.59	138.59	134.59
244	249	288.72	144.17	138.17	134.17
245	250	289.02	143.75	137.75	133.75
246	251	289.32	143.33	137.33	133.33

Tabla 3.2. Valores proyecto para los límites de los materiales 2 y 3A.

De la tabla anterior para cada bordillo y capa de material asciende cada 30 cm que es el espesor de las capas de los materiales 2 y 3A, al espesor de estas capas le sumamos 4 cm de tolerancia como se mencionó anteriormente.

El valor X = 0 inicia del eje de la cortina al bordillo, se calcula a partir de la elevación proyecto y el talud con la fórmula de la pendiente:

$$m = \frac{Y}{X} = \frac{1}{1.4} \Rightarrow X = \frac{Y}{m} = Y \times 1.4, \tag{3.6}$$

Donde “Y” es la diferencia de elevaciones = 391.70 – elevación calculada de la tabla.

“m” es el talud o pendiente.

Los valores en X de los materiales 2 y 3A indican el límite entre estos materiales y el bordillo con respecto al eje de la cortina. Estos valores en X son paralelos al eje de la cortina y los cadenamientos en Y son perpendiculares al eje de la misma. En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos y las lecturas realizadas con la Estación Total Geodimeter para el control de la posición del bordillo, con los datos obtenidos de la tabla anterior se tomaron las siguientes lecturas:

Proyecto Levantamiento Físico					
Valores proyecto		Elevación	Diferencia	Cadenamiento X	Diferencia
Elev, 283.62	X = 151.31				
Margen Derecha	1	283.61	-1	151.33	+2
	2	283.60	-2	151.31	0
	3	283.61	-1	151.31	0
	4	283.61	-1	151.31	0
Margen izquierda	5	283.61	-1	151.32	+1
	6	283.61	-1	151.28	-3
	7	283.60	-2	152.27	-4

Tabla 3.3. Chequeo de la posición del bordillo no. 227.

En la tabla 3.3 se observa que las diferencias que están sombreadas de verde significan la posición del bordillo, si está arriba o abajo con respecto a la elevación de proyecto 283.62 y las diferencias sombreadas de amarillo indican si esta afuera o hacia adentro con respecto al valor de proyecto (151.31). Por ejemplo: la primera diferencia de verde que es (-1) indica que el bordillo quedó un centímetro abajo de los 30 cm de espesor del mismo o de la capa de material, la primera diferencia sombreada de amarillo que es mas dos (+2) significa que el bordillo quedó 2 cm hacia fuera y requiere 2 cm hacia adentro con respecto al eje de la cortina.

Cuando los valores de las diferencias es igual a cero quiere decir que el bordillo cumplió con el proyecto, los errores se deben a que los trabajadores que a pesar de contar con estacas e hilos de nivel colocan mal el bordillo con la maquinaria.

Proyecto Levantamiento Físico					
Valores proyecto		Elevación	Diferencia	Cadenamiento X	Diferencia
Elev, 284.22	X = 150.47				
Margen Derecha	1	284.21	-1	150.46	-1
	2	284.21	-1	150.47	0
	3	284.21	-1	150.47	0
	4	284.21	-1	150.46	-1
Margen izquierda	5	284.21	-1	150.46	-1
	6	284.20	-2	150.46	-1
	7	284.20	-2	150.47	0
	8	284.21	-1	150.45	-2

Tabla 3.4. Chequeo de la posición del bordillo no. 229.

Proyecto Levantamiento Físico					
Valores proyecto		Elevación	Diferencia	Cadenamiento X	Diferencia
Elev, 284.52	X = 150.05				
Margen Derecha	1	284.51	-1	150.05	0
	2	284.50	-2	150.06	+1
	3	284.50	-1	150.06	+1
	4	284.49	-3	150.07	+2
Margen izquierda	5	284.50	-2	150.05	0
	6	284.52	-0	150.04	-1
	7	284.50	-2	150.04	-1
	8	284.49	-3	150.05	0

Tabla 3.5. Chequeo de la posición del bordillo no. 230

3.4.3 Altimetría de Obras

La altimetría de obras abarca desde la triangulación de un terreno pasando por las curvas de nivel para obtener mejor la configuración hasta el cálculo de volúmenes por secciones y perfiles por estación. Es de gran importancia obtener el volumen de las losas de concreto de la cortina para evaluar el costo de material como concreto y acero de refuerzo que requieren cada losa y el plinto, así como también el volumen de los bancos de materiales diferentes que se requiere para la colocación del mismo en la cortina. También es necesario calcular el volumen de material por rellenar por estación (Km 0+000) o sección en la cortina.

3.4.3.1 Cálculo de volumen de las losas de concreto

Losa de arranque No. 14

Colado No. 18

Fecha: 18/Mayo/2005

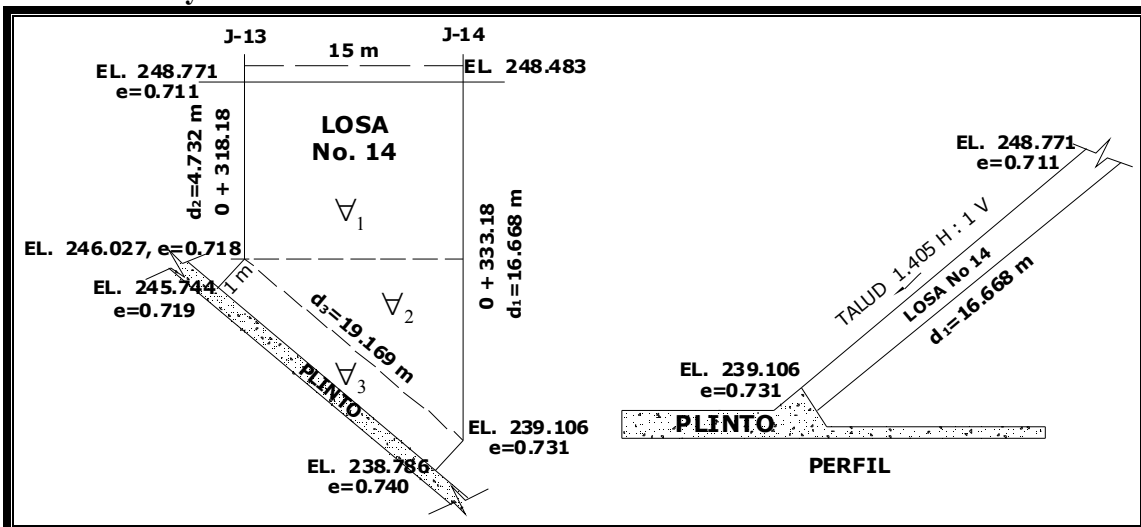


Figura 3.15. Planta y perfil de la losa 14.

Diferencia de elevaciones = $248.771 - 239.106 = 9.665 = Y$, si el talud es 1.405:1, entonces la pendiente $m = 1/1.405$

$$X = Y \times 1.405 = 13.579$$

$$d_1 = \sqrt{(X^2 + Y^2)} = 16.668m$$

$$\nabla_1 = \text{Ancho de la losa} \times d_2 \times (\text{Promedio del espesor})$$

$$\nabla_2 = \text{Ancho de la losa} \times d_1 - d_2 \times (\text{Promedio del espesor})$$

$$\nabla_1 = 15 \times 4.732 \times (0.711 + 0.718) / 2 = 50.715m^3$$

$$\nabla_2 = (15 \times 11.936) / 2 \times (0.718 + 0.731) / 2 = 64.857m^3$$

$$\nabla_3 = 1 \times 19.169 \times (0.718 + 0.719 + 0.740 + 0.731) / 4 = 13.936m^3$$

$$\therefore \nabla_{LOSA\#14} = \nabla_1 + \nabla_2 + \nabla_3 = 129.508m^3$$

Losa deslizante No. 27

Colado No. 09

Fecha: 4/Mayo/2005

Proyección de la junta de construcción (tipo)

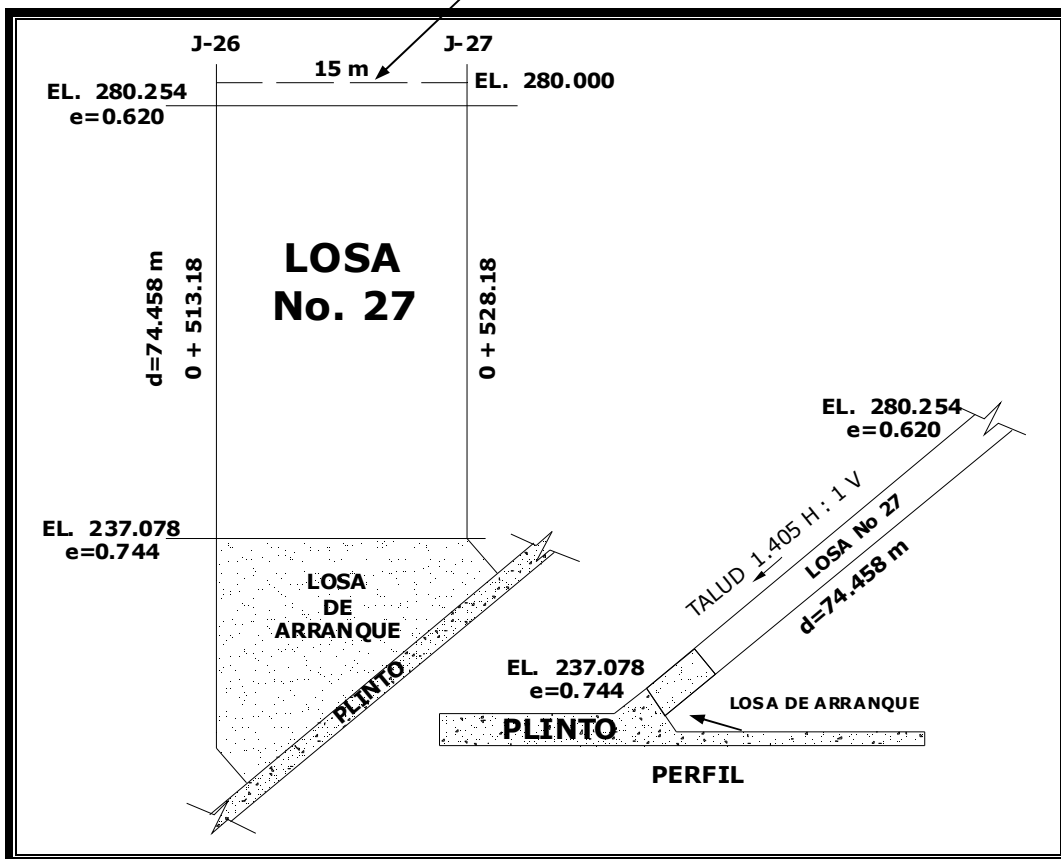


Figura 3.16. Planta y perfil de la losa 27.

$$\nabla_{LOSA\#27} = \text{Ancho de la losa} \times d_{\text{inclinada}} = 74.458 \times (\text{Promedio del espesor})$$

$$\nabla_{LOSA\#27} = 15 \times 74.458 \times (0.620 + 0.744) / 2 = 761.705 m^3$$

Losa de arranque No. 32
Colado No. 22
Plano: CDC021PL09301

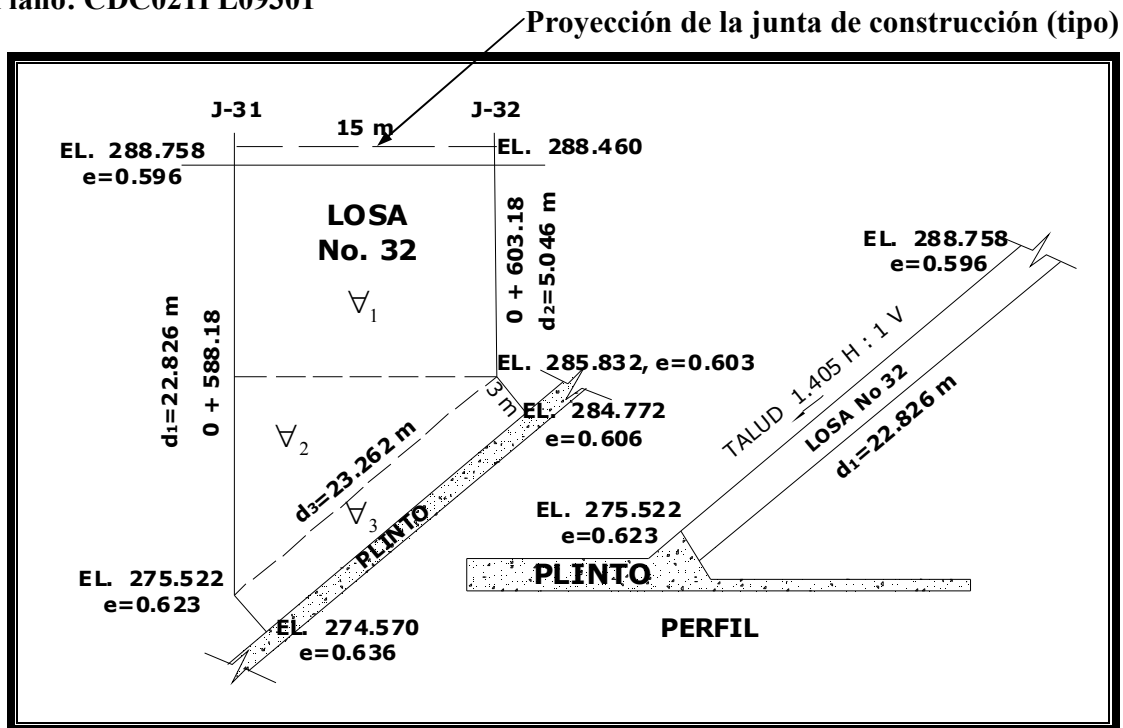


Figura 3.17. Planta y perfil de la losa 32.

Diferencia de elevaciones = $288.758 - 275.522 = 13.236 = Y$, si el talud es 1.405:1, entonces la pendiente $m = 1/1.405$

$$X = Y \times 1.405 = 18.596$$

$$d_1 = \sqrt{(X^2 + Y^2)} = 22.826 m$$

$$\nabla_1 = \text{Ancho de la losa} \times d_1 \times (\text{Promedio del espesor})$$

$$\nabla_1 = 15 \times 5.046 \times (0.596 + 0.603) / 2 = 45.376 m^3$$

$$\nabla_2 = (15 \times 17.78) / 2 \times (0.603 + 0.623) / 2 = 81.743 m^3$$

$$\nabla_3 = 3 \times 23.262 \times (0.603 + 0.606 + 0.636 + 0.623) / 4 = 43.058 m^3$$

$$\therefore \nabla_{LOSA\#32} = \nabla_1 + \nabla_2 + \nabla_3 = 170.177 m^3$$

3.4.3.2 Cálculo de volumen de diferentes materiales

Para conocer la capacidad en millones de metros cúbicos de un vaso de almacenamiento hay dos métodos: el del prismoide y el de las áreas medias.

Un vaso de almacenamiento es una depresión del terreno o del cauce de un río o un canal que se puede cerrar en un lugar por medio de una obra denominada “Cortina”, con objeto de almacenar el volumen de agua producidas por escurrimiento de las precipitaciones pluviales.

- Método del Prismoide: Es el método más exacto y se ejecutan los siguientes procedimientos.
 - a) Se determinan las áreas de las curvas de nivel, desde el fondo del cauce hasta el nivel probable de aguas máximas, con planímetro digital, recorriéndolas en sentido de las manecillas del reloj a partir del eje de la cortina.
 - b) Se calculan los volúmenes parciales por medio de la fórmula del prismoide:

$$\nabla = \frac{d}{6}(A_1 + 4A_m + A_n) \quad (3.7)$$

donde:

∇ = volumen parcial

d = distancia entre las áreas extremas A_1 y A_2

A_m = área intermedia (A_m no es promedio de A_1 y A_2)

- c) Con estos datos se realiza el cálculo de volúmenes acumulados y de la capacidad del vaso de almacenamiento.
- Método de las áreas medias: En general se obtienen valores más grandes para los volúmenes, este método es muy recomendable en la práctica por el tiempo reducido que permite en los cálculos y para su aplicación se procede como sigue:
 - a) Se determinan las áreas de las distintas curvas de nivel, por medio del planímetro digital.
 - b) Se calculan los volúmenes parciales multiplicando la suma de las áreas de dos curvas de nivel consecutivas por la mitad de la equidistancia:

$$\nabla = (A_1 + A_2) \frac{e}{2} \quad (3.8)$$

siendo:

∇ = volumen parcial

A_1 y A_2 = áreas de dos curvas de nivel consecutivas

e = equidistancia

- c) Se calculan los volúmenes acumulados hasta obtener el volumen total o capacidad del vaso de almacenamiento.

Sumando los volúmenes parciales, se halla:

$$\nabla = (A_1 + A_2) \frac{e}{2} + (A_2 + A_3) \frac{e}{2} + \dots + (A_{n-1} + A_n) \frac{e}{2} \quad (3.9)$$

o bien:

$$\nabla = \frac{e}{2} (A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{n-1} + A_n) \quad (3.10)$$

y finalmente:

$$\nabla = e \left(\frac{A_1}{2} + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1} + \frac{A_n}{2} \right) \quad (3.11)$$

donde:

∇ = volumen total o capacidad del vaso
 A_1 y A_n = áreas extremas
 A_2, A_3, \dots, A_{n-1} = áreas intermedias
 e = equidistancia

Con los valores de las áreas y de los volúmenes parciales y acumulados se tabulan y con ellos se construye una gráfica que se denomina “Curvas de áreas-capacidades-elevaciones”, en donde se aprecian las áreas de las curvas de nivel por elevación y los volúmenes almacenados para diferentes elevaciones del embalse.

En el eje de las ordenadas se marcan las elevaciones en metros a escala adecuada, de manera que abarquen desde el fondo del cauce hasta el nivel probable de aguas máximas (NAME y NAMO); y en el eje de las abscisas se marcan los valores de las áreas y capacidades del vaso.

Con las fórmulas antes mencionadas también se emplearon para obtener el área y los volúmenes parcial y acumulado para los diferentes tipos de materiales para la colocación de los mismos en la cortina de la estación 0 + 110.00 a la estación 0 + 620.00 en el período comprendido del 16 al 31 de Julio del 2005, hay que recordar que las estaciones son perpendiculares al eje de la cortina y las áreas se obtuvieron por secciones transversales.

Estación	A1 m ²	A1 + A2	e / 2	Volúmenes en m ³	
				Parcial	Acumulado
MATERIAL 2 PARA APOYO DE LA CARA DE CONCRETO					
0+110.00					
0+120.00		-	5.00	-	-
0+130.00		-	5.00	-	-
0+140.00		-	5.00	-	-
0+150.00		-	5.00	-	-
0+160.00		-	5.00	-	-
0+170.00		-	5.00	-	-
0+180.00		-	5.00	-	-
0+190.00		-	5.00	-	-
0+200.00		-	5.00	-	-
0+210.00		-	5.00	-	-
0+220.00		-	5.00	-	-
0+230.00		-	5.00	-	-
0+240.00		-	5.00	-	-
0+250.00		-	5.00	-	-
0+260.00		-	5.00	-	-
0+270.00	108.89	108.89	5.00	544.45	544.45
0+280.00	172.36	281.25	5.00	1,406.25	1,950.70
0+290.00	222.37	394.73	5.00	1,973.65	3,924.35
0+300.00	258.99	481.36	5.00	2,406.80	6,331.15
0+310.00	287.70	546.69	5.00	2,733.45	9,064.60
0+320.00	316.380	604.08	5.00	3,020.40	12,085.00
0+330.00	343.530	659.91	5.00	3,299.55	15,384.55
0+340.00	371.100	714.63	5.00	3,573.15	18,957.70
0+350.00	398.720	769.82	5.00	3,849.10	22,806.80
0+360.00	428.200	826.92	5.00	4,134.60	26,941.40
0+370.00	455.200	883.40	5.00	4,417.00	31,358.40
0+380.00	474.090	929.29	5.00	4,646.45	36,004.85
0+390.00	474.270	948.36	5.00	4,741.80	40,746.65
0+400.00	474.310	948.58	5.00	4,742.90	45,489.55
0+410.00	474.300	948.61	5.00	4,743.05	50,232.60
0+420.00	474.310	948.61	5.00	4,743.05	54,975.65
0+430.00	474.330	948.64	5.00	4,743.20	59,718.85
0+440.00	474.270	948.60	5.00	4,743.00	64,461.85
0+450.00	491.310	965.58	5.00	4,827.90	69,289.75
0+460.00	491.230	982.54	5.00	4,912.70	74,202.45
0+470.00	490.860	982.09	5.00	4,910.45	79,112.90
0+480.00	473.880	964.74	5.00	4,823.70	83,936.60
0+490.00	459.000	932.88	5.00	4,664.40	88,601.00
0+500.00	444.500	903.50	5.00	4,517.50	93,118.50
0+510.00	429.290	873.79	5.00	4,368.95	97,487.45
0+520.00	415.090	844.38	5.00	4,221.90	101,709.35
0+530.00	385.410	800.50	5.00	4,002.50	105,711.85

0+540.00	339.590	725.00	5.00	3,625.00	109,336.85
0+550.00	300.14	639.73	5.00	3,198.65	112,535.50
0+560.00	258.80	558.94	5.00	2,794.70	115,330.20
0+570.00	223.63	482.43	5.00	2,412.15	117,742.35
0+580.00	187.67	411.30	5.00	2,056.50	119,798.85
0+590.00	148.78	336.45	5.00	1,682.25	121,481.10
0+600.00	105.91	254.69	5.00	1,273.45	122,754.55
0+610.00	66.14	172.05	5.00	860.25	123,614.80
0+620.00	41.03	107.17	5.00	535.85	124,150.65
Volumen Total Acumulado de Material "2" = 124,150.65 m³					

Tabla 3.6. Volúmenes parcial y acumulado de material 2.

Estación	A1 m ²	A1 + A2	e / 2	Volúmenes en m ³	
				Parcial	Acumulado
MATERIAL 3A PARA FILTRO DE TRANSICIÓN ENTRE ZONAS 2 Y 3B DE LA CORTINA					
0+110.00					
0+120.00		-	5.00	-	-
0+130.00		-	5.00	-	-
0+140.00		-	5.00	-	-
0+150.00		-	5.00	-	-
0+160.00		-	5.00	-	-
0+170.00		-	5.00	-	-
0+180.00		-	5.00	-	-
0+190.00		-	5.00	-	-
0+200.00		-	5.00	-	-
0+210.00		-	5.00	-	-
0+220.00		-	5.00	-	-
0+230.00		-	5.00	-	-
0+240.00		-	5.00	-	-
0+250.00		-	5.00	-	-
0+260.00		-	5.00	-	-
0+270.00	46.35	46.35	5.00	231.75	231.75
0+280.00	100.48	146.83	5.00	734.15	965.90
0+290.00	131.24	231.72	5.00	1,158.60	2,124.50
0+300.00	172.47	303.71	5.00	1,518.55	3,643.05
0+310.00	192.78	365.25	5.00	1,826.25	5,469.30
0+320.00	211.95	404.73	5.00	2,023.65	7,492.95
0+330.00	231.42	443.37	5.00	2,216.85	9,709.80
0+340.00	247.31	478.73	5.00	2,393.65	12,103.45
0+350.00	268.41	515.72	5.00	2,578.60	14,682.05
0+360.00	285.40	553.81	5.00	2,769.05	17,451.10
0+370.00	304.39	589.79	5.00	2,948.95	20,400.05
0+380.00	319.95	624.34	5.00	3,121.70	23,521.75
0+390.00	322.79	642.74	5.00	3,213.70	26,735.45

0+400.00	323.93	646.72	5.00	3,233.60	29,969.05
0+410.00	323.76	647.69	5.00	3,238.45	33,207.50
0+420.00	323.18	646.94	5.00	3,234.70	36,442.20
0+430.00	322.96	646.14	5.00	3,230.70	39,672.90
0+440.00	323.15	646.11	5.00	3,230.55	42,903.45
0+450.00	328.27	651.42	5.00	3,257.10	46,160.55
0+460.00	389.70	717.97	5.00	3,589.85	49,750.40
0+470.00	335.64	725.34	5.00	3,626.70	53,377.10
0+480.00	323.99	659.63	5.00	3,298.15	56,675.25
0+490.00	313.88	637.87	5.00	3,189.35	59,864.60
0+500.00	300.13	614.01	5.00	3,070.05	62,934.65
0+510.00	290.16	590.29	5.00	2,951.45	65,886.10
0+520.00	276.93	567.09	5.00	2,835.45	68,721.55
0+530.00	250.61	527.54	5.00	2,637.70	71,359.25
0+540.00	218.84	469.45	5.00	2,347.25	73,706.50
0+550.00	192.91	411.75	5.00	2,058.75	75,765.25
0+560.00	164.41	357.32	5.00	1,786.60	77,551.85
0+570.00	145.02	309.43	5.00	1,547.15	79,099.00
0+580.00	120.35	265.37	5.00	1,326.85	80,425.85
0+590.00	90.87	211.22	5.00	1,056.10	81,481.95
0+600.00	65.70	156.57	5.00	782.85	82,264.80
0+610.00	46.54	112.24	5.00	561.20	82,826.00
0+620.00	4.82	51.36	5.00	256.80	83,082.80
Volumen Total Acumulado de Material "3A" = 83,082.80 m³					

Tabla 3.7. Volúmenes parcial y acumulado de material 3A.

Estación	A1 m ²	A1 + A2	e / 2	Volúmenes en m ³	
				Parcial	Acumulado
MATERIAL 3B PARA EL CUERPO PRINCIPAL DE LA CORTINA					
0+110.00					
0+120.00		-	5.00	-	-
0+130.00		-	5.00	-	-
0+140.00		-	5.00	-	-
0+150.00		-	5.00	-	-
0+160.00		-	5.00	-	-
0+170.00		-	5.00	-	-
0+180.00		-	5.00	-	-
0+190.00		-	5.00	-	-
0+200.00		-	5.00	-	-
0+210.00		-	5.00	-	-
0+220.00		-	5.00	-	-
0+230.00		-	5.00	-	-
0+240.00		-	5.00	-	-
0+250.00		-	5.00	-	-
0+260.00		-	5.00	-	-

0+270.00	69.450	69.45	5.00	347.25	347.25
0+280.00	394.86	464.31	5.00	2,321.55	2,668.80
0+290.00	1134.53	1,529.39	5.00	7,646.95	10,315.75
0+300.00	1907.62	3,042.15	5.00	15,210.75	25,526.50
0+310.00	2516.01	4,423.63	5.00	22,118.15	47,644.65
0+320.00	3053.04	5,569.05	5.00	27,845.25	75,489.90
0+330.00	3688.85	6,741.89	5.00	33,709.45	109,199.35
0+340.00	4206.78	7,895.63	5.00	39,478.15	148,677.50
0+350.00	4622.57	8,829.35	5.00	44,146.75	192,824.25
0+360.00	5365.14	9,987.71	5.00	49,938.55	242,762.80
0+370.00	5718.26	11,083.40	5.00	55,417.00	298,179.80
0+380.00	6246.79	11,965.05	5.00	59,825.25	358,005.05
0+390.00	7379.00	13,625.79	5.00	68,128.95	426,134.00
0+400.00	7865.98	15,244.98	5.00	76,224.90	502,358.90
0+410.00	8395.94	16,261.92	5.00	81,309.60	583,668.50
0+420.00	9079.24	17,475.18	5.00	87,375.90	671,044.40
0+430.00	9512.21	18,591.45	5.00	92,957.25	764,001.65
0+440.00	9799.97	19,312.18	5.00	96,560.90	860,562.55
0+450.00	9946.84	19,746.81	5.00	98,734.05	959,296.60
0+460.00	9960.84	19,907.68	5.00	99,538.40	1,058,835.00
0+470.00	10045.38	20,006.22	5.00	100,031.10	1,158,866.10
0+480.00	9706.30	19,751.68	5.00	98,758.40	1,257,624.50
0+490.00	9442.89	19,149.19	5.00	95,745.95	1,353,370.45
0+500.00	9101.15	18,544.04	5.00	92,720.20	1,446,090.65
0+510.00	8556.51	17,657.66	5.00	88,288.30	1,534,378.95
0+520.00	8081.10	16,637.61	5.00	83,188.05	1,617,567.00
0+530.00	7215.28	15,296.38	5.00	76,481.90	1,694,048.90
0+540.00	5956.68	13,171.96	5.00	65,859.80	1,759,908.70
0+550.00	4464.31	10,420.99	5.00	52,104.95	1,812,013.65
0+560.00	3204.66	7,668.97	5.00	38,344.85	1,850,358.50
0+570.00	2179.70	5,384.36	5.00	26,921.80	1,877,280.30
0+580.00	1281.48	3,461.18	5.00	17,305.90	1,894,586.20
0+590.00	627.88	1,909.36	5.00	9,546.80	1,904,133.00
0+600.00	222.24	850.12	5.00	4,250.60	1,908,383.60
0+610.00	92.64	314.88	5.00	1,574.40	1,909,958.00
Volumen Acumulado en Cortina = 1,909,958.00 m³					
Volumen en Galería de Filtraciones = 5,885.46 m³					
Volumen Total Acumulado de Material "3B" = 1,915,843.46 m³					

Tabla 3.8. Volúmenes parcial y acumulado de material 3B.

Estación	A1 m ²	A1 + A2	e / 2	Volúmenes en m ³	
				Parcial	Acumulado
MATERIAL T TRANSICIÓN PARA EL CUERPO PRINCIPAL DE LA CORTINA					
0+110.00					
0+120.00		-	5.00	-	-
0+130.00		-	5.00	-	-
0+140.00		-	5.00	-	-
0+150.00		-	5.00	-	-
0+160.00		-	5.00	-	-
0+170.00		-	5.00	-	-
0+180.00		-	5.00	-	-
0+190.00		-	5.00	-	-
0+200.00		-	5.00	-	-
0+210.00		-	5.00	-	-
0+220.00		-	5.00	-	-
0+230.00		-	5.00	-	-
0+240.00		-	5.00	-	-
0+250.00		-	5.00	-	-
0+260.00		-	5.00	-	-
0+270.00		-	5.00	-	-
0+280.00	4.59	4.59	5.00	22.95	22.95
0+290.00	393.95	398.54	5.00	1,992.70	2,015.65
0+300.00	1508.73	1,902.68	5.00	9,513.40	11,529.05
0+310.00	2,675.33	4,184.06	5.00	20,920.30	32,449.35
0+320.00	4,013.52	6,688.85	5.00	33,444.25	65,893.60
0+330.00	4,678.17	8,691.69	5.00	43,458.45	109,352.05
0+340.00	4,903.57	9,581.74	5.00	47,908.70	157,260.75
0+350.00	4,751.93	9,655.50	5.00	48,277.50	205,538.25
0+360.00	4,978.89	9,730.82	5.00	48,654.10	254,192.35
0+370.00	5,614.61	10,593.50	5.00	52,967.50	307,159.85
0+380.00	6,289.72	11,904.33	5.00	59,521.65	366,681.50
0+390.00	7,020.18	13,309.90	5.00	66,549.50	433,231.00
0+400.00	7,895.97	14,916.15	5.00	74,580.75	507,811.75
0+410.00	8,918.50	16,814.47	5.00	84,072.35	591,884.10
0+420.00	10,178.86	19,097.36	5.00	95,486.80	687,370.90
0+430.00	10,989.08	21,167.94	5.00	105,839.70	793,210.60
0+440.00	11,517.37	22,506.45	5.00	112,532.25	905,742.85
0+450.00	11,937.37	23,454.74	5.00	117,273.70	1,023,016.55
0+460.00	11,892.29	23,829.66	5.00	119,148.30	1,142,164.85
0+470.00	11,617.68	23,509.97	5.00	117,549.85	1,259,714.70
0+480.00	11,053.23	22,670.91	5.00	113,354.55	1,373,069.25
0+490.00	10,293.81	21,347.04	5.00	106,735.20	1,479,804.45
0+500.00	9,274.50	19,568.31	5.00	97,841.55	1,577,646.00
0+510.00	7,945.17	17,219.67	5.00	86,098.35	1,663,744.35
0+520.00	6,498.34	14,443.51	5.00	72,217.55	1,735,961.90

0+530.00	5,046.58	11,544.92	5.00	57,724.60	1,793,686.50
0+540.00	3,765.30	8,811.88	5.00	44,059.40	1,837,745.90
0+550.00	2,800.23	6,565.53	5.00	32,827.65	1,870,573.55
0+560.00	1892.34	4,692.57	5.00	23,462.85	1,894,036.40
0+570.00	1117.37	3,009.71	5.00	15,048.55	1,909,084.95
0+580.00	536.00	1,653.37	5.00	8,266.85	1,917,351.80
0+590.00	38.53	574.53	5.00	2,872.65	1,920,224.45
0+530.00	5,046.58	11,544.92	5.00	57,724.60	1,793,686.50
0+540.00	3,765.30	8,811.88	5.00	44,059.40	1,837,745.90
0+550.00	2,800.23	6,565.53	5.00	32,827.65	1,870,573.55
0+560.00	1892.34	4,692.57	5.00	23,462.85	1,894,036.40
0+570.00	1117.37	3,009.71	5.00	15,048.55	1,909,084.95
0+580.00	536.00	1,653.37	5.00	8,266.85	1,917,351.80
0+590.00	38.53	574.53	5.00	2,872.65	1,920,224.45
Volumen Acumulado en Cortina = 1,920,224.45 m³					
Menos Volumen de Pedraplen = - 768.86 m³					
Volumen Total Acumulado de Material "T" = 1,919,455.59 m³					

Tabla 3.9. Volúmenes parcial y acumulado de material T.

Estación	A1 m ²	A1 + A2	e / 2	Volúmenes en m ³	
				Parcial	Acumulado
MATERIAL DE ENROCAMIENTO 3C					
0+110.00					
0+120.00		-	5.00	-	-
0+130.00		-	5.00	-	-
0+140.00		-	5.00	-	-
0+150.00		-	5.00	-	-
0+160.00		-	5.00	-	-
0+170.00		-	5.00	-	-
0+180.00		-	5.00	-	-
0+190.00		-	5.00	-	-
0+200.00		-	5.00	-	-
0+210.00		-	5.00	-	-
0+220.00		-	5.00	-	-
0+230.00		-	5.00	-	-
0+240.00		-	5.00	-	-
0+250.00		-	5.00	-	-
0+260.00	30.57	30.57	5.00	152.85	152.85
0+270.00	280.36	310.93	5.00	1,554.65	1,707.50
0+280.00	1,026.75	1,307.11	5.00	6,535.55	8,243.05
0+290.00	1,558.00	2,584.75	5.00	12,923.75	21,166.80
0+300.00	2,156.79	3,714.79	5.00	18,573.95	39,740.75
0+310.00	3,189.13	5,345.92	5.00	26,729.60	66,470.35
0+320.00	3,956.87	7,146.00	5.00	35,730.00	102,200.35

0+330.00	4,529.97	8,486.84	5.00	42,434.20	144,634.55
0+340.00	5,071.95	9,601.92	5.00	48,009.60	192,644.15
0+350.00	6,330.11	11,402.06	5.00	57,010.30	249,654.45
0+360.00	7,435.00	13,765.11	5.00	68,825.55	318,480.00
0+370.00	8,129.64	15,564.64	5.00	77,823.20	396,303.20
0+380.00	9,010.26	17,139.90	5.00	85,699.50	482,002.70
0+390.00	9,673.54	18,683.80	5.00	93,419.00	575,421.70
0+400.00	10,101.17	19,774.71	5.00	98,873.55	674,295.25
0+410.00	10,531.87	20,633.04	5.00	103,165.20	777,460.45
0+420.00	10,699.87	21,231.74	5.00	106,158.70	883,619.15
0+430.00	10,662.60	21,362.47	5.00	106,812.35	990,431.50
0+440.00	10,284.64	20,947.24	5.00	104,736.20	1,095,167.70
0+450.00	10,024.00	20,308.64	5.00	101,543.20	1,196,710.90
0+460.00	9,604.42	19,628.42	5.00	98,142.10	1,294,853.00
0+470.00	9,013.01	18,617.43	5.00	93,087.15	1,387,940.15
0+480.00	8,288.42	17,301.43	5.00	86,507.15	1,474,447.30
0+490.00	7,828.86	16,117.28	5.00	80,586.40	1,555,033.70
0+500.00	7,184.61	15,013.47	5.00	75,067.35	1,630,101.05
0+510.00	6,474.85	13,659.46	5.00	68,297.30	1,698,398.35
0+520.00	5,385.07	11,859.92	5.00	59,299.60	1,757,697.95
0+530.00	4,364.94	9,750.01	5.00	48,750.05	1,806,448.00
0+540.00	3,219.93	7,584.87	5.00	37,924.35	1,844,372.35
0+550.00	2,275.36	5,495.29	5.00	27,476.45	1,871,848.80
0+560.00	2,129.19	4,404.55	5.00	22,022.75	1,893,871.55
0+570.00	1,709.50	3,838.69	5.00	19,193.45	1,913,065.00
0+580.00	1,059.91	2,769.41	5.00	13,847.05	1,926,912.05
0+590.00	486.88	1,546.79	5.00	7,733.95	1,934,646.00
0+600.00	86.01	572.89	5.00	2,864.45	1,937,510.45
0+610.00	14.600	100.61	5.00	503.05	1,938,013.50
Volumen Acumulado en Cortina = 1,938,013.50 m³					
Volumen en Galería de Filtraciones = 4,644.67 m³					
Volumen Total Acumulado de Material "3C" = 1,942,658.17 m³					

Tabla 3.10. Volúmenes parcial y acumulado de material 3C.

Estación	A1 m ²	A1 + A2	e / 2	Volúmenes en m ³	
				Parcial	Acumulado
MATERIAL DE ENROCAMIENTO 4 (ACUÑADO)					
0+110.00					
0+120.00		-	5.00	-	-
0+130.00		-	5.00	-	-
0+140.00		-	5.00	-	-
0+150.00		-	5.00	-	-
0+160.00		-	5.00	-	-
0+170.00		-	5.00	-	-

0+180.00		-	5.00	-	-
0+190.00		-	5.00	-	-
0+200.00		-	5.00	-	-
0+210.00		-	5.00	-	-
0+220.00		-	5.00	-	-
0+230.00		-	5.00	-	-
0+240.00		-	5.00	-	-
0+250.00		-	5.00	-	-
0+260.00	9.190	9.19	5.00	45.95	45.95
0+270.00	35.760	44.95	5.00	224.75	270.70
0+280.00	79.250	115.01	5.00	575.05	845.75
0+290.00	86.520	165.77	5.00	828.85	1,674.60
0+300.00	91.770	178.29	5.00	891.45	2,566.05
0+310.00	142.980	234.75	5.00	1,173.75	3,739.80
0+320.00	144.050	287.03	5.00	1,435.15	5,174.95
0+330.00	151.110	295.16	5.00	1,475.80	6,650.75
0+340.00	162.170	313.28	5.00	1,566.40	8,217.15
0+350.00	188.190	350.36	5.00	1,751.80	9,968.95
0+360.00	210.500	398.69	5.00	1,993.45	11,962.40
0+370.00	219.060	429.56	5.00	2,147.80	14,110.20
0+380.00	218.680	437.74	5.00	2,188.70	16,298.90
0+390.00	218.420	437.10	5.00	2,185.50	18,484.40
0+400.00	218.190	436.61	5.00	2,183.05	20,667.45
0+410.00	217.960	436.15	5.00	2,180.75	22,848.20
0+420.00	217.600	435.56	5.00	2,177.80	25,026.00
0+430.00	217.170	434.77	5.00	2,173.85	27,199.85
0+440.00	217.400	434.57	5.00	2,172.85	29,372.70
0+450.00	217.640	435.04	5.00	2,175.20	31,547.90
0+460.00	217.510	435.15	5.00	2,175.75	33,723.65
0+470.00	206.590	424.10	5.00	2,120.50	35,844.15
0+480.00	167.510	374.10	5.00	1,870.50	37,714.65
0+490.00	164.630	332.14	5.00	1,660.70	39,375.35
0+500.00	146.540	311.17	5.00	1,555.85	40,931.20
0+510.00	140.190	286.73	5.00	1,433.65	42,364.85
0+520.00	104.460	244.65	5.00	1,223.25	43,588.10
0+530.00	98.970	203.43	5.00	1,017.15	44,605.25
0+540.00	88.620	187.59	5.00	937.95	45,543.20
0+550.00	76.650	165.27	5.00	826.35	46,369.55
0+560.00	10.910	87.56	5.00	437.80	46,807.35
0+570.00	2.760	13.67	5.00	68.35	46,875.70
0+580.00	1.990	4.75	5.00	23.75	46,899.45
0+590.00	0.00	1.99	5.00	9.95	46,909.40
0+600.00	0.00	-	5.00	-	46,909.40
Volumen Acumulado en Cortina = 46,909.40 m³					
Volumen en Galería de Filtraciones = 1,583.28 m³					
Volumen Total Acumulado de Material "4" = 48,492.68 m³					

Tabla 3.11. Volúmenes parcial y acumulado de material 4.

3.4.3.3 *Obtención del volumen de bancos de materiales*

Es importante obtener el volumen de bancos de materiales como arcilla, arena, grava y basalto; producto de las excavaciones para evaluar la cantidad en metros cúbicos de cada uno de estos materiales que queda y se necesita para la colocación de estos materiales en la cortina, en la siguiente tabla se muestra las coordenadas X Y Z de los puntos levantados con la Estación Total Geodimeter para el volumen de dichos bancos.

BANCO DE MATERIAL MARGEN DERECHA 01 JUNIO 2005							
Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.	Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.
1	556100.954	2369776.916	403.574	39	556055.246	2369766.376	410.037
2	556098.056	2369778.604	405.552	40	556057.679	2369762.529	409.893
3	556096.790	2369773.321	403.628	41	556063.264	2369771.525	410.118
4	556095.382	2369779.173	405.956	42	556066.36	2369768.180	410.269
5	556091.604	2369770.031	403.786	43	556072.151	2369776.548	410.317
6	556087.111	2369765.319	403.657	44	556073.774	2369773.304	410.394
7	556081.230	2369762.763	403.756	45	556077.177	2369779.404	410.535
8	556088.409	2369778.453	410.343	46	556081.562	2369778.028	410.460
9	556074.131	2369758.408	403.854	47	556083.921	2369782.837	410.385
10	556082.978	2369774.732	410.636	48	556085.247	2369781.753	410.375
11	556068.812	2369754.144	404.022	49	556087.128	2369780.899	410.483
12	556075.851	2369770.102	410.417	50	556088.58	2369781.428	410.543
13	556061.944	2369750.264	404.029	51	556089.789	2369786.931	407.268
14	556068.549	2369764.597	410.212	52	556090.646	2369788.364	406.795
15	556052.376	2369745.278	404.265	53	556097.641	2369783.022	403.879
16	556061.851	2369759.596	409.986	54	556101.634	2369784.262	403.763
17	556055.539	2369755.428	409.467	55	556094.963	2369791.051	403.550
18	556044.622	2369739.499	404.164	56	556097.178	2369786.133	403.615
19	556048.849	2369750.178	408.478	57	556090.132	2369794.251	403.492
20	556038.838	2369734.729	404.283	58	556082.247	2369793.334	403.614
21	556043.358	2369744.284	407.417	59	556071.222	2369787.289	403.707
22	556034.706	2369730.413	404.400	60	556060.407	2369781.086	404.021
23	556039.745	2369740.233	406.588	61	556050.394	2369774.710	404.125
24	556028.574	2369734.112	404.737	62	556045.895	2369771.393	404.061
25	556037.292	2369736.143	405.359	63	556038.075	2369766.236	404.060
26	556024.760	2369739.826	404.973	64	556031.918	2369761.690	404.200
27	556031.210	2369741.990	405.830	65	556025.356	2369757.687	404.349
28	556019.139	2369747.514	404.708	66	556019.79	2369750.548	404.325
29	556028.045	2369747.441	406.027	67	555982.593	2369711.815	404.336
30	556023.097	2369751.021	405.610	68	555977.84	2369713.595	406.706
31	556033.791	2369750.131	406.954	69	555976.531	2369709.596	404.306
32	556030.706	2369755.203	407.125	70	555974.56	2369713.853	406.355
33	556037.059	2369746.926	406.885	71	555970.359	2369708.412	404.322
34	556037.705	2369756.145	407.976	72	555968.524	2369712.130	407.108
35	556039.808	2369752.788	407.843	73	555963.57	2369706.636	404.264
36	556042.339	2369750.144	407.876	74	555961.287	2369710.752	407.663
37	556046.392	2369761.834	409.116	75	555958.429	2369704.929	404.235
38	556050.391	2369757.924	409.070	76	555958.986	2369711.684	408.820

BANCO DE MATERIAL MARGEN DERECHA 01 JUNIO 2005							
Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.	Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.
77	555954.220	2369705.501	404.398	120	555967.870	2369737.177	406.024
78	555956.844	2369711.98	407.912	121	555973.046	2369719.943	407.058
79	555951.684	2369703.858	404.367	122	555970.611	2369732.761	405.660
80	555957.651	2369710.578	407.875	123	555971.092	2369716.954	406.058
81	555948.546	2369703.429	403.634	124	555972.921	2369729.101	405.602
82	555953.819	2369711.625	408.114	125	555975.395	2369717.399	405.787
83	555943.567	2369707.778	403.770	126	555976.195	2369724.777	405.851
84	555953.489	2369713.317	409.017	127	555978.482	2369717.549	405.444
85	555955.382	2369714.194	409.214	128	555978.045	2369722.614	405.89
86	555941.504	2369713.548	403.995	129	555981.391	2369716.046	404.483
87	555957.598	2369713.251	408.664	130	555983.181	2369725.949	404.640
88	555938.659	2369722.681	404.008	131	555983.148	2369720.414	404.464
89	555958.717	2369714.924	409.062	132	555979.804	2369731.974	404.527
90	555936.826	2369729.267	404.121	133	555978.254	2369736.384	404.373
91	555960.645	2369713.358	408.841	134	555974.339	2369742.323	404.293
92	555939.043	2369729.083	405.275	135	555969.407	2369743.306	404.125
93	555962.694	2369713.756	407.656	136	555966.707	2369741.95	404.063
94	555940.739	2369724.608	405.847	137	555962.116	2369739.934	404.041
95	555965.117	2369715.525	407.814	138	555955.071	2369737.912	404.023
96	555942.819	2369716.894	405.613	139	555949.714	2369737.056	403.931
97	555966.709	2369715.959	407.196	140	555944.979	2369733.816	403.953
98	555946.768	2369707.698	405.289	141	555941.232	2369733.845	403.926
99	555960.989	2369717.533	407.269	142	555942.69	2369732.346	405.133
100	555948.837	2369707.443	404.122	143	555944.227	2369730.167	405.182
101	555956.451	2369717.253	407.771	144	555941.940	2369728.559	404.372
102	555945.846	2369712.116	404.858	145	555941.416	2369726.80	404.316
103	555953.698	2369715.686	408.161	146	556374.431	2369486.671	335.766
104	555943.361	2369720.421	405.188	147	556370.835	2369486.016	338.001
105	555951.522	2369713.059	408.185	148	556374.999	2369481.635	335.032
106	555942.237	2369724.556	405.138	149	556369.395	2369481.447	338.103
107	555949.215	2369717.066	408.008	150	556375.035	2369479.756	334.020
108	555948.014	2369720.762	407.961	151	556366.193	2369477.831	337.969
109	555946.998	2369725.128	407.917	152	556370.283	2369474.301	333.964
110	555948.568	2369728.600	407.973	153	556369.095	2369470.146	334.203
111	555954.866	2369719.674	407.766	154	556365.858	2369475.245	336.454
112	555954.739	2369731.491	407.619	155	556363.779	2369466.08	333.987
113	555960.417	2369723.333	407.190	156	556365.973	2369472.614	336.896
114	555957.848	2369727.125	407.181	157	556366.738	2369462.792	333.872
115	555966.403	2369722.079	407.157	158	556364.238	2369470.069	335.679
116	555963.918	2369728.923	406.568	159	556365.619	2369459.092	333.675
117	555970.872	2369720.902	407.047	160	556361.520	2369466.756	335.219
118	555962.286	2369734.775	406.375	161	556362.540	2369457.489	333.449
119	555970.031	2369718.340	407.016	162	556358.654	2369463.977	336.221

BANCO DE MATERIAL MARGEN DERECHA 01 JUNIO 2005							
Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.	Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.
163	556367.932	2369441.951	333.265	206	556365.694	2369437.865	337.195
164	556362.560	2369461.935	336.587	207	556355.303	2369434.528	340.312
165	556371.796	2369436.357	333.721	208	556361.628	2369436.405	339.246
166	556372.237	2369425.445	333.885	209	556357.375	2369434.915	340.065
167	556379.616	2369475.432	333.923	210	556355.378	2369436.295	340.350
168	556368.829	2369424.350	336.002	211	556358.418	2369438.715	338.760
169	556385.220	2369469.400	333.958	212	556352.841	2369435.445	339.202
170	556364.912	2369418.859	335.285	213	556363.266	2369440.511	336.313
171	556385.163	2369461.742	334.208	214	556350.918	2369436.089	338.870
172	556363.249	2369416.852	334.251	215	556347.142	2369436.186	336.614
173	556374.790	2369463.251	333.984	216	556348.580	2369437.615	336.730
174	556361.702	2369417.710	333.923	217	556348.167	2369439.493	337.879
175	556375.241	2369454.321	333.938	218	556346.558	2369443.938	337.660
176	556358.981	2369414.166	333.839	219	556352.037	2369441.763	337.801
177	556383.995	2369453.449	334.225	220	556349.649	2369444.856	337.890
178	556356.541	2369411.782	333.098	221	556352.734	2369448.400	337.487
179	556390.198	2369447.356	334.470	222	556350.538	2369450.564	336.555
180	556357.742	2369417.332	336.252	223	556347.832	2369447.130	336.910
181	556382.181	2369442.495	334.075	224	556345.230	2369445.415	336.924
182	556362.459	2369424.016	336.079	225	556345.103	2369443.720	336.477
183	556378.658	2369435.280	333.751	226	556342.858	2369444.141	336.468
184	556365.966	2369428.798	336.242	227	556358.733	2369442.437	336.134
185	556384.979	2369436.598	334.042	228	556359.311	2369443.767	336.221
186	556367.723	2369434.197	336.213	229	556356.958	2369444.694	336.517
187	556393.915	2369439.940	334.302	230	556355.012	2369441.957	336.475
188	556367.177	2369436.681	336.077	231	556355.299	2369445.955	337.120
189	556394.267	2369436.266	334.312	232	556352.117	2369450.522	337.038
190	556364.285	2369432.948	335.994	233	556351.800	2369457.292	336.843
191	556388.903	2369433.422	334.271	234	556345.157	2369460.856	336.924
192	556361.192	2369428.020	336.198	235	556341.800	2369460.741	336.428
193	556384.903	2369432.676	334.203	236	556344.756	2369450.165	339.913
194	556358.178	2369423.971	336.047	237	556345.386	2369453.382	340.174
195	556379.147	2369430.532	333.663	238	556340.206	2369464.595	337.867
196	556355.716	2369420.458	336.337	239	556345.116	2369456.049	340.164
197	556380.092	2369429.102	332.554	240	556338.304	2369461.138	337.720
198	556355.767	2369421.956	336.947	241	556335.897	2369461.945	336.514
199	556381.089	2369427.875	332.574	242	556339.393	2369451.723	336.452
200	556358.994	2369426.492	336.967	243	556334.112	2369461.032	336.420
201	556375.955	2369424.918	332.202	244	556336.795	2369456.303	336.577
202	556361.137	2369431.247	337.108	245	556340.216	2369459.496	336.568
203	556357.440	2369430.602	337.335	246	556331.532	2369467.429	336.485
204	556353.945	2369426.714	337.311	247	556336.006	2369469.449	338.116
205	556351.182	2369430.017	337.256	248	556333.060	2369468.065	337.675

BANCO DE MATERIAL MARGEN DERECHA 01 JUNIO 2005							
Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.	Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.
249	556330.256	2369472.436	336.449	292	556354.086	2369488.842	337.496
250	556331.784	2369472.619	337.661	293	556353.560	2369494.002	336.246
251	556330.889	2369475.441	336.534	294	556354.166	2369484.615	337.752
252	556329.098	2369476.106	336.427	295	556359.053	2369499.057	336.037
253	556335.150	2369474.291	338.282	296	556352.062	2369482.301	337.324
254	556330.496	2369479.513	336.461	297	556355.795	2369479.783	337.556
255	556333.805	2369477.423	338.694	298	556364.216	2369504.730	335.492
256	556327.955	2369480.229	336.789	299	556357.604	2369482.323	337.554
257	556336.509	2369478.384	337.023	300	556367.877	2369507.402	335.375
258	556328.188	2369484.240	337.131	301	556361.239	2369477.152	337.656
259	556339.009	2369484.010	337.333	302	556371.295	2369501.881	335.548
260	556330.318	2369482.035	337.717	303	556364.699	2369481.619	337.641
261	556333.992	2369481.596	337.143	304	556366.123	2369495.152	336.263
262	556332.186	2369486.506	337.868	305	556362.028	2369489.328	336.475
263	556336.053	2369488.832	337.928	306	556366.359	2369486.855	337.642
264	556330.622	2369491.433	338.526	307	556360.150	2369484.728	336.412
265	556335.199	2369493.402	338.500	308	556367.335	2369488.145	337.611
266	556327.413	2369490.704	337.877	309	556363.066	2369483.535	336.483
267	556332.705	2369492.582	338.366	310	556365.162	2369489.643	336.441
268	556323.568	2369490.478	336.850	311	556369.799	2369489.533	336.580
269	556337.861	2369496.312	337.109	312	556363.413	2369476.132	336.642
270	556339.002	2369498.318	337.528	313	556372.262	2369491.190	335.570
271	556337.929	2369499.258	336.577	314	556373.243	2369496.222	335.617
272	556341.771	2369500.996	337.425	315	556360.547	2369473.726	334.633
273	556341.552	2369502.823	336.174	316	556355.395	2369476.762	335.162
274	556344.336	2369503.270	337.251	317	556347.802	2369482.064	334.848
275	556344.116	2369505.860	336.021	318	556355.842	2369467.144	335.634
276	556347.171	2369499.171	337.296	319	556343.840	2369485.926	334.392
277	556347.165	2369503.746	336.254	320	556355.359	2369463.574	335.638
278	556344.025	2369495.517	337.834	321	556354.404	2369471.706	335.402
279	556348.478	2369509.735	335.973	322	556340.783	2369491.148	334.827
280	556342.510	2369493.864	337.439	323	556348.815	2369474.837	335.151
281	556352.618	2369512.642	335.559	324	556336.922	2369493.937	335.287
282	556345.510	2369490.964	337.467	325	556345.124	2369477.577	334.627
283	556355.415	2369517.589	334.897	326	556339.125	2369490.819	334.291
284	556349.456	2369495.167	337.635	327	556337.470	2369489.375	335.128
285	556362.119	2369512.151	335.213	328	556340.173	2369484.159	335.527
286	556352.298	2369492.290	337.252	329	556342.371	2369484.207	334.343
287	556356.761	2369505.688	335.686	330	556338.520	2369481.853	334.711
288	556347.414	2369487.313	337.283	331	556337.282	2369477.007	334.795
289	556352.77	2369501.794	336.081	332	556337.269	2369477.064	334.483
290	556350.530	2369484.543	337.290	333	556339.927	2369476.642	334.381
291	556350.221	2369498.276	336.189	334	556338.036	2369471.463	334.323

BANCO DE MATERIAL MARGEN DERECHA 01 JUNIO 2005							
Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.	Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.
335	556343.570	2369472.747	334.245	378	556308.975	2369524.320	342.027
336	556340.905	2369467.869	334.305	379	556312.959	2369529.870	341.797
337	556346.087	2369464.059	334.559	380	556317.050	2369535.081	341.833
338	556349.824	2369468.773	334.791	381	556321.048	2369539.745	342.292
339	556351.853	2369470.593	333.470	382	556318.468	2369543.692	342.046
340	556349.477	2369463.886	333.421	383	556312.947	2369538.332	342.016
341	556351.797	2369462.819	333.419	384	556307.425	2369533.296	341.911
342	556347.554	2369461.743	334.402	385	556302.773	2369529.463	341.997
343	556352.103	2369459.771	334.852	386	556302.772	2369529.542	342.021
344	556356.274	2369459.838	333.164	387	556302.782	2369529.427	342.035
345	556355.795	2369452.944	333.218	388	556298.580	2369532.730	342.401
346	556359.371	2369447.865	333.091	389	556329.207	2369527.014	341.690
347	556365.586	2369444.304	333.060	390	556305.355	2369539.780	342.206
348	556341.614	2369530.392	337.011	391	556309.919	2369542.408	342.159
349	556336.314	2369527.426	337.492	392	556316.832	2369545.061	342.447
350	556345.398	2369523.958	337.902	393	556313.028	2369545.095	342.383
351	556337.564	2369520.242	338.619	394	556308.034	2369543.932	342.264
352	556346.729	2369517.615	339.507	395	556302.512	2369541.808	342.414
353	556336.581	2369517.856	339.007	396	556297.874	2369539.302	342.556
354	556345.556	2369514.383	339.765	397	556296.037	2369535.402	342.510
355	556333.168	2369512.421	340.011	398	556333.164	2369534.150	336.731
356	556327.780	2369506.901	340.674	399	556336.973	2369535.885	336.824
357	556322.254	2369501.158	340.976	400	556333.900	2369543.710	335.437
358	556338.589	2369508.457	339.247	401	556330.286	2369542.902	335.176
359	556326.998	2369495.902	340.806	402	556354.300	2369520.648	334.866
360	556335.116	2369503.050	340.680	403	556349.342	2369527.021	334.598
361	556330.099	2369495.570	341.106	404	556341.641	2369536.410	334.394
362	556332.470	2369498.628	340.996	405	556336.225	2369543.543	334.233
363	556319.832	2369505.981	341.046	406	556330.854	2369550.397	334.062
364	556317.364	2369513.029	341.727	407	556327.263	2369550.812	333.985
365	556324.651	2369510.933	340.929	408	556319.952	2369556.995	333.599
366	556322.948	2369518.994	341.317	409	556314.885	2369558.209	333.423
367	556329.759	2369516.826	340.166	410	556309.732	2369553.482	332.562
368	556326.944	2369524.150	341.349	411	556297.480	2369548.519	330.187
369	556331.845	2369519.032	339.628	412	556280.210	2369548.532	325.759
370	556330.867	2369520.149	340.193	413	556273.058	2369539.675	324.222
371	556326.499	2369517.877	340.987	414	556270.706	2369532.640	323.705
372	556329.526	2369522.124	341.582	415	556272.106	2369525.698	323.258
373	556329.546	2369521.933	341.503	416	556273.387	2369518.887	322.975
374	556325.661	2369532.065	341.757	417	556277.362	2369520.669	324.471
375	556321.436	2369526.635	341.732	418	556275.631	2369511.996	322.772
376	556317.248	2369522.383	341.575	419	556279.787	2369516.412	324.332
377	556313.661	2369519.177	341.822	420	556280.319	2369510.940	322.883

BANCO DE MATERIAL MARGEN DERECHA 01 JUNIO 2005							
Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.	Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.
421	556282.580	2369513.520	324.471	464	556304.627	2369477.683	320.753
422	556287.457	2369508.797	324.239	465	556301.820	2369484.681	321.022
423	556292.724	2369504.713	324.520	466	556297.032	2369492.586	321.151
424	556298.225	2369499.677	325.319	467	556293.228	2369499.128	321.517
425	556302.647	2369493.275	325.170	468	556287.688	2369504.309	321.988
426	556307.647	2369486.063	325.409	469	556282.450	2369508.075	322.601
427	556306.672	2369481.227	323.028	470	556276.414	2369511.732	322.579
428	556308.487	2369471.295	322.395	471	556272.681	2369518.863	322.782
429	556308.469	2369463.885	320.560	472	556271.255	2369524.175	322.973
430	556312.574	2369456.707	320.611	473	556265.978	2369520.631	322.641
431	556316.822	2369452.141	322.069	474	556259.816	2369515.759	321.692
432	556320.599	2369442.332	321.512	475	556253.978	2369511.337	320.685
433	556326.454	2369431.999	321.250	476	556261.819	2369511.061	321.844
434	556332.157	2369422.955	321.988	477	556265.838	2369518.797	322.584
435	556335.661	2369416.387	321.609	478	556267.237	2369512.457	322.200
436	556342.326	2369409.112	323.156	479	556267.036	2369507.188	321.343
437	556348.017	2369403.705	324.146	480	556268.717	2369507.270	322.353
438	556354.619	2369404.623	327.899	481	556272.003	2369505.321	322.097
439	556361.352	2369403.705	327.070	482	556273.959	2369502.161	321.840
440	556367.280	2369408.494	327.861	483	556277.631	2369496.922	321.463
441	556374.143	2369415.987	329.123	484	556278.552	2369490.779	321.142
442	556378.297	2369422.434	330.331	485	556276.587	2369486.221	320.968
443	556384.938	2369426.546	331.179	486	556272.879	2369483.071	320.797
444	556391.544	2369431.209	332.545	487	556267.889	2369482.170	320.831
445	556395.076	2369435.716	334.066	488	556264.692	2369481.999	320.848
446	556263.684	2369470.671	320.420	489	556262.352	2369479.451	320.658
447	556265.895	2369468.323	320.344	490	556262.800	2369475.158	320.399
448	556271.463	2369472.108	320.457	491	556263.492	2369471.226	320.356
449	556275.741	2369474.310	320.642	492	556269.347	2369475.854	320.507
450	556279.712	2369477.702	320.738	493	556275.980	2369480.370	320.756
451	556283.365	2369479.974	320.780	494	556282.368	2369485.052	320.917
452	556287.553	2369479.606	320.713	495	556286.095	2369487.336	320.972
453	556292.610	2369476.348	320.552	496	556303.530	2369463.903	320.060
454	556297.433	2369470.218	320.259	497	556301.222	2369471.901	320.334
455	556299.348	2369465.687	320.037	498	556297.158	2369479.956	320.668
456	556299.890	2369461.104	319.995	499	556291.627	2369488.958	320.954
457	556305.398	2369457.293	319.903	500	556286.733	2369496.290	321.364
458	556309.645	2369453.968	319.853	501	556281.884	2369501.624	321.832
459	556312.098	2369449.550	319.759	502	556276.411	2369506.921	322.352
460	556313.798	2369451.539	320.156	503	556270.945	2369513.753	322.555
461	556311.042	2369458.517	319.972	504	556265.567	2369464.402	318.298
462	556307.772	2369464.919	320.165	505	556266.723	2369458.933	317.237
463	556305.307	2369469.536	320.285	506	556268.147	2369454.434	316.862

BANCO DE MATERIAL MARGEN DERECHA				01 JUNIO 2005			
Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.	Pto.	Coord. X	Coord. Y	Elev.
507	556269.095	2369450.885	316.131	524	556254.888	2369469.781	313.120
508	556309.003	2369446.500	316.021	525	556253.149	2369474.798	313.119
509	556304.862	2369451.100	315.771	526	556251.407	2369479.194	313.218
510	556298.878	2369454.361	315.661	527	556254.257	2369484.314	313.655
511	556294.469	2369461.022	315.629	528	556257.535	2369488.521	314.454
512	556292.659	2369466.604	315.879	529	556262.502	2369489.671	315.201
513	556289.487	2369471.318	315.921	530	556267.213	2369489.007	316.125
514	556284.892	2369473.606	315.913	531	556271.462	2369488.486	316.270
515	556279.550	2369471.070	315.775	532	556272.090	2369495.346	316.820
516	556275.423	2369467.536	315.725	533	556266.241	2369499.594	316.013
517	556272.619	2369464.136	315.487	534	556261.569	2369502.761	315.876
518	556269.549	2369461.295	315.296	535	556256.647	2369504.385	315.492
519	556270.724	2369455.002	315.268	536	556250.171	2369502.451	314.812
520	556270.653	2369449.056	315.131	537	556246.427	2369499.653	314.574
521	556265.643	2369451.749	314.385	538	556243.486	2369501.852	316.615
522	556262.525	2369456.712	313.695	539	556246.476	2369505.552	317.571
523	556258.762	2369462.589	313.291	540	556249.332	2369507.918	318.123

Tabla 3.12. Coordenadas de los bancos de material: basalto, arena y grava.



Fotografías 20, 21, 22 y 23. Bancos de basalto, grava y arena.

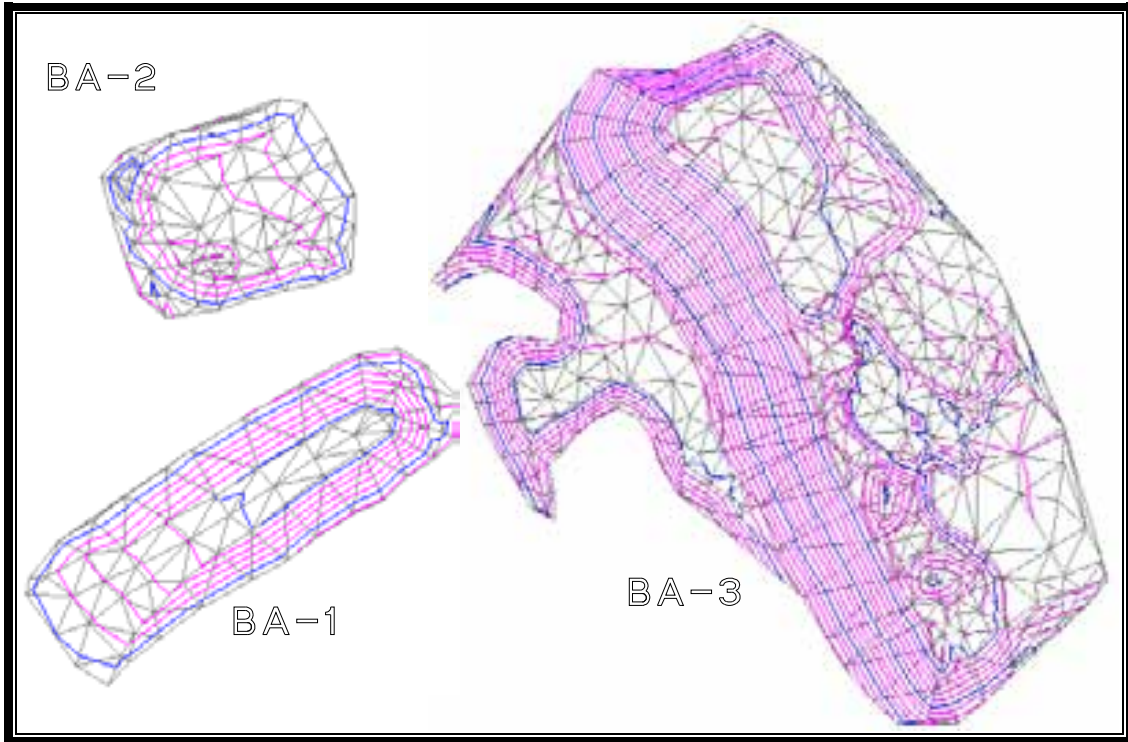


Figura 3.18. Triangulación y curvas de nivel de los bancos de material.

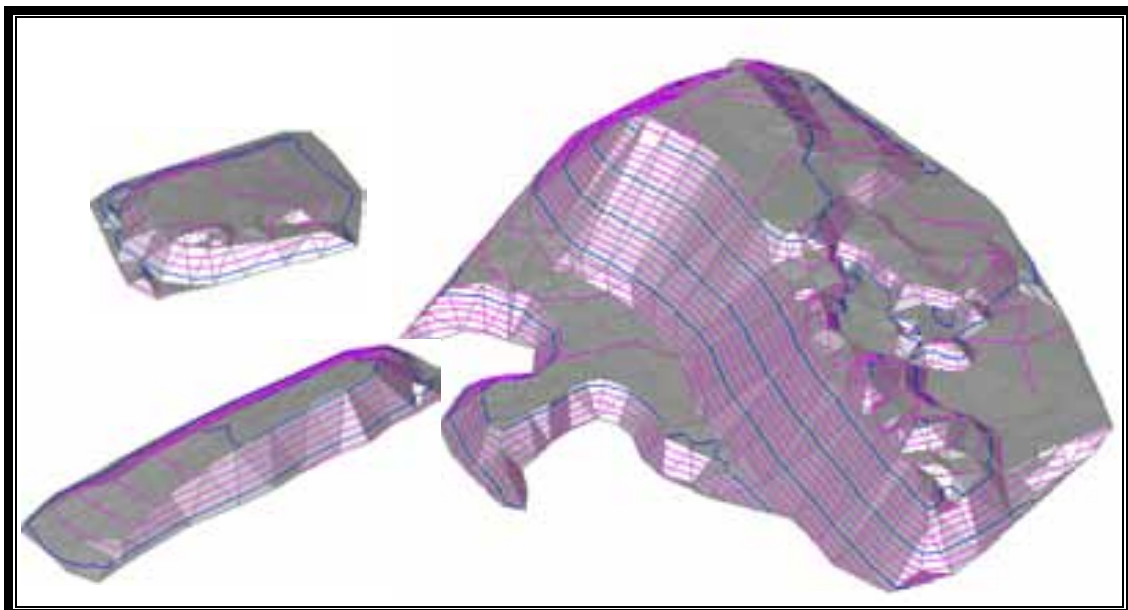
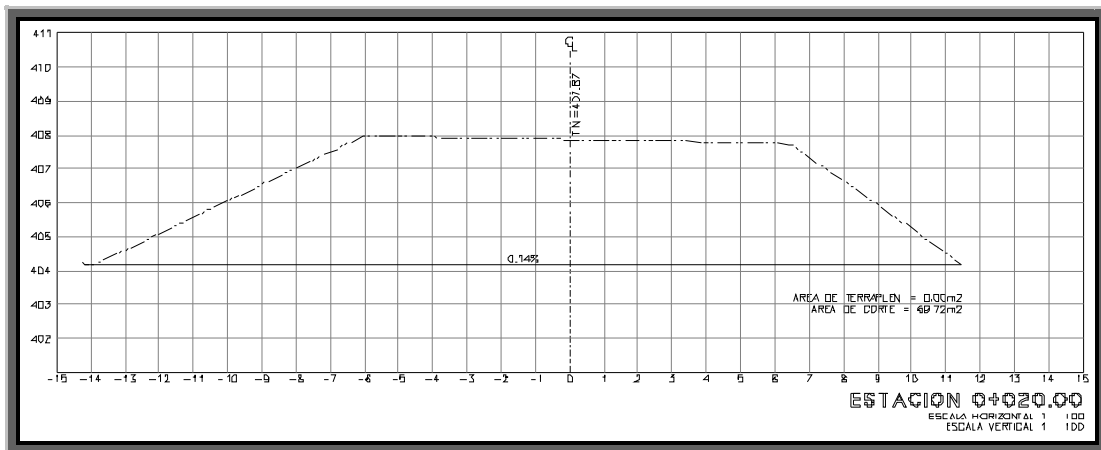
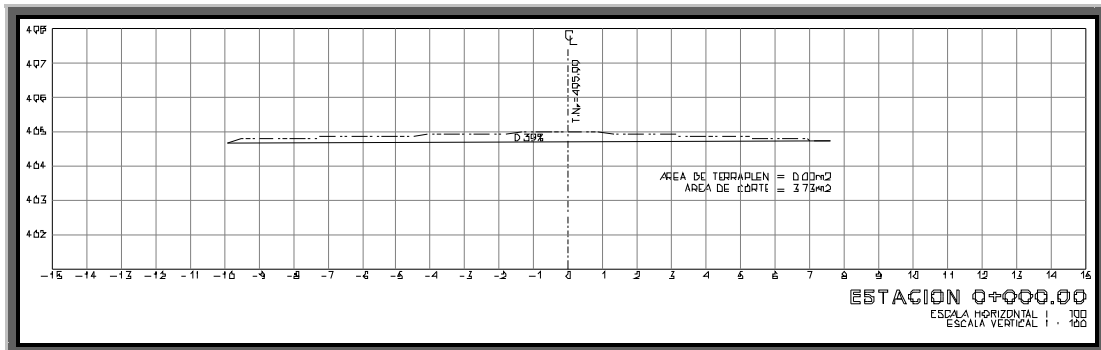
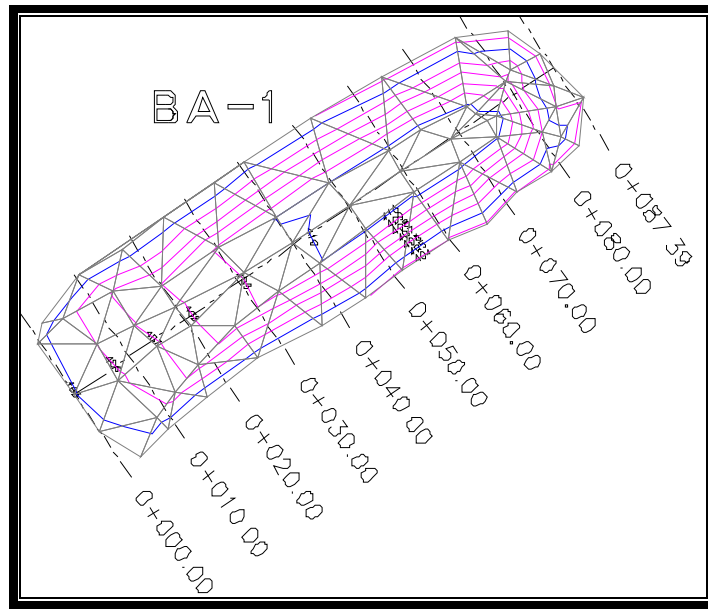
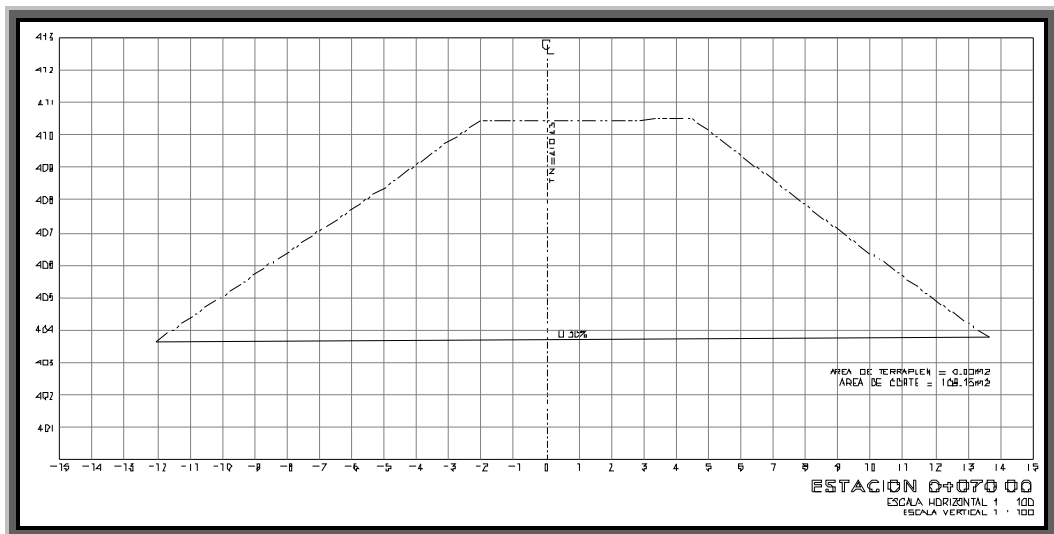
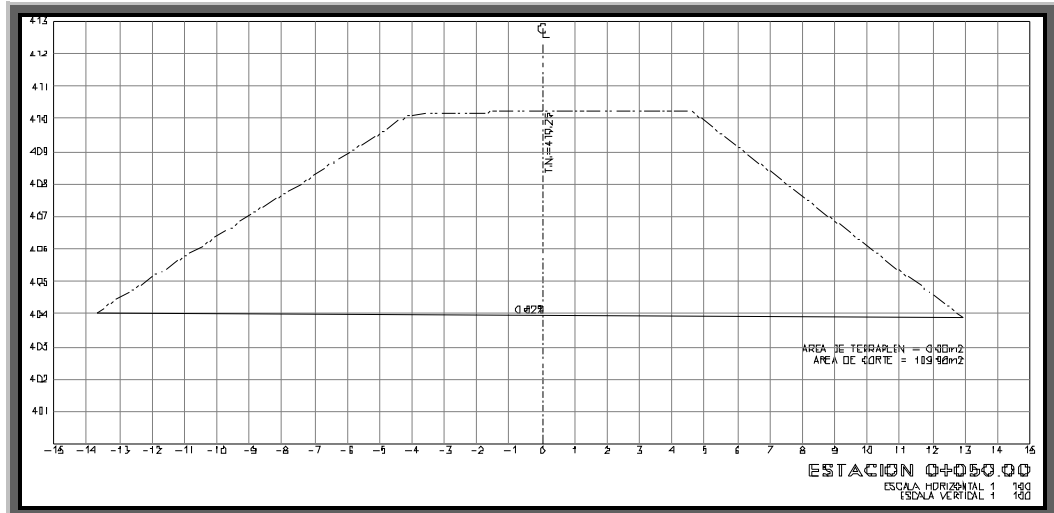
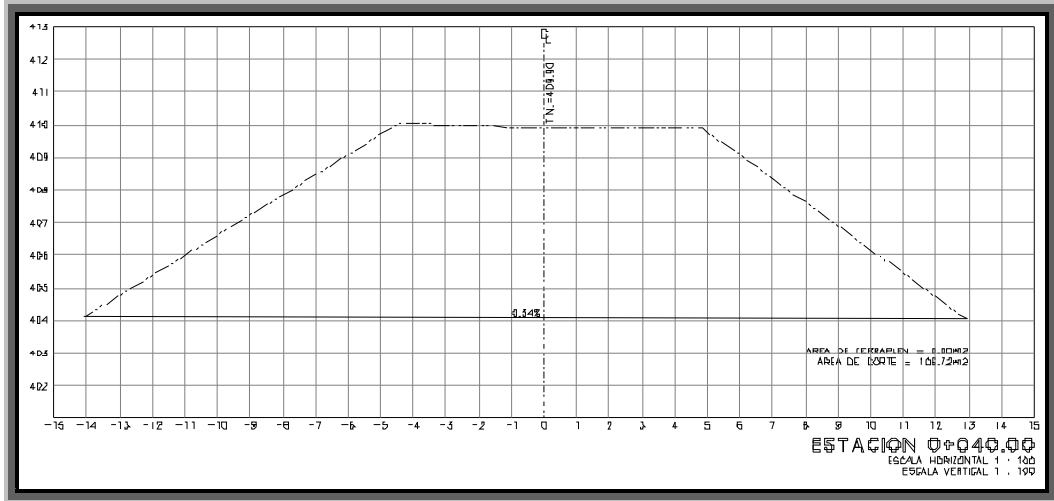


Figura 3.19. Configuración de bancos de material ubicadas en la margen derecha de la cortina.
(Proyección isométrica)

A continuación se presentan el perfil y las secciones por estación o cadenamiento para cada banco de material, con las secciones obtenidas por estación se obtuvieron también el volumen de cada uno de los bancos de material.





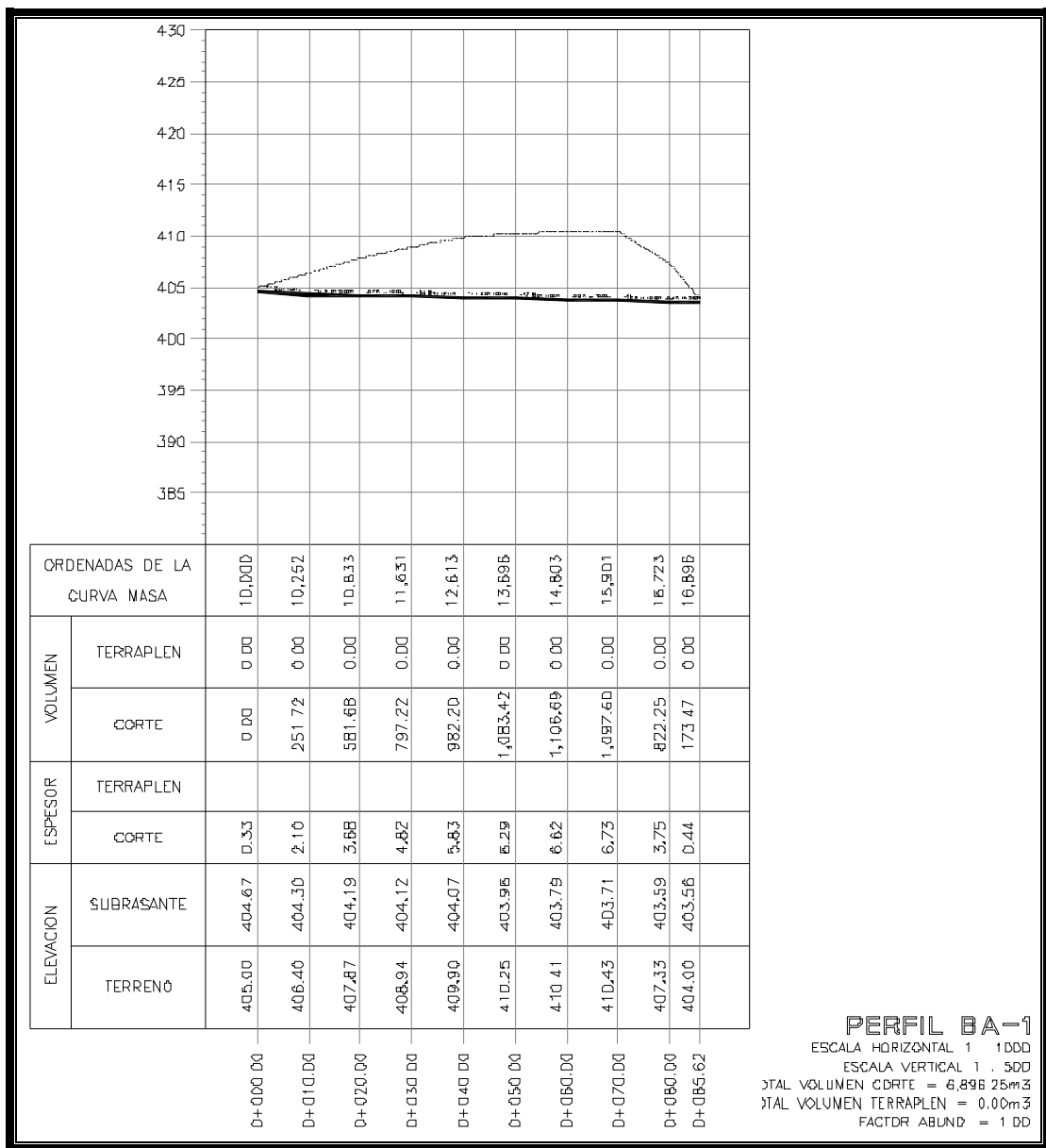
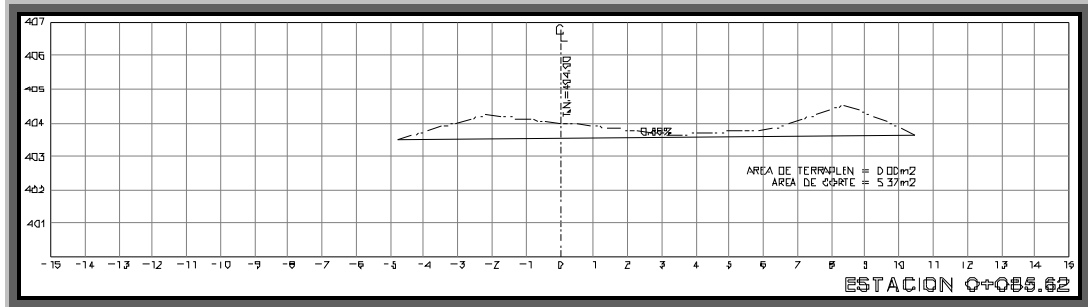
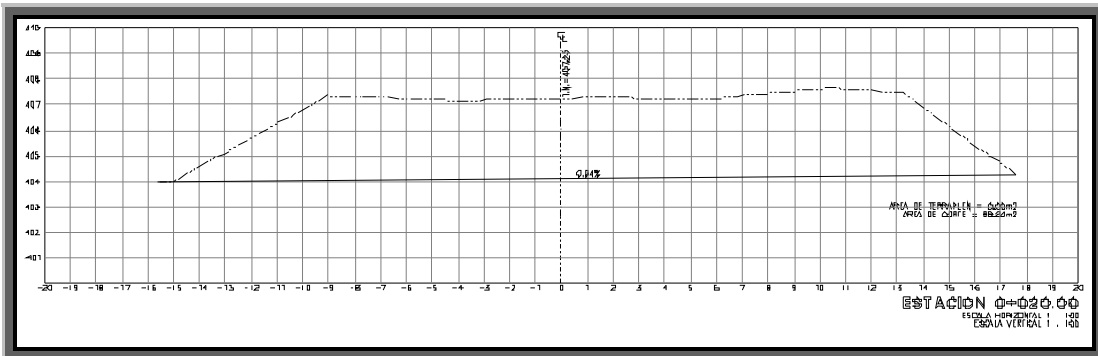
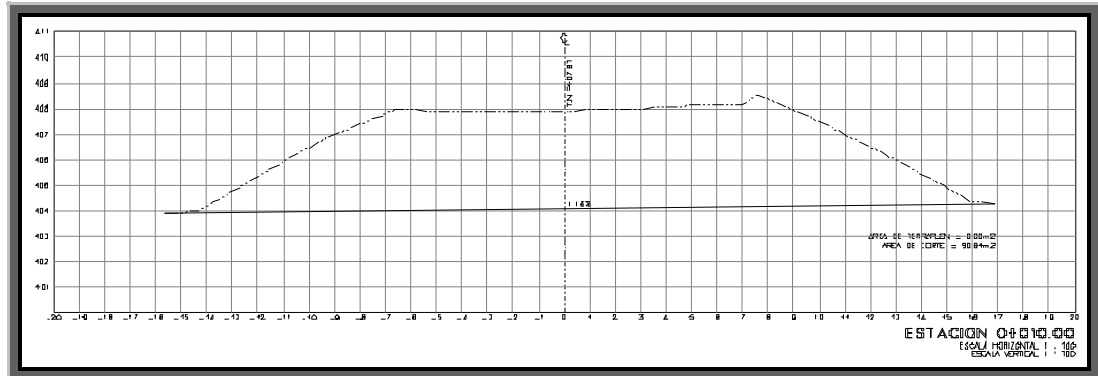
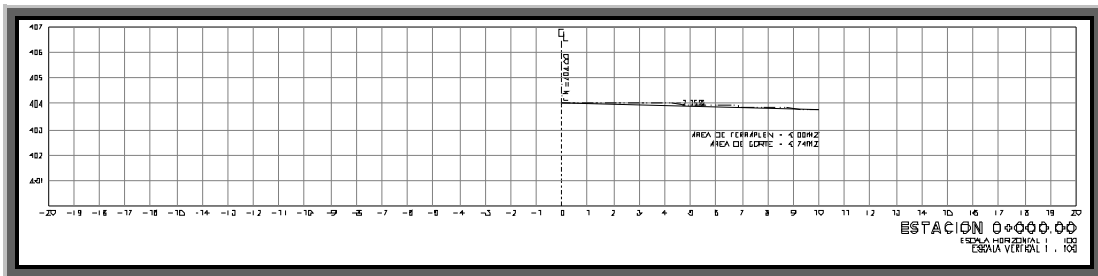
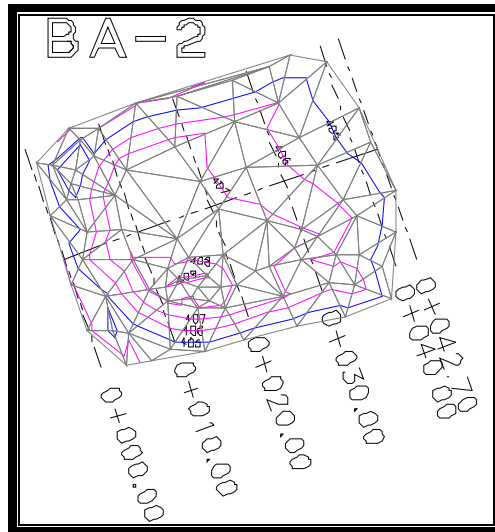
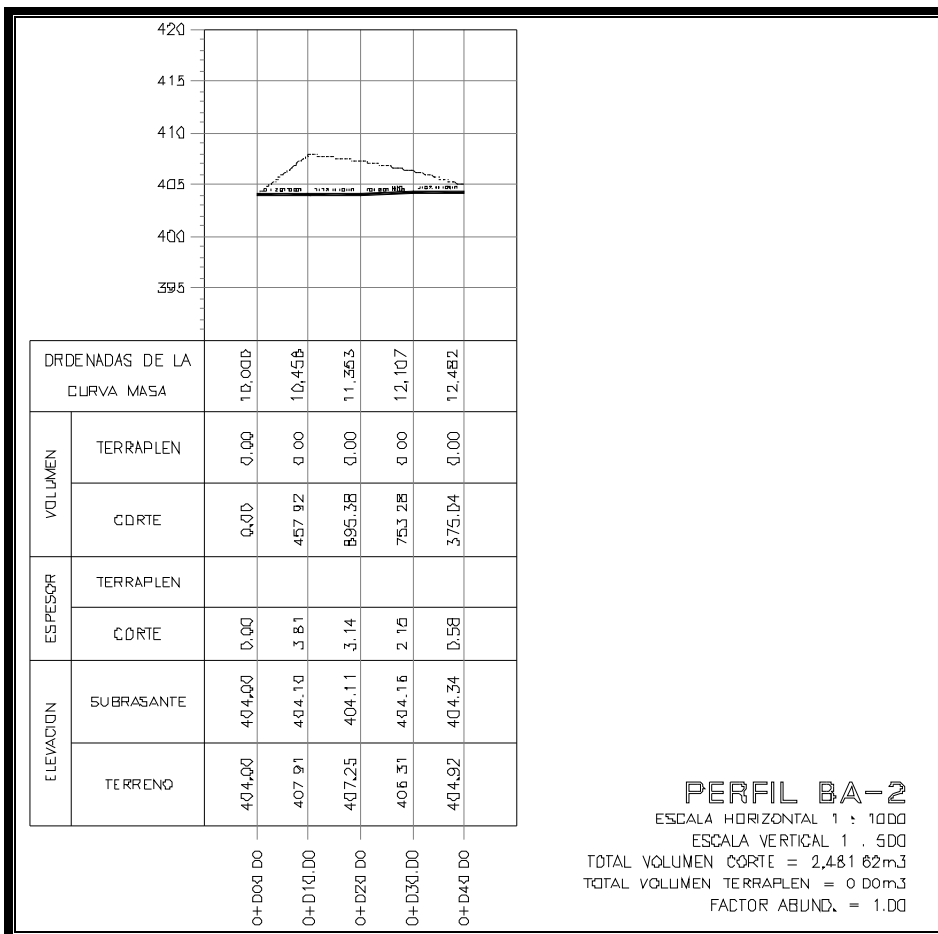
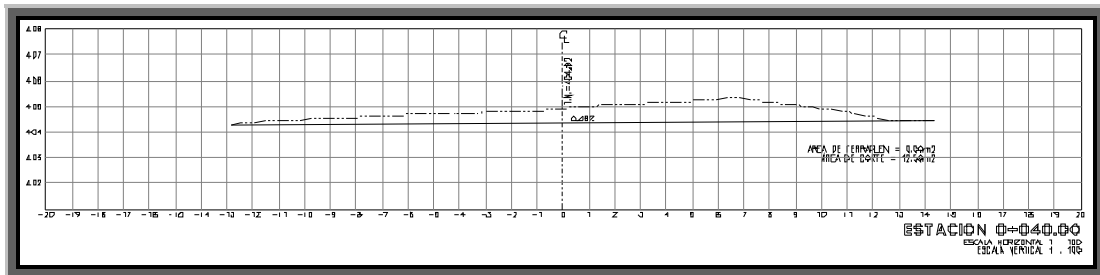
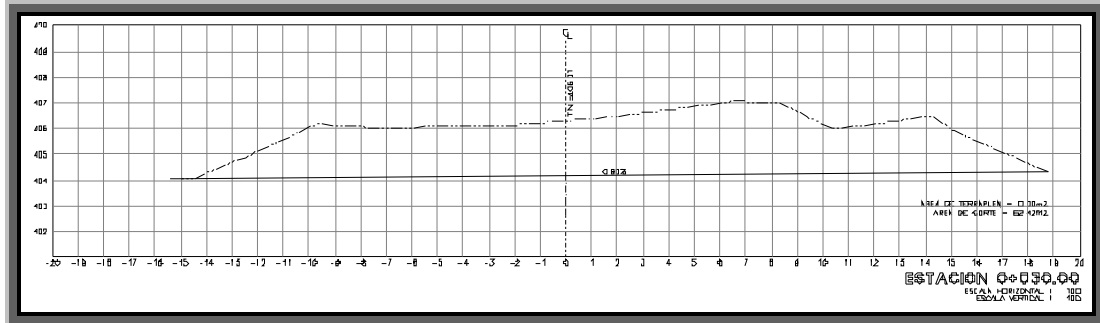
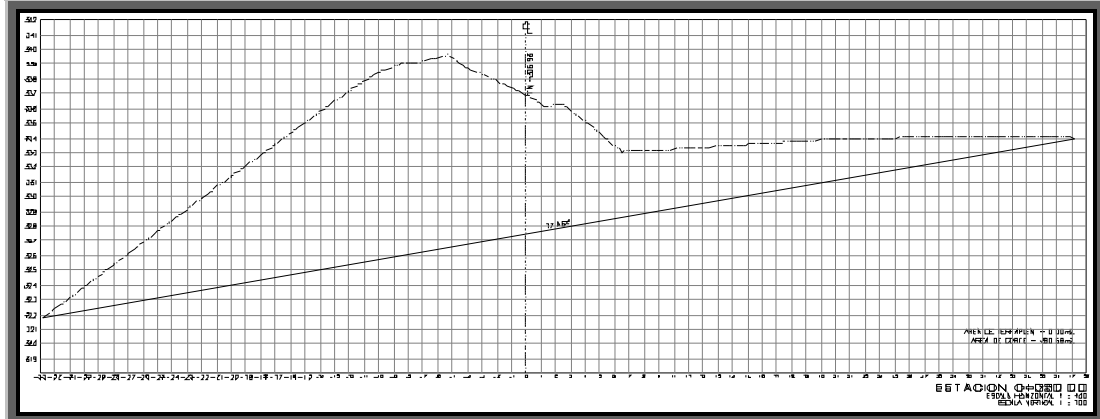
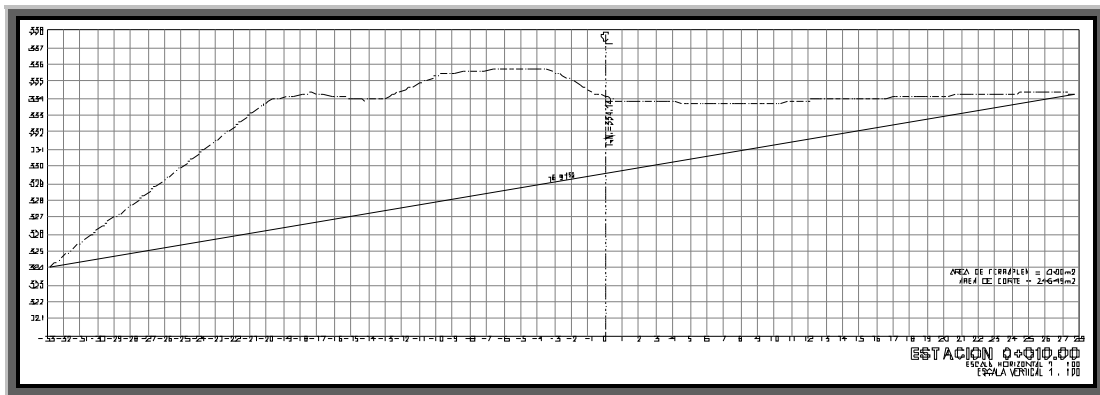
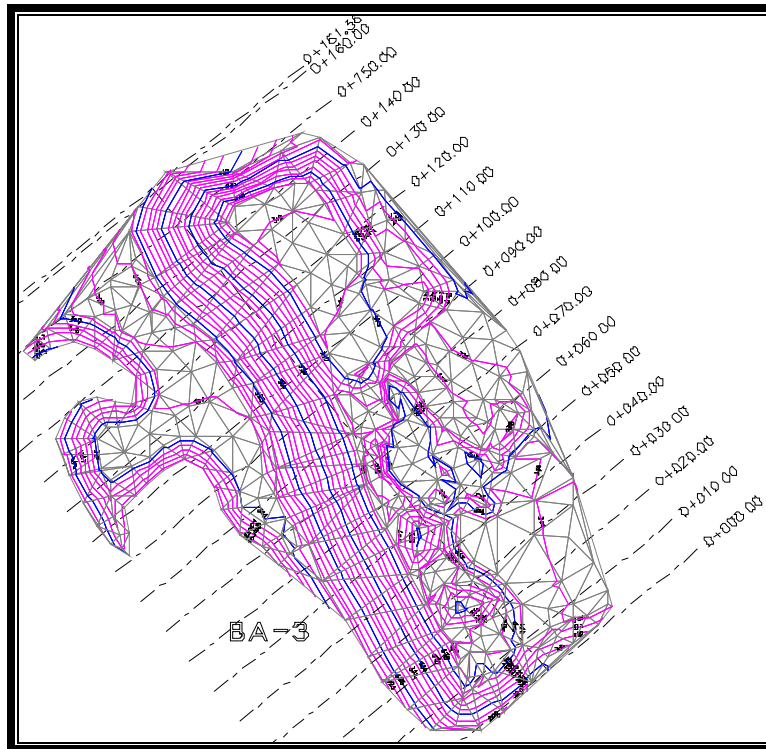
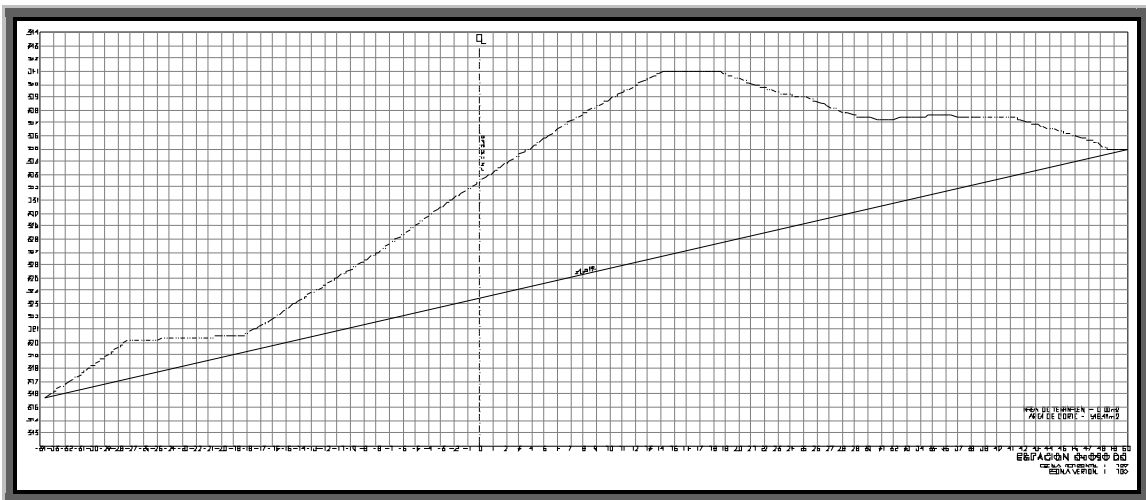
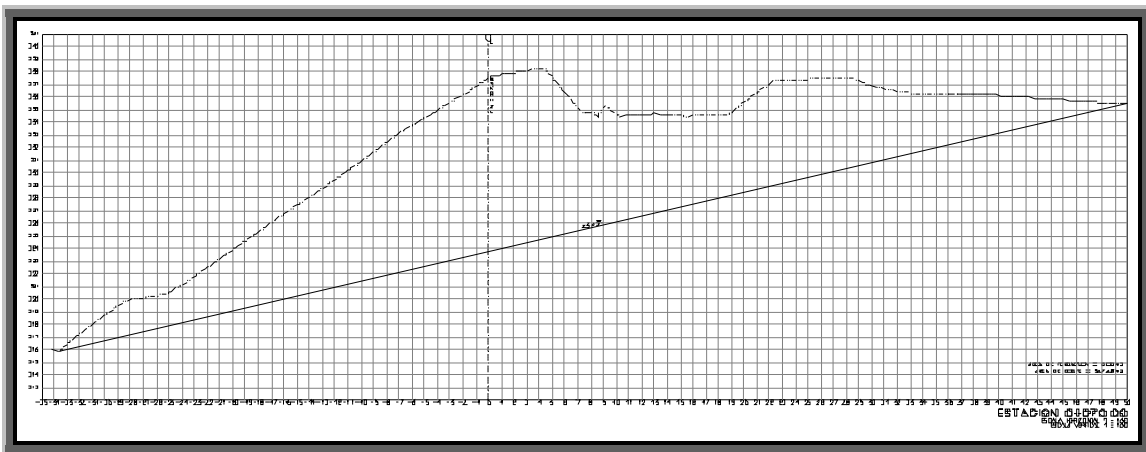
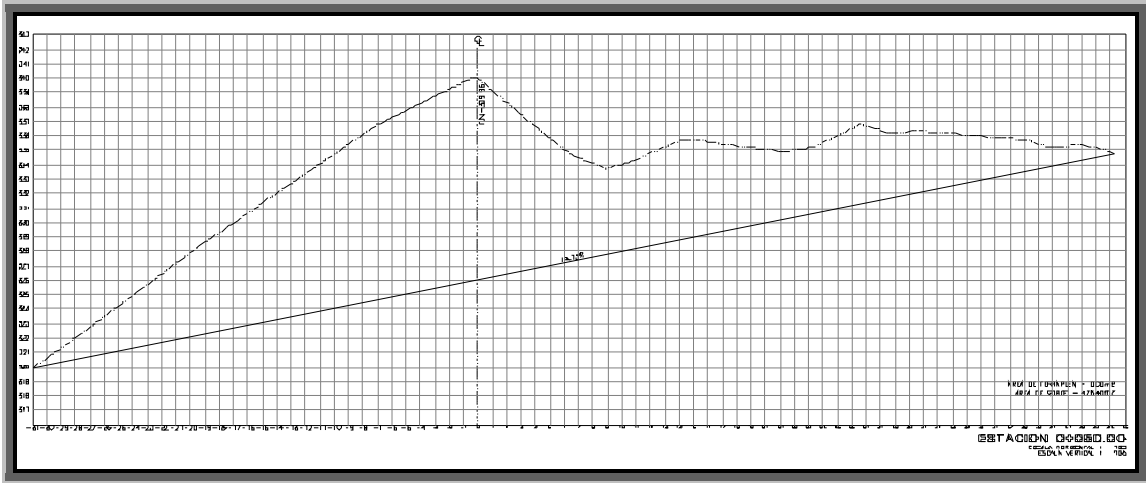


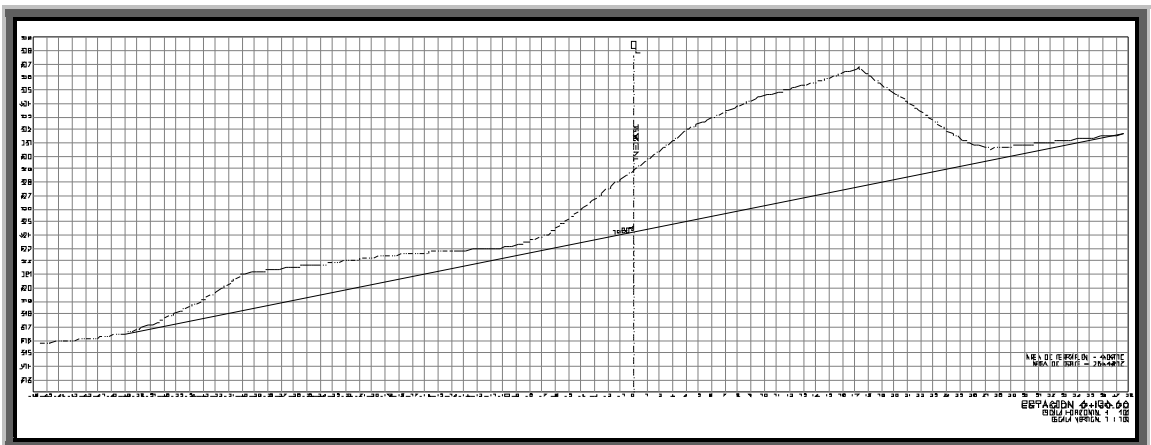
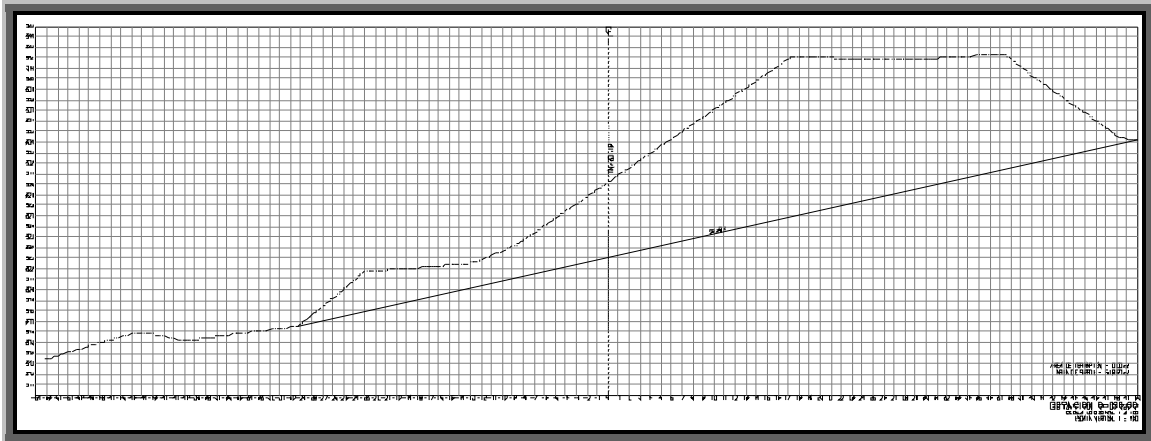
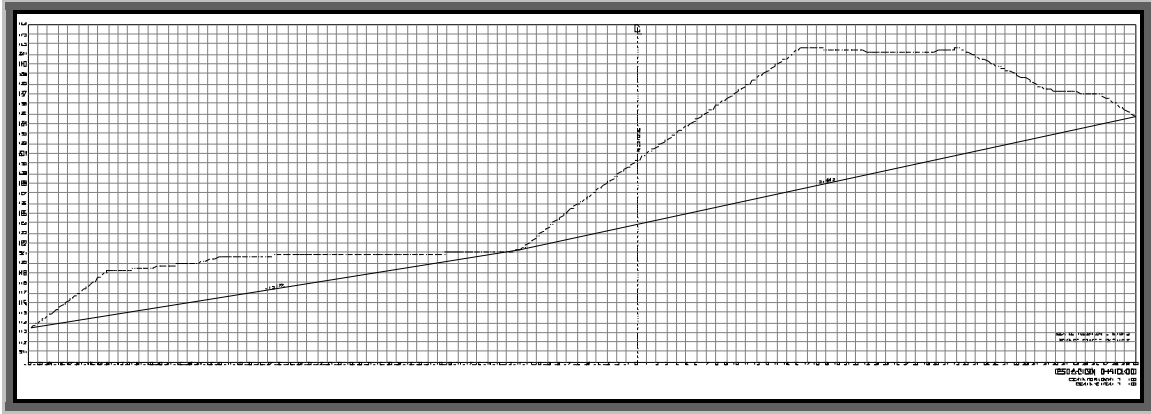
Figura 3.20. Curva masa del banco de material BA-1.

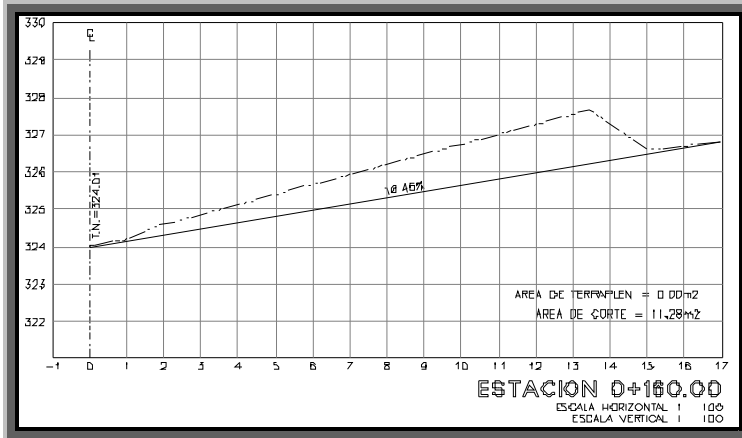












PERFIL BA-3
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000
 ESCALA VERTICAL 1 : 500
 TOTAL VOLUMEN CORTE = 72,609.81m³
 TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = 0.00m³
 FACTOR ABUND. = 1.00

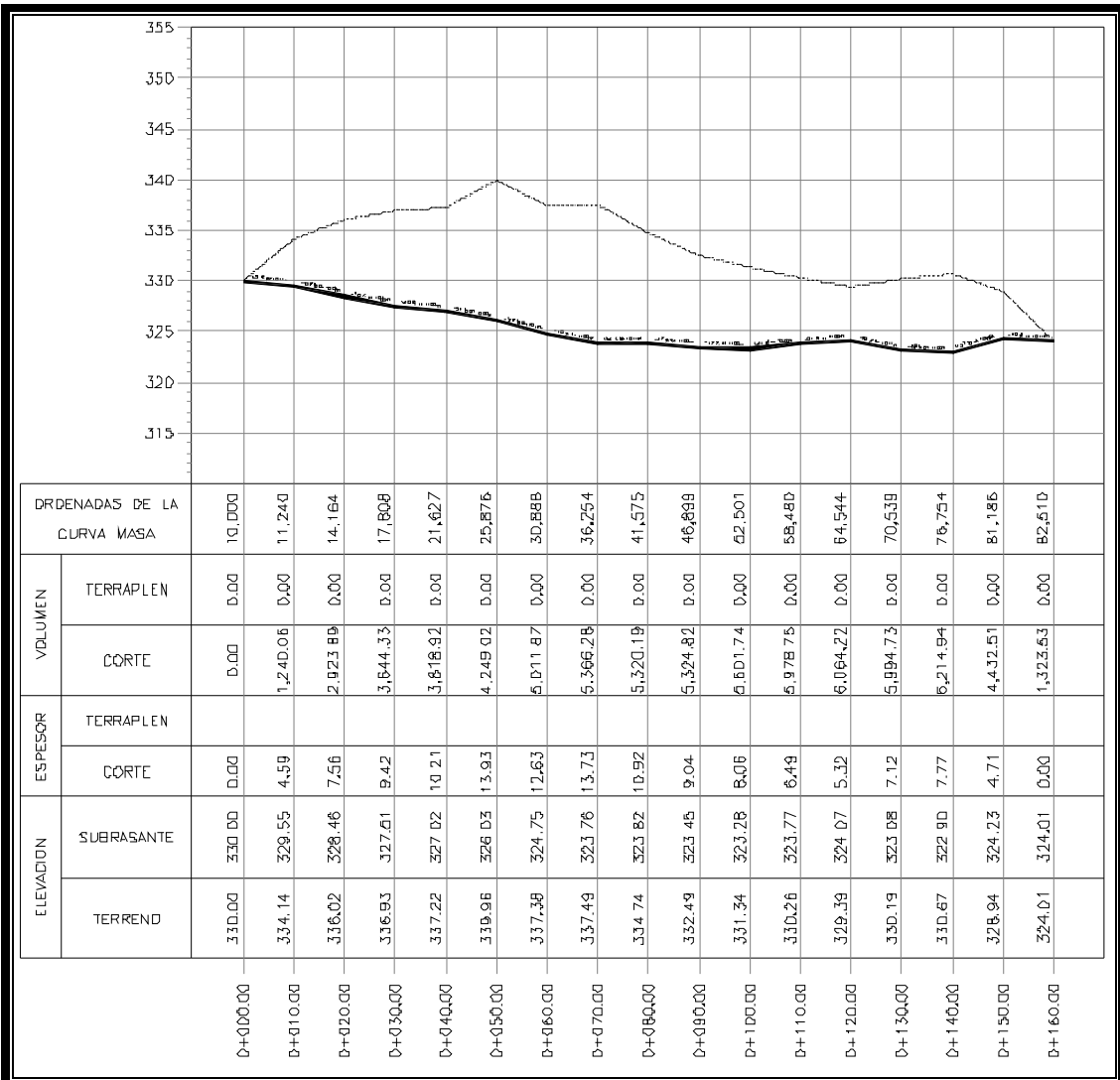


Figura 3.22. Curva masa del banco de material BA-3.

Capítulo

4

OBRAS DE
GENERACIÓN

CAPÍTULO IV

OBRAS DE GENERACIÓN

4.1 Descripción de la obra de generación

Se encuentran ubicadas en la margen derecha del río Santiago y las estructuras principales que conforman estas obras son: canal de llamada, obra de toma (bocatomas de concreto hidráulico), tuberías a presión, casa de máquinas, galería de oscilación, túneles de aspiración y túnel de desfogue, lumbreras de buses y de ventilación, plataforma de transformadores y subestación eléctrica.



Figura 4.1. Planta general de las Obras de Generación.

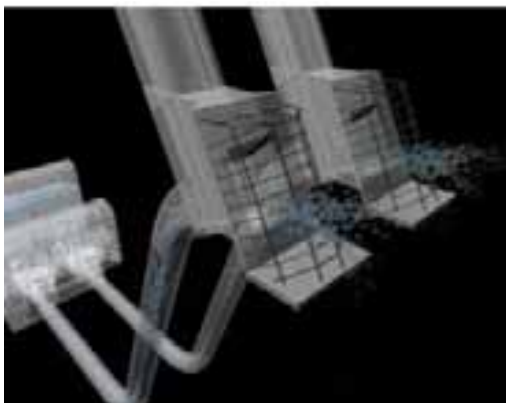


Figura 4.2. Entrada del agua por las bocatomas.

El flujo de agua proveniente del embalse o vaso de almacenamiento de la cortina de concreto, pasa por el canal de llamada a la elevación 322.402 (figura 4.1), donde se ubican las bocatomas de las conducciones o tuberías a presión 1 y 2. Las bocatomas (figura 4.2) controlan la entrada del líquido por medio de dos compuertas deslizantes operadas por servomotores y es la entrada a las tuberías a presión.

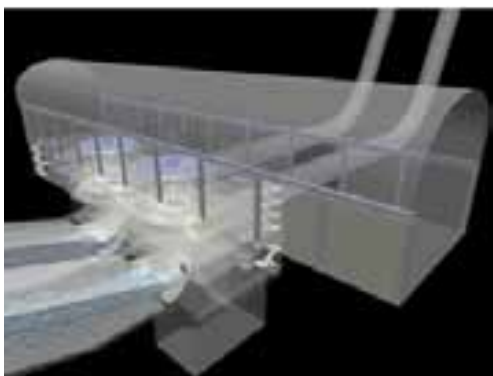


Figura 4.3. Casa de máquinas.



Figura 4.4. Turbina Francis.

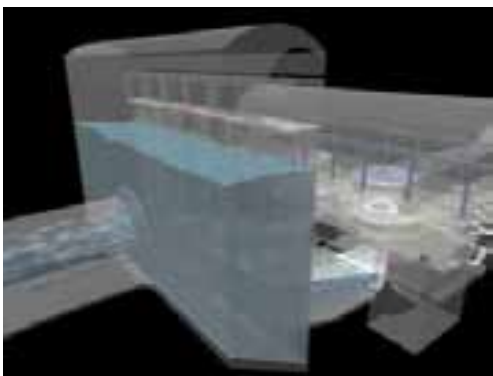


Figura 4.5. Galería de oscilación.



Figura 4.6. Túnel de desfogue.

El flujo de agua entra a las tuberías a presión proveniente de las bocatomas y llegan a una caverna subterránea llamada casa de máquinas. En la figura 4.3 se muestra la casa de máquinas donde se ubican las turbinas tipo Francis, también se encuentran los generadores para producir electricidad que llega hasta la subestación por medio de las lumbreras de buses. En la fig. 4.4, se observa la turbina Francis en donde el flujo de agua que proviene de la conducción a presión entra a una carcasa espiral y mueve la turbina produciendo potencia en energía mecánica y por medio de los generadores se produce energía eléctrica, de ahí proviene el término de hidroeléctrica, siendo el agua la fuente de energía. Hay que recordar que la potencia está en función de la caída del agua tomando en cuenta la pérdida de energía y por diseño.

Una vez que el flujo de agua se haya aprovechado para mover la turbina, dicho líquido es atraído debajo de la turbina por medio de dos tuberías de aspiración (fig. 4.4) y pasan a la galería de oscilación por medio de compuertas deslizantes que se abren verticalmente con una grúa viajera. La galería de oscilación es de tipo subterránea igual que en casa de máquinas con carga hidráulica máxima de 42.70 m.

En el muro de aguas abajo de la galería de oscilación a la elevación 212.50 se encuentra el portal de entrada del mismo túnel de desfogue. Cuando el volumen de agua en millones de metros cúbicos excede la capacidad límite de la galería de oscilación el agua sale por el túnel de desfogue de 310.33 m de longitud y esta a su vez lo descarga al Río Santiago aguas abajo.

4.1.1 Canal de Llamada

La función de dicho canal es encauzar el flujo del agua hacia la bocatoma de cada una de las unidades (tuberías a presión) y está a la elevación 322.40 msnm que es el canal de llamada situado en obra de toma. El canal de llamada sirve para captar agua del vaso de almacenamiento (embalse) proveniente de la cortina de concreto aguas arriba y conducir el flujo del agua a las bocatomas de las unidades U-1 y U-2 controlada por dos compuertas de acero, para el paso del agua hacia las tuberías a presión 1 y 2 (ver figura 4.7).

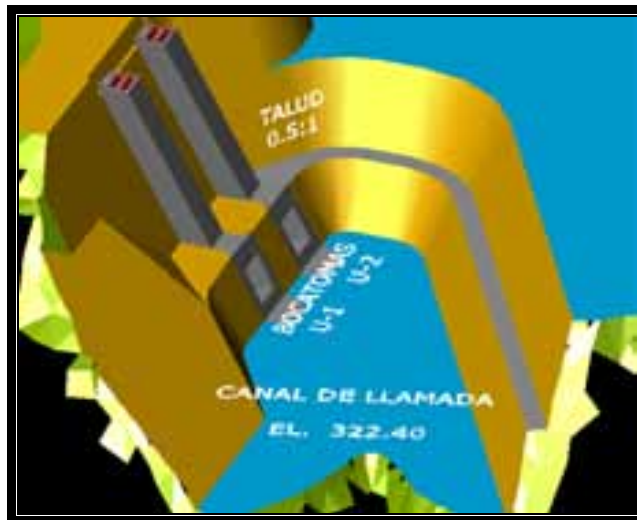


Figura 4.7. Canal de llamada a la elevación 322.40.



Fotografía 1. Vista panorámica del canal de llamada, en la foto opuesta vista aérea.

4.1.2 Obra de Toma

Se encuentra en el canal de llamada a la elevación 322.40 msnm y recibe el nombre de bocatomas por ser la entrada de las tuberías a presión en las dos unidades (U-1 y U-2). Es de tipo en rampa, como mecanismo de cierre consta de dos compuertas rodantes (rejillas) de 15.36 m de ancho por 18.89 m de alto por conducto operadas por servomotores.

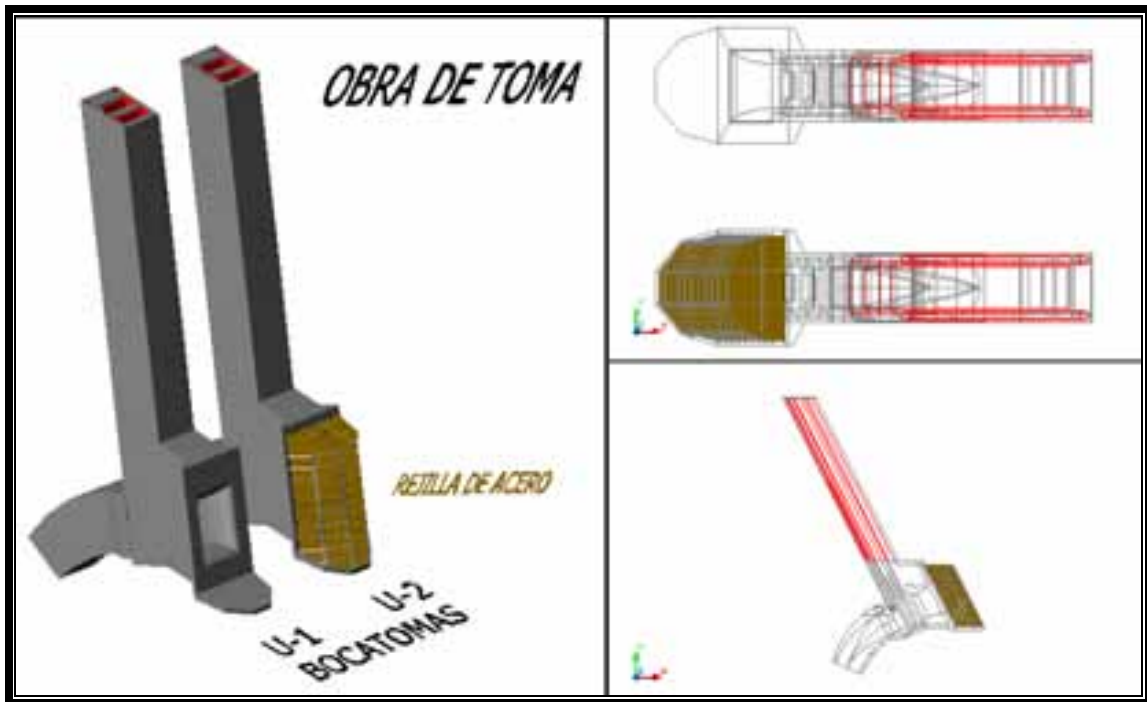


Figura 4.8. Obra de toma en proyección isométrica, planta y perfil.



Fotografía 2 y 3. Vista general de las bocatomas. En la Foto opuesta, entrada de la bocatoma U-2.

4.1.3 Tuberías a Presión

Son dos ductos que conducen el flujo del agua proveniente del canal de llamada hasta la carcasa (turbina) de cada unidad ubicados en casa de máquinas, de concreto reforzado en su primera parte y posteriormente revestido con blindaje de acero. Paralelos entre sí con separación de 28.70 m de eje a eje. Dichos ejes tienen un rumbo de S55°59'57.37''W de aguas arriba hacia aguas abajo normal al eje de referencia de obra de toma.

Observando el perfil por el centro de línea o eje de la conducción a presión cuya longitud total de blindaje de acero es 235.40 m de aguas arriba a aguas abajo; esta se forma de la siguiente manera: los primeros 15.950 m es de sección rectangular con un talud de 0.5:1 con respecto al cadenamamiento Km 0 + 000.00 en la elevación 331.845 del eje de la tubería a presión, posteriormente hay una curva convexa vertical de transición (de rectangular a circular) de $\Delta = 38^{\circ}26'06''$, $ST = 11.08m$, $Lc = 21.33m$, $R = 31.80m$ para luego continuar con una recta (rama inclinada) de 86.381 m y 65° de inclinación con respecto la horizontal, en seguida viene una segunda curva cóncava vertical cuyos datos de curva son los siguientes: $\Delta = 65^{\circ}00'$, $ST = 20.26m$, $Lc = 36.078m$, $R = 31.80m$, los siguientes 60.851 m es una recta (rama horizontal) después hay una transición circular a circular $\phi = 7.95m$ a $\phi = 5.50m$ de 30.76 m de longitud y así llegar con el eje de conducción a la elevación 213.06 msnm hasta ligar con la carcasa que rodea al distribuidor en casa de máquinas en la misma elevación.

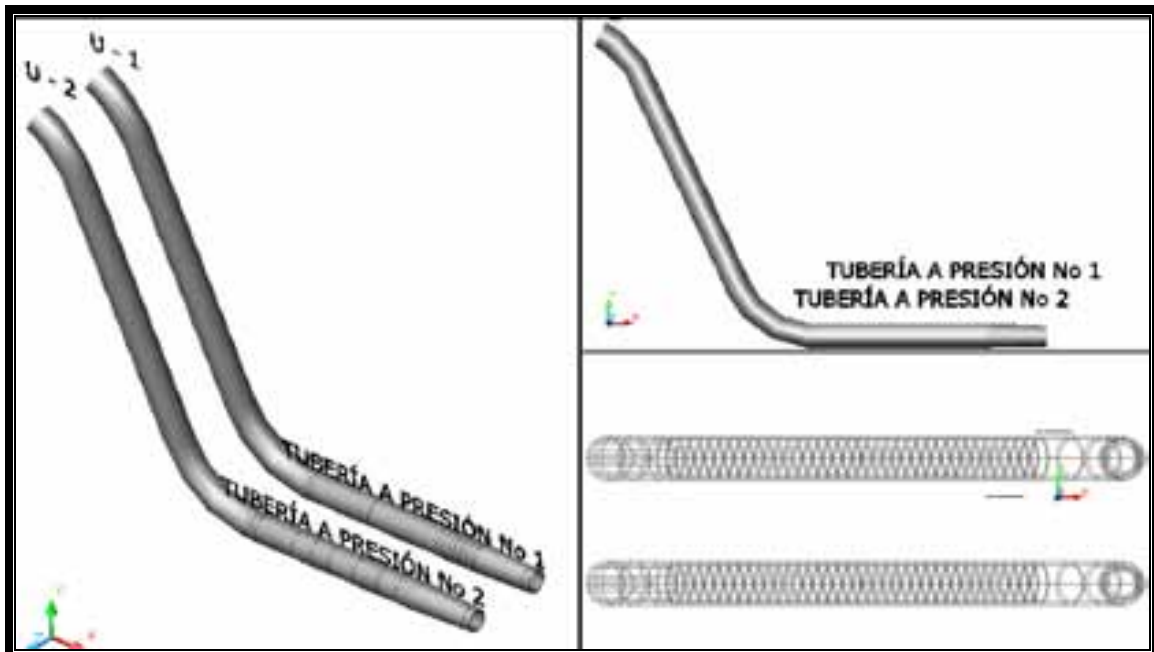


Figura 4.9. Tuberías a presión 1 y 2, en proyección isométrica, planta y perfil.



Fotografía 4. Tubería a presión no. 1, codo inferior y rama horizontal.



Fotografía 5. Rama inclinada en la tubería a presión no. 1

4.1.4 Casa de Máquinas

Es de tipo subterráneo donde se alojan dos turbinas generadoras tipo Francis cada una con capacidad de 375 MW, con sección portal en forma de bóveda transversalmente de 22.20 m de ancho por 107.05 m de largo por 49.80 m de altura, el volumen total de excavación es de aproximadamente 80,500 metros cúbicos. En casa de máquinas de acuerdo a la ubicación de los equipos electromecánicos tenemos los siguientes pisos de forma descendente en la elevación en metros con respecto al nivel del mar; primeramente se encuentra el piso de excitadores a la elevación 224.60, el piso de generadores a la elevación 220.40, el piso de turbinas a la elevación 216.00, el piso de turbina auxiliar donde se encuentran las carcasas de las unidades U-1 y U-2, aguas abajo a la elevación 208.76 está la galería intermedia y aguas abajo a la elevación 205.50 está la galería de inspección.

A 1.70 m aguas abajo de la galería de inspección se encuentra la galería de drenaje que comunica al cárcamo de bombeo y se desplanta a la elevación 203.80 y está ubicado sobre el costado izquierdo del túnel auxiliar de acceso a casa de máquinas por el tímpano sur, el eje de casa de máquinas tiene un azimut de $325^{\circ}59'55.65''$, por lo tanto tiene un rumbo de $N55^{\circ}59'55.65''W$. El eje de unidades se encuentra paralelamente y a 2.70 m del eje de casa de máquinas, y del eje de casa de máquinas a 21.10 m hacia el muro aguas arriba se encuentran las lumbreras de ventilación de 2.50 m de diámetro y completamente verticales hasta comunicar con la plataforma de la subestación en la elevación 340 msnm.

El agua de la presa es conducida por una tubería hasta el rodete de la turbina hidráulica, la fuerza del agua hace girar los álabes o aspas de la turbina transformando la energía potencial del agua en energía cinética, que se transforma en energía mecánica. El rodete de la turbina tiene acoplado un generador eléctrico, que transforma la energía mecánica en eléctrica.

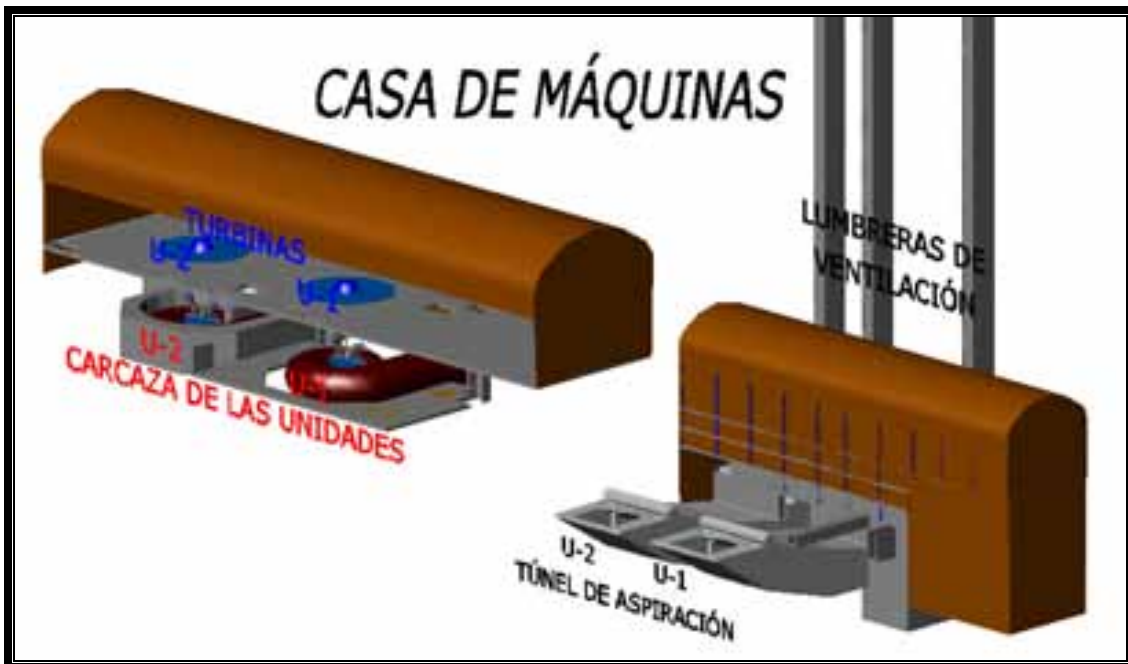


Figura 4.10. Vista exterior e interior, muros, bóveda, turbinas, etc., de la casa de máquinas.



Fotografías 6 y 7. Vista general de la casa de máquinas. En las fotos se observan la carcasa en forma de caracol de la turbina no. 2 y el antedistribuidor de la turbina no. 1.

La energía se conduce a través de lumbreras verticales hasta la superficie, por medio de buses (conductores de circuitos para distribuir datos o corrientes de alimentación) de fase aislada a los transformadores que elevan el voltaje de 17 a 400 kv. La subestación eléctrica será del tipo blindado, con dispositivos en atmósfera de hexafloruro de azufre (SF6) y se alojará en un edificio construido en una plataforma a cielo abierto; de manera similar se ubican los transformadores de potencia, casetas de ventilación, control, baterías y la subestación blindada de servicios auxiliares de la central con una tensión 13,8 kv.

4.1.5 Galería de Oscilación

Es de tipo subterráneo de sección transversal en forma de bóveda de 16 m por 78.5 m en planta y de 65 m de altura. Sobre el muro aguas arriba se localiza la zona de estructuras donde se alojan las ranuras para las compuertas en cada uno de los vanos.

Utiliza como mecanismos de cierre cuatro compuertas deslizantes de 7.15 m de ancho por 8.15 m de alto controlada con una grúa viajera que se desplaza horizontalmente y paralelo al eje de la galería de oscilación. Se encuentra ubicada paralelamente al centro de línea de casa de máquinas a 52.55 m aguas abajo de eje a eje del mismo.

En la galería de oscilación se amortigua la descarga de las dos unidades generadoras que éstas aportan mediante los túneles de aspiración, éstos se encuentran paralelos entre sí con una deflexión de 20° con respecto al centro de línea de cada unidad con rumbo de S55°59'57.37''W.



Figura 4.11. Vista general de la galería de oscilación y de los túneles de aspiración.



Fotografía 8. Galería de oscilación, arriba se observa el portal de entrada del túnel de desfogue.

4.1.6 Túnel de Desfogue

Inicia en el paño del muro aguas abajo de la galería de oscilación manteniendo el mismo rumbo y centro del eje de los túneles de aspiración, tiene una sección portal transversal de 14×14 m y una longitud total de 310.33 m. Tiene una pendiente $S=0.00$ que inicia en el piso de la galería de oscilación de lado del muro aguas abajo a la elevación 212.50 msnm y termina en el cadenamamiento $0+000.00$ a la misma elevación.

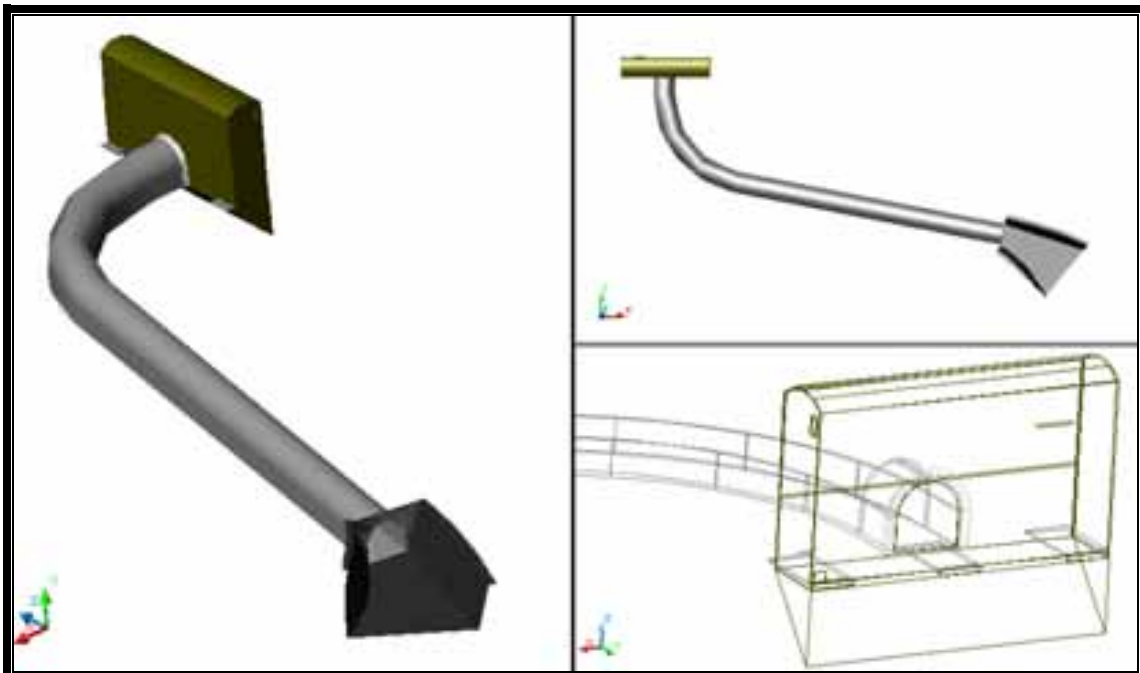


Figura 4.12. Vista isométrica, en planta y en perfil del túnel de desfogue.

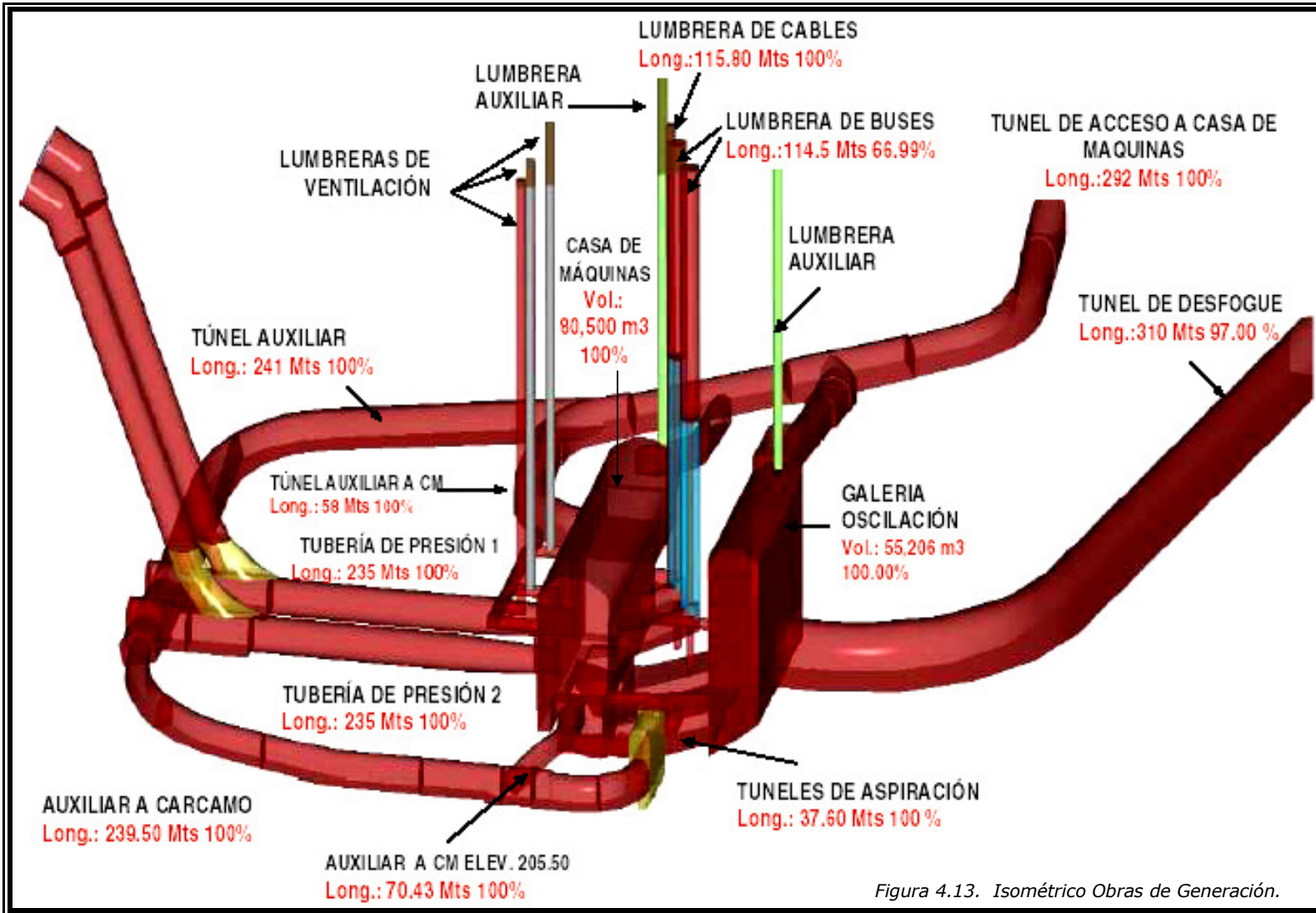


Figura 4.13. Isométrico Obras de Generación.

4.2 Trabajos topográficos realizados en la obra de toma

4.2.1 Excavación en canal de llamada y bocatomas

La excavación de las bermas de la obra de toma se inició por la parte más alta a la elevación 360 para ello fue necesario sacar secciones topográficas del terreno natural cubriendo toda el área a excavar, dichas secciones se planearon de tal forma que se facilitaran los trabajos de seccionamiento y a la vez las operaciones de cálculo de volúmenes excavados. Los seccionamientos se realizaban periódicamente sobre todo para obtener el soporte de las estimaciones, éstos trabajos consistían en lo siguiente:

Con la Estación Total centrado en una mojonera ubicada en la margen izquierda ya que desde éste punto se dominaba visualmente toda la zona a excavar, con dicho aparato se tomaban las lecturas de ángulos horizontales y verticales así como las coordenadas de los puntos a seccionar durante la configuración del terreno a excavar. Con otra Estación Total pero ahora ubicada y centrada en una mojonera en la margen derecha, se utilizó simultáneamente para alinear al primero en cada una de las secciones ya que éstas en su mayoría eran radiales por la configuración de las bermas y taludes de 0.5:1, ubicadas en el canal de llamada de la obra de toma.

En cada una de las bermas del canal de llamada, se colocaron puntos de referencias para controlar la línea de precorte del siguiente talud conforme se fue avanzando con la excavación, además para obtener una correcta definición de las caras en los cortes se verificaba continuamente la alineación de la flecha de barrenación para conservar el talud propuesto en el proyecto. Una vez que se llegó con la excavación a la elevación 342.50 se hizo el trazo de la línea a precortar para configurar los taludes de 0.5:1 del canal de llamada, hasta llegar a la elevación 322.402 del piso del mismo canal.



Fotografía 9. Excavación de las bermas y del canal de llamada de la obra de toma.



Fotografía 10. Excavación de las bocatomas de las unidades 1 y 2.

4.2.2 Colocación de niveles para el armado de refuerzo de acero y cimbra en las dos unidades de bocatomas

Las mojoneras que se emplearon para el levantamiento y control topográfico de la obra civil en la obra de toma para las dos unidades del bocatoma, están definidas por las siguientes coordenadas UTM:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{OT-1} \left\{ \begin{array}{l} X = 5568957.398 \\ Y = 2369676.6302 \\ Z = 367.333 \end{array} \right. &
 \text{U-1} \left\{ \begin{array}{l} X = 556859.7630 \\ Y = 2369671.3970 \\ Z = 342.496 \end{array} \right. &
 \text{U-2} \left\{ \begin{array}{l} X = 556829.3036 \\ Y = 2369685.4728 \\ Z = 342.517 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Para facilitar las medidas y los cálculos se usaron coordenadas locales para el armado en acero y paños de concreto de los muros del bocatoma y para la colocación de ménsulas de acero, para las unidades U-1 y U-2 con las siguientes coordenadas:

Mojoneras en la unidad 1	X	Y	Z
Plancha de concreto	2.044	-22.646	322.579
Placa de acero	31.324	-18.753	322.578
Mojoneras en la unidad 2	X	Y	Z
Plancha de concreto	2.628	-18.753	322.578
Placa de acero	-26.657	-22.646	322.579

Antes de marcar niveles para el armado de refuerzo de acero de los muros de bocatoma se marcaron en el talud puntos para barrenar y posteriormente se realizan los trabajos de colocación de anclas de transición y se inyecta con mortero. Las anclas son varillas de acero corrugada de una pulgada en forma de bastón y se barrenan 6 metros de profundidad en la roca del talud, luego se introduce la varilla y alrededor se inyecta a presión de concreto, dichas anclas sirven de soporte del refuerzo de acero para los muros sobre roca en las dos unidades de bocatomas.

Para el colado de los muros se realizaron por etapas, se marcaron niveles para el refuerzo de acero y los límites para el paño de concreto de los muros derecho e izquierdo, así como también se marcaron niveles para la cimbra que es muy importante para que los colados por etapas queden bien definidos.

Para el chequeo y colocación del refuerzo de acero en muros laterales de las bocatoma así como para el paño de concreto para el colado de dichos muros se realizan de la siguiente manera:

Valores proyecto:

Elevación a la entrada del bocatoma = 322.403 m

Espesor del muro = 66 cm.

Distancia del eje del bocatoma al paño de concreto de los muros derecho e izquierdo = $5.02 - 0.66 - 0.095 = \pm 4.265$ m

Con la Estación Total¹ podemos marcar el límite del paño de concreto conociendo el valor de proyecto $X = \pm 4.265$, el valor de X es perpendicular al eje del bocatoma y de la tubería a presión. Para la elevación se realiza el siguiente cálculo:

$$(Y - Y')/2 + Z = Z' \quad (4.1)$$

donde:

Y = cadenamiento proyecto

Y' = cadenamiento medido

Z = elevación proyecto

Z' = elevación calculada

A la elevación calculada Z' la comparamos con la elevación medida con la Estación Total y le decimos al cadenero que debe levantar o bajar las varillas de acero de 2.5 in para el armado de refuerzo de acero a lo largo del muro, tomando en cuenta el talud de dicho muro de 0.5:1 (H:V) con una pendiente de $26^{\circ}33'54.18''$ con respecto a la horizontal.

Conociendo el valor de X con la Estación Total podemos revisar si la varilla de acero está fuera del rango del valor de X , entonces le decimos al cadenero que mueva la varilla hacia el eje del bocatoma o hacia el muro hasta que queden alineadas dichas varillas a lo largo del muro y cumpla con el valor de X , luego se procede a soldar las varillas para evitar de que se muevan en el momento de colocar la cimbra en el momento del colado. Para ahorrar tiempo en el chequeo de las varillas del armado de refuerzo de acero de los muros es conveniente marcar niveles en los extremos del muro, se marca el nivel con pintura en la varilla y se coloca un hilo, que sirve de nivel para las varillas colocadas a lo largo del muro y se amarra en los niveles. También se colocan niveles para la cimbra tomando en cuenta el espesor del muro para posteriormente se realiza el colado, el avance del colado del muro es por etapas y las capas de colados es de 2.40 m (ver fotografías 11 y 12). En una obra civil es necesario contar con referencias y ejes para definir las coordenadas $X Y Z$ de cualquier punto geométrico y tomando en cuenta los datos de proyecto que se indican en los planos del arreglo general de la Obra de Toma. Ver plano CD-H032-PL-002-01 en apéndices.

¹Estación Total Leica TC 407.

Antes de ejecutar las medidas para el armado de refuerzo de acero y posteriormente el colado de los muros es necesario realizar una serie de cálculos como elevaciones y cadenamientos para cualquier punto de interés y conocer la ubicación de cada uno de ellos en un plano arquitectónico donde se indican el arreglo general, planta y perfil de la obra de toma. A continuación se presentan los datos calculados para el paño de concreto (ver figuras 4.14 y 4.15), en donde algunos datos no se indican en los planos de referencia:

DATOS PARA TRAZAR LA ESTRUCTURA PAÑOS DE CONCRETO PARA LA UNIDAD U-1 Y U-2					
No. de punto	Cadenamiento	Elevación	No. de punto	Cadenamiento	Elevación
1	0 + 000.000	331.845	15	0 + 007.305	323.752
2	0 + 000.000	322.000	16	0 + 006.857	322.858
3	0 + 007.265	328.212	17	0 + 005.784	323.395
4	0 + 004.159	322.000	18	0 + 006.232	324.289
5	0 + 006.538	322.000	19	0 + 009.720	322.544
6	0 + 011.638	319.450	20	0 + 006.768	324.020
7	0 + 014.268	324.711	21	0 + 005.337	324.736
8	0 + 016.960	330.094	22	0 - 002.692	322.000
9	0 + 009.956	333.595	23	0 - 002.982	321.402
10	0 + 012.492	321.157	24	0 - 013.442	321.402
11	0 + 010.256	322.276	25	0 - 013.442	322.402
12	0 + 009.809	321.381	26	0 - 004.721	322.402
13	0 + 008.736	321.918	27	0 - 002.950	325.943
14	0 + 009.183	322.812	Elevaciones en m.s.n.m. y cadenamientos en m.		

Tabla 4.1. Cálculo de elevación y cadenamiento para paños de concreto de las unidades U-1 y U-2.

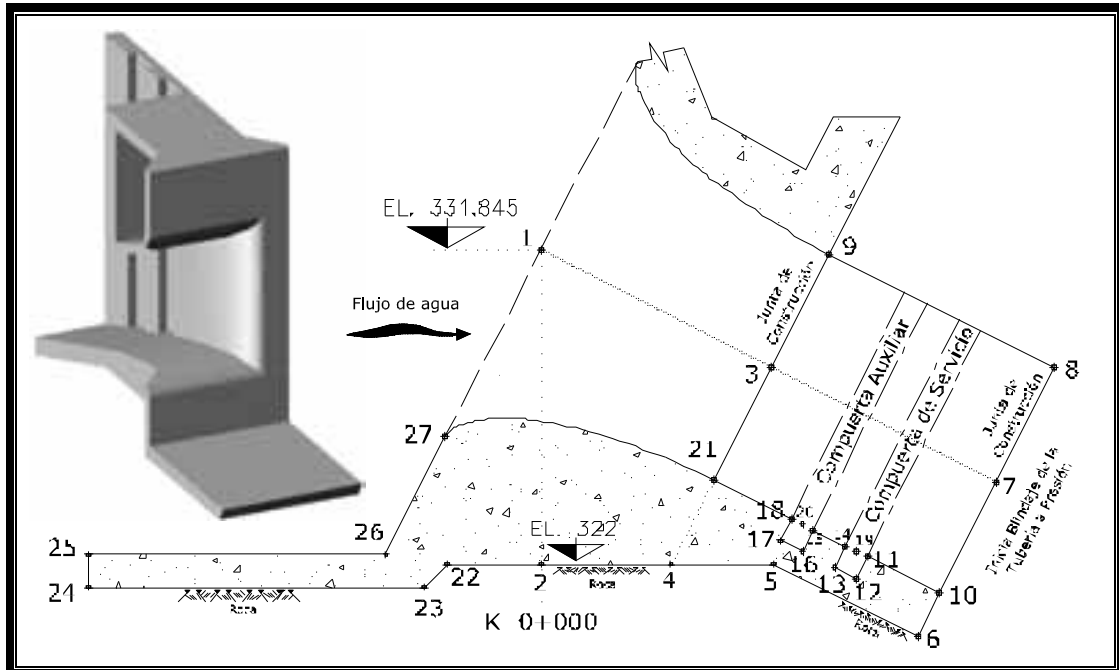


Figura 4.14. Sección del muro derecho e izquierdo del bocatoma.

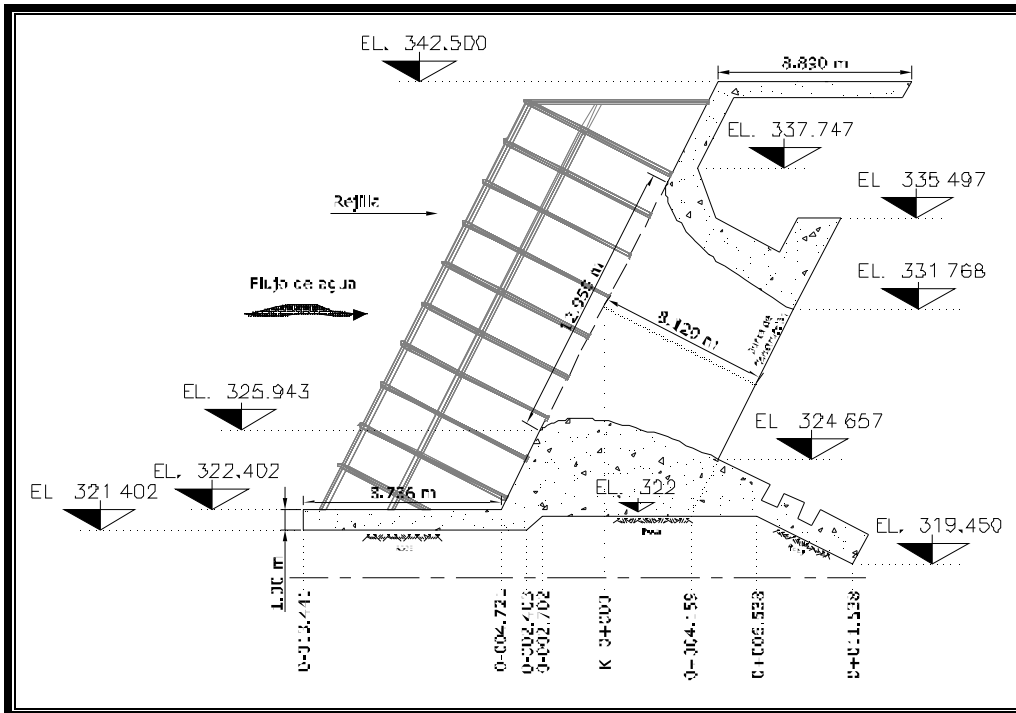


Figura 4.15. Sección de la entrada del bocatoma.



Fotografías 11 y 12. Armado de refuerzo de acero para el muro derecho del bocatoma 2.

4.2.3 Colocación de ménsulas de acero para el soporte de vigas de acero

También se calcularon puntos para la ubicación de los tornillos para cada una de las ménsulas o placas de acero en los muros de las bocatomas para un talud de 0.5:1 (H:V). Cada ménsula consta de 6 tornillos, dichas placas sirven para colocar vigas de acero para soportar la carga del armado de refuerzo de acero de los muros y de las compuertas: auxiliar y de servicio, que controlan el flujo de agua a la entrada (bocatoma) hacia las tuberías a presión.

En total son 8 placas por muro para las dos unidades U-1 y U-2. en la siguiente figura se ve el arreglo general y diseño de las ménsulas de acero.

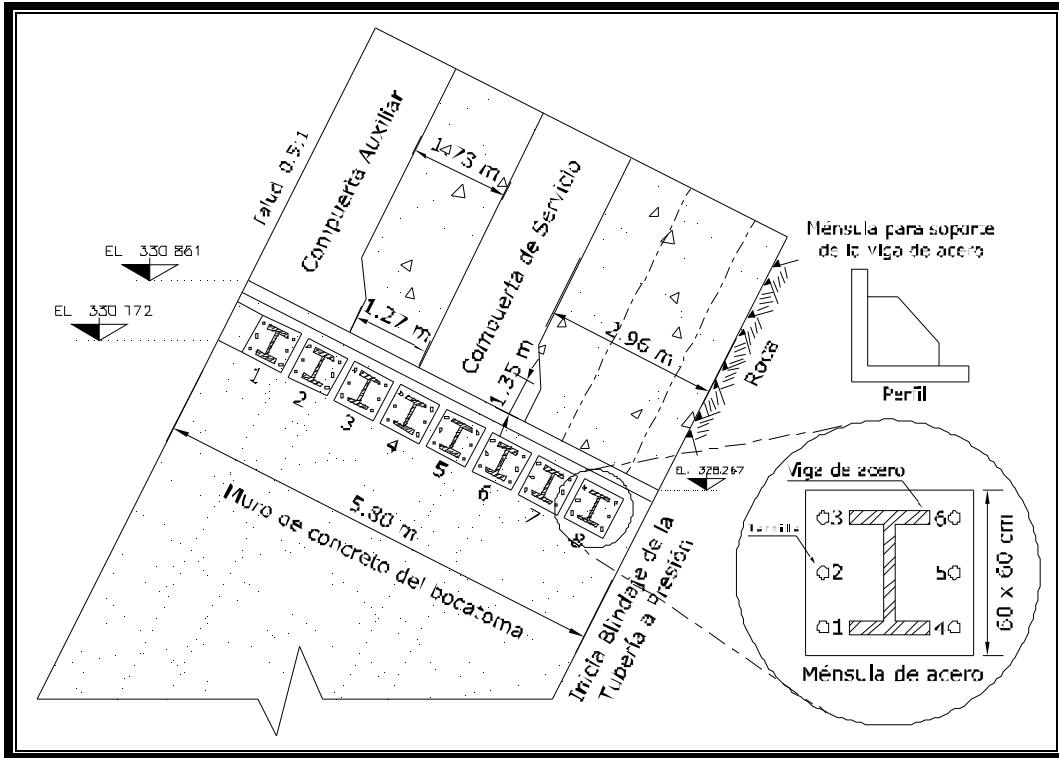


Figura 4.16. Colocación de ménsulas de acero para los muros del bocatoma U-1 y U-2.

En las siguientes fotografías se observan las ménsulas de acero ya colocadas a lo largo del muro derecho e izquierdo, así como también se observan las vigas de acero apoyadas sobre dichas ménsulas, en la foto 14, arriba de las vigas de acero, se observan los muros y la fachada de concreto, en esta fachada ahí se ubicará la compuerta de servicio.



Fotografías 13 y 14. Ménsulas de acero para la colocación de vigas del mismo material.

En las siguientes tablas se muestran los cadenamientos y las elevaciones calculados para la posición de los seis tornillos de cada ménsula de acero, tomando en cuenta el talud del muro lateral de 0.5:1 (H:V).

MÉNSULA #1			MÉNSULA #2		
Tornillo	Cadenamiento	Elevación	Tornillo	Cadenamiento	Elevación
1	10.721	330.139	1	11.347	329.826
2	10.816	330.328	2	11.442	330.015
3	10.910	330.517	3	11.536	330.204
4	11.168	329.915	4	11.794	329.602
5	11.263	330.104	5	11.889	329.791
6	11.358	330.293	6	11.984	329.980

MÉNSULA #3			MÉNSULA #4		
Tornillo	Cadenamiento	Elevación	Tornillo	Cadenamiento	Elevación
1	11.973	329.513	1	12.599	329.200
2	12.068	329.702	2	12.694	329.389
3	12.162	329.891	3	12.789	329.578
4	12.420	329.289	4	13.047	328.975
5	12.515	329.478	5	13.142	329.165
6	12.610	329.667	6	13.236	329.354

MÉNSULA #5			MÉNSULA #6		
Tornillo	Cadenamiento	Elevación	Tornillo	Cadenamiento	Elevación
1	13.225	328.887	1	13.851	328.574
2	13.320	329.076	2	13.946	328.763
3	13.415	329.264	3	14.041	328.952
4	13.673	328.665	4	14.299	328.350
5	13.768	328.852	5	14.394	328.539
6	13.862	329.041	6	14.488	328.728

MÉNSULA #7			MÉNSULA #8		
Tornillo	Cadenamiento	Elevación	Tornillo	Cadenamiento	Elevación
1	14.477	328.261	1	15.103	327.947
2	14.572	328.450	2	15.197	328.136
3	14.667	328.639	3	15.294	328.325
4	14.924	328.037	4	15.551	327.724
5	15.018	328.226	5	15.645	327.913
6	15.115	328.415	6	15.740	328.102

Tabla 4.2. Coordenadas de los tornillos de las ménsulas de acero.

Con la Estación Total equipado con láser y con los datos calculados (tabla 4.2), se procedió a marcar con pintura la ubicación de los seis tornillos de cada ménsula de acero, una vez marcados los puntos con pintura en los muros laterales de los bocatomas se barrenan para posteriormente se realizan los trabajos de colocación de las ménsulas ya atornilladas (ver fotografías 13 y 14). En este trabajo se requirió precisión en los cálculos y se cumplió con las tolerancias permitidas para la posición de cada uno de los tornillos, porque a veces barrenaban mal los trabajadores y de no corregir dichos barrenos alguno de los 6 tornillos no hubieran entrado en la ménsula al colocarla para un talud de 0.5:1 y a su vez habría problemas en la colocación y montaje de las vigas de acero.

4.3 Trabajos topográficos realizados en las tuberías a presión

4.3.1 Excavación en el ramal inclinada y ramal horizontal de las tuberías a presión 1 y 2

La geometría para la excavación de dichos ductos o túneles se dividió en tres partes de las cuales dos son inclinadas y una horizontal.

La primera parte inclinada es de $38^{\circ}26'06''$ descendente sobre la horizontal en la intersección del talud frontal con el eje de la tubería a presión con un cadenamiento de 0+000 y una elevación de 331.845 hasta el PC del codo superior (primera curva vertical) que tiene un cadenamiento de 0+037.28, cabe mencionar que los primeros 15.95 m de longitud en su sección transversal es de forma rectangular de 10.04 m de ancho por 11.75 m de altura posteriormente viene una transición de los siguientes 21.33 m que va de forma rectangular a circular de 11.55 m de diámetro.

En la segunda parte inclinada de $38^{\circ}26'06''$ descendente respecto a la horizontal, los primeros 2 metros hay una reducción de $\phi=11.55$ a $\phi=9.55$ m de diámetro, luego sigue una rama inclinada de 86.381 m de longitud también de $38^{\circ}26'06''$ de inclinación con respecto a la horizontal que llega hasta el cadenamiento 0+123.66, le sigue un codo cóncavo vertical, con datos curva de: $\Delta = 65^{\circ}00'$, $ST = 20.26m$, $Lc = 36.078m$, $R = 31.80m$; hasta el cadenamiento 0+159.74.

En la tercera parte de la tubería a presión es horizontal e inicia del cadenamiento 0+159.74 al cadenamiento 0+220.59 de 60.851 metros de longitud en su sección y a la elevación 213.06 msnm. Del último cadenamiento al 0+251.35 de 28.06 m de longitud hay una transición en excavación de $\phi=9.55$ a $\phi=7.10$ m de diámetro.

En la excavación de los túneles para alojar las tuberías a presión primeramente se realizó la parte horizontal aprovechando el túnel auxiliar a casa de máquinas y galería de oscilación por el tímpano sur. Topográficamente se localizó el eje de las dos tuberías sobre el centro de línea del túnel auxiliar ya que dichos ejes de tuberías fueron perpendiculares al centro de línea del túnel auxiliar.

Una vez que se terminó con el rimado de las dos tuberías a presión se ligó con las poligonales abiertas por toda la galería partiendo de las mojoneras de apoyo principal ubicadas en el canal de llamada donde se encuentra la obra de toma y con aquellas mojoneras ubicadas en el túnel de acceso a casa de máquinas hasta el túnel auxiliar para comprobar la perpendicularidad de los ejes de las tuberías proyectados desde la obra de toma (bocatomas), con el centro de línea de unidades (carcasas y turbinas) de casa de máquinas a los cuales se les hizo una corrección por error de menos de 2 cm para cerrar angularmente y longitudinalmente.

Es importante llevar a cabo un control en el avance de la excavación en todas las ramales de las dos tuberías a presión, por eso es necesario definir cadenamamientos o estaciones para obtener las secciones de cada una de ellas y así obtener el área de excavación de las mismas y dar un reporte semanal de las excavaciones y si se cumple con las medidas proyectadas en el plano. Hay que recordar que entre más secciones haya en una longitud determinada mayor será la información y más preciso se llevan a cabo las medidas. A continuación se presentan algunas secciones para los ramales horizontal e inclinada de la conducción a presión 1 para cada una de las estaciones con sus respectivas áreas de excavación:

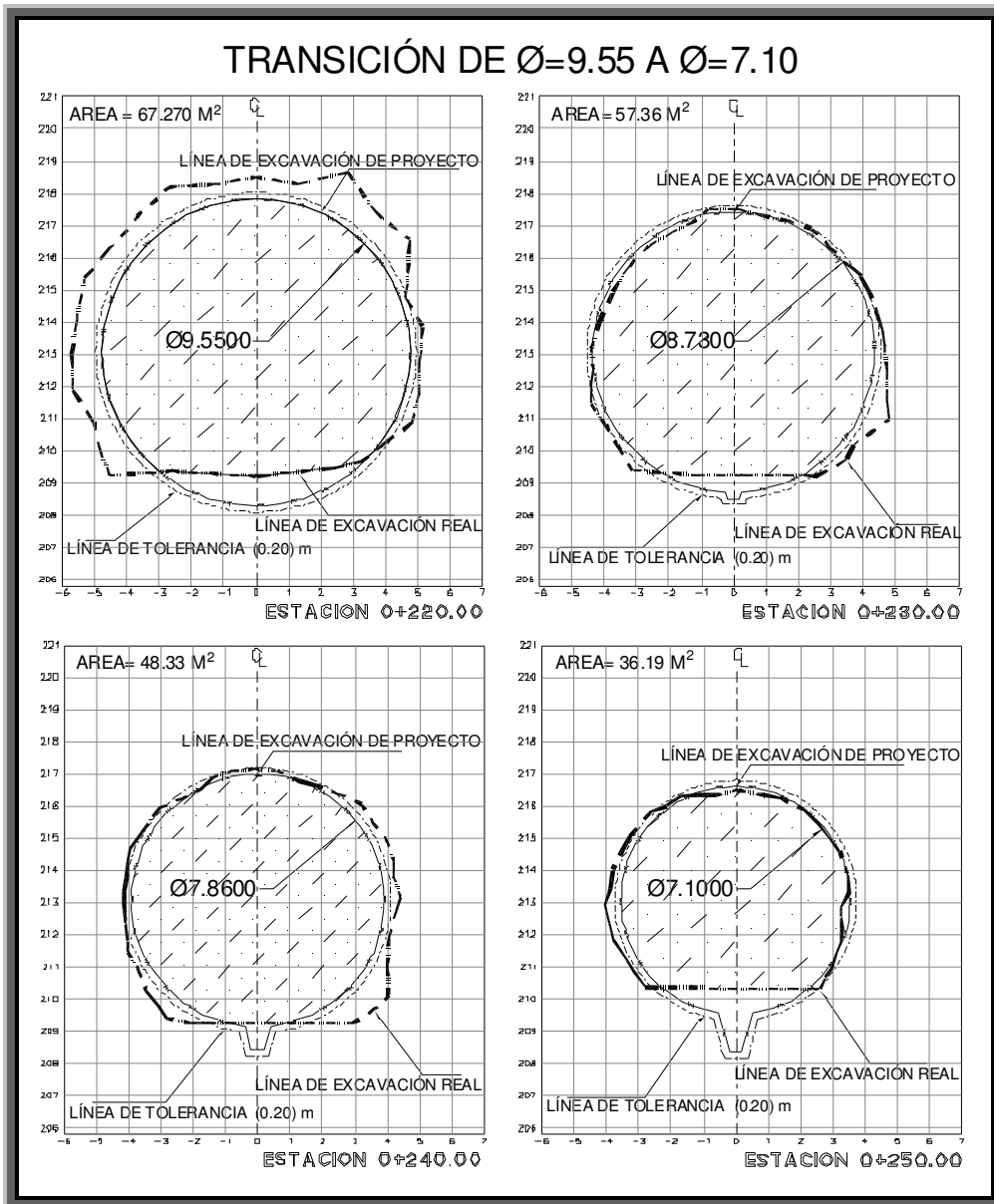


Figura 4.17. Excavación en la transición de la unidad de la tubería a presión 1.

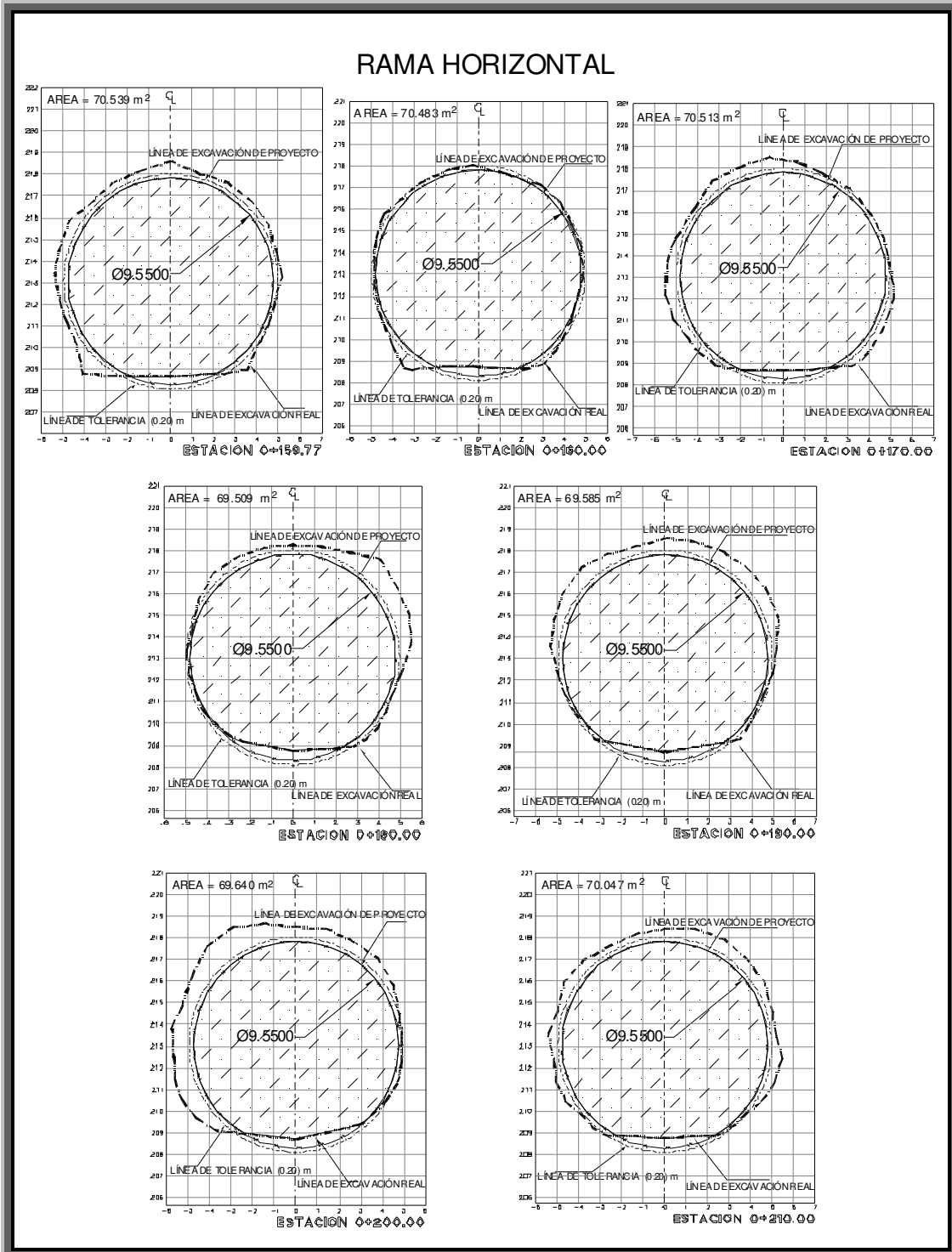


Figura 4.18. Excavación en la rama horizontal de la unidad de la tubería a presión 1.

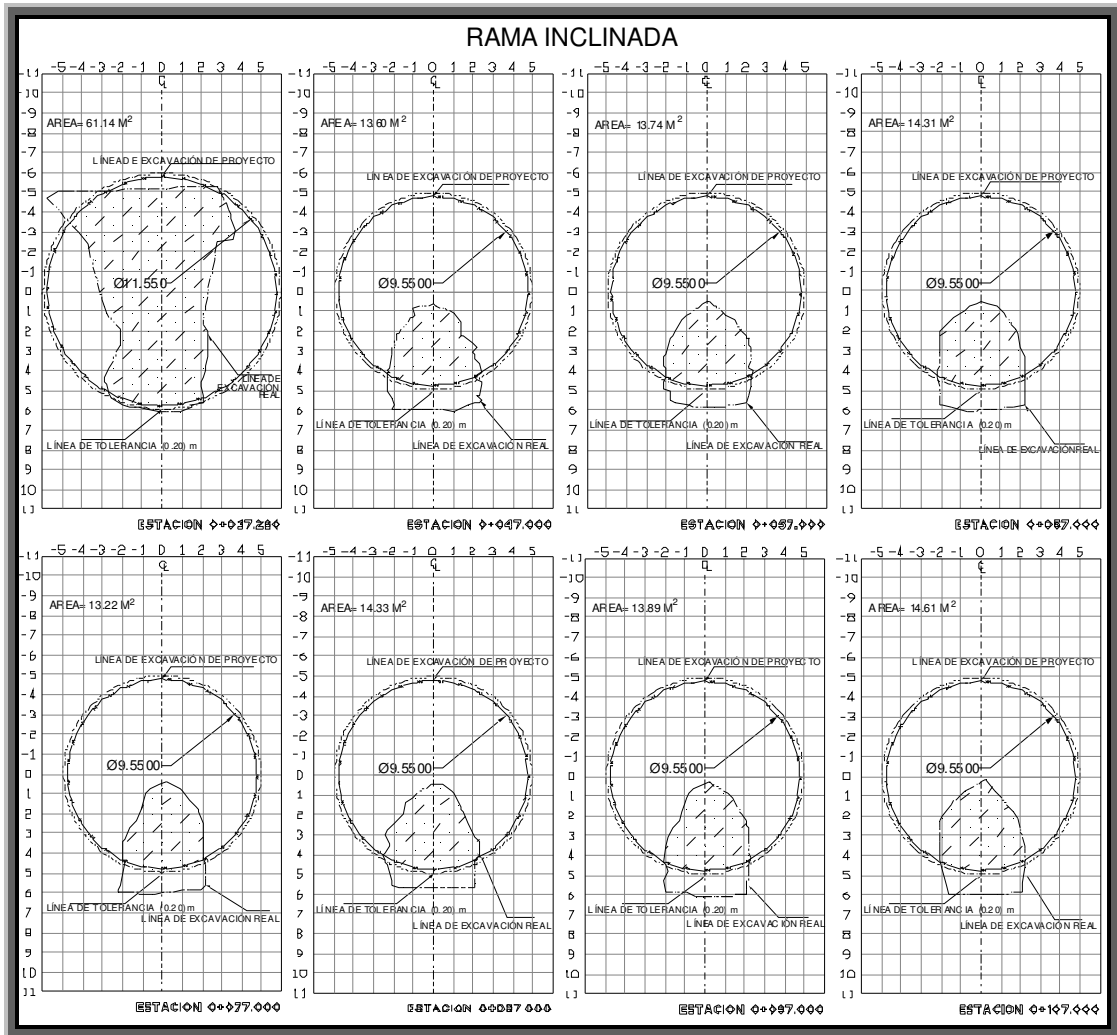


Figura 4.19. Excavación en la rama inclinada de la unidad de la tubería a presión 1.

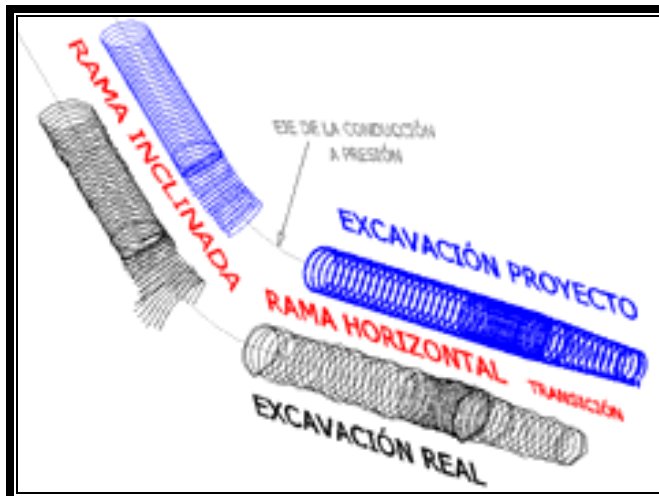


Figura 4.20. Excavación real y de proyecto de la tubería a presión 1.

Por el método de las áreas medias, aplicando la fórmula (3.11) del capítulo tres, se calcularon las áreas y los volúmenes parciales y acumulados para el volumen total excavado de los ramales de las dos tuberías o conducciones a presión.

Estación m	A1 m ²	A1 + A2 m ²	e / 2 m	Avance Acumulado en m ³	
				Vol. Parcial	Vol. Acum.
ZONA DE TRANSICIÓN (secciones perpendiculares al eje)					
0+015.95	117.96	117.96	1.0	-	-
0+017.95	109.83	227.29	1.0	227.79	227.79
0+019.95	108.83	218.66	1.0	218.66	446.45
0+021.95	107.93	216.76	1.0	216.76	663.21
0+023.95	107.12	215.05	1.0	215.05	878.26
0+025.95	106.50	213.62	1.0	213.62	1,091.88
0+027.95	105.95	212.45	1.0	212.45	1,304.33
0+029.95	105.49	211.44	1.0	211.44	1,515.77
0+031.95	105.16	210.65	1.0	210.65	1,726.42
0+033.95	104.92	210.08	1.0	210.08	1,936.50
0+035.95	98.73	203.65	1.0	203.65	2,140.15
0+037.28	95.81	194.54	0.66	129.37	2,269.52
Volumen Total Acumulado (Tubería a Presión 1 y 2) = 2,269.52 m³					

Tabla 4.3. Volumen total excavado en la zona de transición al 31 de Julio del 2005.

Estación m	A1 m ²	A1 + A2 m ²	e / 2 m	Avance Acumulado en m ³	
				Vol. Parcial	Vol. Acum.
RAMA INCLINADA (secciones horizontales al eje)					
309.92	-	-	-	-	-
309.00	13.56	13.56	0.46	6.24	6.24
308.00	37.08	50.64	0.50	25.32	31.56
307.00	61.24	98.32	0.50	49.16	80.72
306.00	78.39	139.63	0.50	69.81	150.53
305.85	79.03	157.42	0.07	11.81	162.34
305.00	79.03	158.06	0.43	67.18	229.52
304.00	79.03	158.06	0.50	79.03	308.55
303.00	79.03	158.06	0.50	79.03	387.58
302.00	79.03	158.06	0.50	79.03	466.61
301.00	79.03	158.06	0.50	79.03	545.64
300.00	79.03	158.06	0.50	79.03	624.67
299.00	79.03	158.06	0.50	79.03	703.70
298.00	79.03	158.06	0.50	79.03	782.73
297.00	79.03	158.06	0.50	79.03	861.76
296.00	79.03	158.06	0.50	79.03	940.79
295.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,019.82
294.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,098.85
293.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,177.88
292.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,256.91

CAPÍTULO IV OBRAS DE GENERACIÓN

291.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,335.94
290.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,414.97
289.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,494.00
288.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,573.03
287.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,652.06
286.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,731.09
285.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,810.12
284.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,889.15
283.00	79.03	158.06	0.50	79.03	1,968.18
282.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,047.21
281.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,126.24
280.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,205.27
279.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,284.30
278.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,363.33
277.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,442.36
276.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,521.39
275.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,600.42
274.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,679.45
273.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,758.48
272.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,837.51
271.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,916.54
270.00	79.03	158.06	0.50	79.03	2,995.57
269.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,074.60
268.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,153.63
267.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,232.66
266.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,311.69
265.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,390.72
264.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,469.75
263.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,548.78
262.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,627.81
261.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,706.84
260.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,785.87
259.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,864.90
258.00	79.03	158.06	0.50	79.03	3,943.93
257.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,022.96
256.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,101.99
255.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,181.02
254.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,260.05
253.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,339.08
252.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,418.11
251.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,497.14
250.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,576.17
249.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,655.20
248.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,734.23
247.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,813.26
246.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,892.29
245.00	79.03	158.06	0.50	79.03	4,971.32

244.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,050.35
243.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,129.38
242.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,208.41
241.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,287.44
240.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,366.47
239.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,445.50
238.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,524.53
237.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,603.56
236.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,682.59
235.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,761.62
234.00	79.03	158.06	0.50	79.03	5,840.65
233.44	79.03	158.06	0.28	44.26	5,884.91
233.00	74.36	153.39	0.22	33.75	5,918.66
232.00	53.72	128.08	0.50	64.04	5,982.70
231.00	29.05	82.77	0.50	41.39	6,024.09
230.00	7.24	36.29	0.50	18.15	6,042.24
229.37		7.24	0.31	2.28	6,044.52
Volumen Total Acumulado (Tubería a Presión 1 y 2) = 6,044.52 m³					

Tabla 4.4. Volumen total excavado en la rama inclinada al 31 de Julio del 2005.

Estación m	A1 m ²	A1 + A2 m ²	e / 2 m	Avance Acumulado en m ³	
				Vol. Parcial	Vol. Acum.
CODO INFERIOR (secciones perpendiculares al eje)					
0+123.66	71.63		0.00		
0+124.00	71.63	143.26	0.17	24.35	24.35
0+125.00	71.63	143.26	0.50	71.63	95.98
0+126.00	71.63	143.26	0.50	71.63	167.61
0+127.00	71.63	143.26	0.50	71.63	239.24
0+128.00	71.63	143.26	0.50	71.63	310.87
0+129.00	71.63	143.26	0.50	71.63	382.50
0+130.00	71.63	143.26	0.50	71.63	454.13
0+131.00	71.63	143.26	0.50	71.63	525.76
0+132.00	71.63	143.26	0.50	71.63	597.36
0+133.00	71.63	143.26	0.50	71.63	669.02
0+134.00	71.63	143.26	0.50	71.63	740.65
0+135.00	71.63	143.26	0.50	71.63	812.28
0+136.00	71.63	143.26	0.50	71.63	883.91
0+137.00	71.63	143.26	0.50	71.63	955.54
0+138.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,027.17
0+139.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,098.80
0+140.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,170.43
0+141.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,242.06
0+142.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,313.69
0+143.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,385.32
0+144.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,456.95
0+145.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,528.58

0+146.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,600.21
0+147.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,671.84
0+148.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,743.47
0+149.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,815.10
0+150.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,886.73
0+151.00	71.63	143.26	0.50	71.63	1,958.36
0+152.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,029.99
0+153.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,101.62
0+154.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,173.25
0+155.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,244.88
0+156.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,316.51
0+157.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,388.14
0+158.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,459.77
0+159.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,531.40
0+159.77	71.63	143.26	0.39	55.16	2,586.56
Volumen Total Acumulado (Tubería a Presión 1 y 2) = 2,586.56 m³					

Tabla 4.5. Volumen total excavado en el codo inferior al 31 de Julio del 2005.

Estación m	A1 m ²	A1 + A2 m ²	e / 2 m	Avance Acumulado en m ³	
				Vol. Parcial	Vol. Acum.
RAMA HORIZONTAL (secciones perpendiculares al eje)					
0+160.00	71.63	71.07	0.11	7.82	7.82
0+162.00	71.63	143.26	1.00	143.26	151.08
0+164.00	71.63	143.26	1.00	143.26	294.34
0+166.00	71.63	143.26	1.00	143.26	437.60
0+168.00	71.63	143.26	1.00	143.26	580.86
0+170.00	71.63	143.26	1.00	143.26	724.12
0+172.00	71.63	143.26	1.00	143.26	867.38
0+174.00	71.63	143.26	1.00	143.26	1,010.64
0+176.00	71.63	143.26	1.00	143.26	1,153.90
0+178.00	71.63	143.26	1.00	143.26	1,297.16
0+180.00	71.63	143.26	1.00	143.26	1,440.42
0+182.00	71.63	143.26	1.00	143.26	1,583.68
0+184.00	71.63	143.26	1.00	143.26	1,726.94
0+186.00	71.63	143.26	1.00	143.26	1,870.20
0+188.00	71.63	143.26	1.00	143.26	2,013.46
0+189.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,085.09
0+190.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,156.72
0+191.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,228.35
0+192.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,299.98
0+193.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,371.61
0+194.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,443.24
0+195.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,514.87
0+196.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,586.50
0+197.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,658.13

0+198.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,729.76
0+199.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,801.39
0+200.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,873.02
0+201.00	71.63	143.26	0.50	71.63	2,944.65
0+202.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,016.28
0+203.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,087.91
0+204.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,159.54
0+205.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,231.17
0+206.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,302.80
0+207.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,374.43
0+208.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,446.06
0+209.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,517.69
0+210.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,589.32
0+211.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,660.95
0+212.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,732.58
0+213.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,804.21
0+214.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,875.84
0+215.00	71.63	143.26	0.50	71.63	3,947.47
0+216.00	71.63	143.26	0.50	71.63	4,019.10
0+217.00	71.63	143.26	0.50	71.63	4,090.73
0+218.00	71.63	143.26	0.50	71.63	4,162.36
0+219.00	71.63	143.26	0.50	71.63	4,233.99
0+220.00	71.63	143.26	0.50	71.63	4,305.62
0+220.62	71.63	143.26	0.31	44.41	4,350.03
Volumen Total Acumulado (Tubería a Presión 1 y 2) = 4,350.03m³					

Tabla 4.6. Volumen total excavado en la rama horizontal al 31 de Julio del 2005.

Estación m	A1 m ²	A1 + A2 m ²	e / 2 m	Avance Acumulado en m ³	
				Vol. Parcial	Vol. Acum.
TRANSICIÓN RAMA HORIZONTAL (secciones perpendiculares al eje)					
0+220.62	69.73	69.73	0.00	-	4,350.03
0+221.00	69.47	139.20	0.19	26.45	4,376.48
0+222.00	69.25	138.72	0.50	69.36	4,445.84
0+223.00	68.07	137.32	0.50	68.66	4,514.50
0+224.00	66.82	134.89	0.50	67.45	4,581.95
0+225.00	65.83	132.65	0.50	66.33	4,648.28
0+226.00	64.64	130.47	0.50	65.24	4,713.52
0+227.00	63.42	128.06	0.50	64.03	4,777.55
0+228.00	62.24	125.66	0.50	62.83	4,840.38
0+229.00	61.09	123.33	0.50	61.67	4,902.05
0+230.00	59.87	120.96	0.50	60.48	4,962.53
0+231.00	58.63	118.50	0.50	59.25	5,021.78
0+232.00	57.50	116.13	0.50	58.07	5,079.85
0+233.00	56.35	113.85	0.50	56.93	5,136.78
0+234.00	55.18	111.53	0.50	55.77	5,192.55
0+235.00	53.98	109.16	0.50	54.58	5,247.13

0+236.00	52.90	106.88	0.50	53.44	5,300.57
0+237.00	51.79	104.69	0.50	52.35	5,352.92
0+238.00	50.61	102.40	0.50	51.20	5,404.12
0+239.00	49.60	100.21	0.50	50.11	5,454.23
0+240.00	48.40	98.00	0.50	49.00	5,503.23
0+241.00	47.34	95.74	0.50	47.87	5,551.10
0+242.00	46.34	93.68	0.50	46.84	5,597.94
0+243.00	44.97	91.31	0.50	45.66	5,643.60
0+244.00	44.12	89.09	0.50	44.55	5,668.15
0+245.00	43.17	87.29	0.50	43.65	5,731.80
0+246.00	42.23	85.40	0.50	42.70	5,774.50
0+247.00	41.26	83.49	0.50	41.75	5,816.25
0+248.00	40.02	81.28	0.50	40.64	5,856.89
0+248.68	38.54	78.56	0.34	26.71	5,883.60
0+249.00	37.87	76.41	0.50	12.23	5,895.83
0+250.00	34.43	72.30	0.50	36.15	5,931.98
0+251.00	27.24	61.67	0.50	30.84	5,962.82
0+251.35	-	-	0.17	-	5,962.82
Volumen Total Acumulado (Tubería a Presión 1 y 2) = 5,962.82 m³					
TOTAL ACUMULADO (Tubería a Presión 1 y 2) = 14,745.56 m³					

Tabla 4.7. Volumen total excavado en la transición rama horizontal al 31 de Julio del 2005 y volumen total de todas las ramales de las tuberías a presión.

4.3.2 Colocación de anclajes de fricción para roca

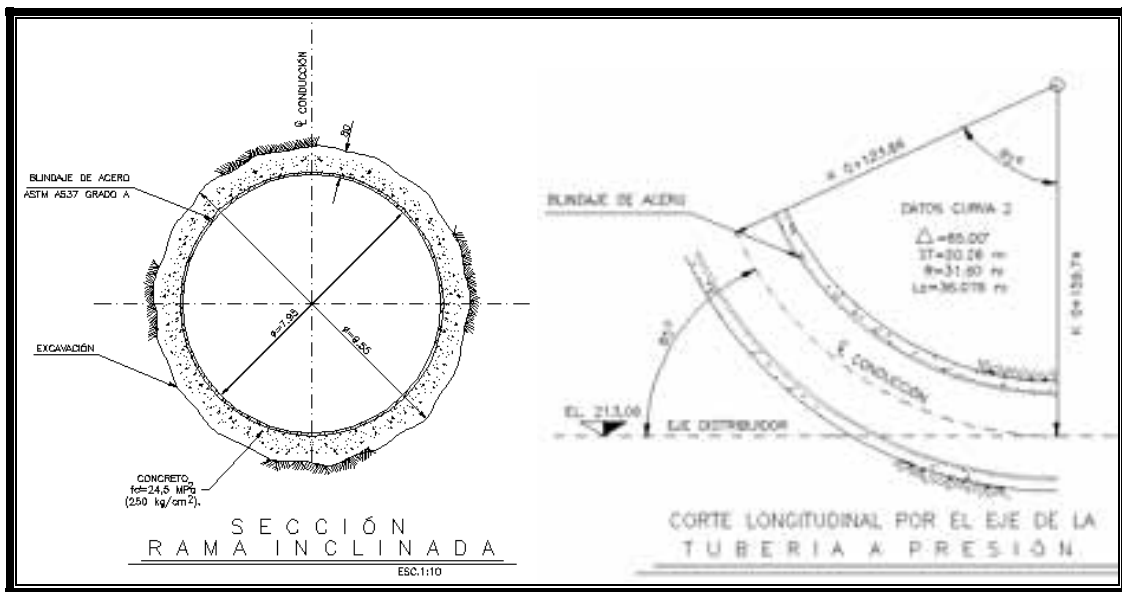
Los anclajes son utilizados para mantener la estabilidad de taludes, armado de refuerzo de acero, etc. Las anclas o pernos de anclajes como se mencionó anteriormente, son barras metálicas que se alojan en un barreno perforado en un talud, en la pared de la roca o bóveda de una cavidad subterránea y se inyectan parcial o totalmente en su longitud para estabilizar y proporcionar soporte al terreno natural desde antes, durante o después de la excavación en zonas inestables.

Pueden colocarse en arreglos especiales, en función de los requerimientos de soporte cumpliendo las normas de construcción ejecutadas por el contratista, el tipo de anclas que se emplean son las anclas de fricción, o sea, aquellas que se fijan mediante inyección de mortero en parte de su longitud. Ver plano CD-H033-PL-121-03 en apéndices.

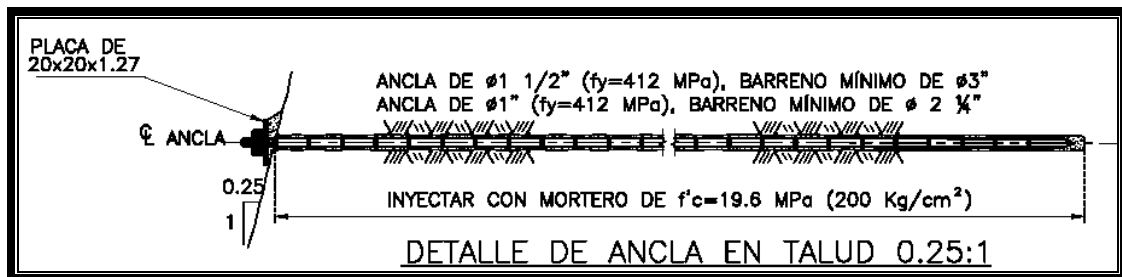
En las dos tuberías a presión ya excavadas, se marcaron anclajes de fricción por cadenamiento especificado en el proyecto. Con datos de proyecto se calcularon las coordenadas de cada ancla para el soporte de roca de las mismas tuberías para que finalmente se realice el alzado de concreto, (figura 4.23 y fotografía 13).

El número de anclas varía con el avance del cadenamamiento, el promedio de anclas oscila entre 8 y 10 por sección o línea de anclas. Con la Estación Total y con las elevaciones calculadas se procede a marcar puntos en la parte superior de la tubería o conducción a presión (zona excavada) para posteriormente se realice la inyección de relleno concreto – roca. Una vez marcado los puntos con pintura donde se ubican las anclas se barrenan aproximadamente a 6 metros y están formadas en líneas de barrenos o de anclas, separadas a 2.08 m de línea a línea. En la figura 4.21 se muestra la sección y el diámetro de 11.50 m de excavación de dicha tubería, que abarca desde el ramal inclinado pasando por el codo vertical (figura 4.22) hasta la rama horizontal que termina en el cadenamamiento 0 + 220.59 .

También se muestra el diámetro del blindaje de acero de 9.55 m de la conducción a presión, la distancia entre el diámetro anterior, tomando en cuenta el espesor del blindaje de acero, y el diámetro de excavación es de 80 cm, esta distancia que es la misma para toda la circunferencia formada entre dichos círculos se realiza la colocación de acero de refuerzo para posteriormente continuar con los trabajos de inyección de relleno concreto - roca.



Figuras 4.21 y 4.22. Sección y corte longitudinal del codo vertical de la tubería a presión 1 y 2.



Figuras 4.23. Detalle geométrico de la ancla de fricción empleados en las conducciones a presión.

A continuación se presentan los datos para trazar la curva cóncava vertical a cada 2.08 m para los anclajes de transición de las tuberías a presión:

Distancia m	Cadenamiento Y (m)	Ángulo \sphericalangle Horizontal	Cuerda $2R\text{sen } \sphericalangle$	Elevación m	X m
2.08	0+157.66	1°52'25.77"	2.08	213.13	88.27
4.16	0+155.58	3°44'51.53"	4.16	213.33	86.65
6.24	0+153.50	5°37'17.30"	6.23	213.71	84.84
8.32	0+151.42	7°29'43.07"	8.30	214.14	83.04
10.40	0+149.34	9°22'08.84"	10.35	214.74	81.28
12.48	0+147.26	11°14'34.60"	12.40	215.48	79.57
14.56	0+145.18	13°07'00.37"	14.43	216.33	77.91
16.64	0+143.10	14°59'26.14"	16.45	217.31	76.30
18.72	0+141.02	16°51'51.91"	18.45	218.41	74.75
20.80	0+138.94	18°44'17.67"	20.43	219.62	73.30
22.88	0+136.86	20°36'43.44"	22.39	220.94	71.90
24.96	0+134.78	22°29'09.21"	24.32	222.36	70.60
27.04	0+132.70	24°21'34.97"	26.23	223.88	69.47
29.12	0+130.62	26°14'00.47"	28.11	225.48	68.30
31.20	0+128.54	28°06'26.57"	29.96	227.17	67.28
33.28	0+126.46	29°58'52.28"	31.78	228.94	66.38
35.36	0+124.38	31°51'18.04"	33.57	230.78	65.59

Tabla 4.8. Datos calculados para colocación de anclajes de fricción en el codo inferior de la tubería o conducción a presión 1 y 2.



Fotografía 15. Anclas de fricción de varillas de acero en el codo inferior de la tubería a presión 2.

4.3.3 Colocación de rieles de acero para el soporte de canutos o blindajes de acero, en las tuberías o conducciones a presión

Después de terminar con la excavación de la tubería a presión y de colocar los anclajes de fricción, se procede a colocar el blindaje de acero por piezas respetando los valores de proyecto como el diámetro de la placa de acero llamado “canuto”. Estos canutos son fabricados por la empresa rusa Energomachexport Power Machines, los canutos se colocan por su grado de facilidad del fin de la tubería a presión hasta la entrada de la misma (bocatoma), o sea, partiendo del cadenamamiento 0+251.35 hasta el cadenamamiento 0 + 015.95 .

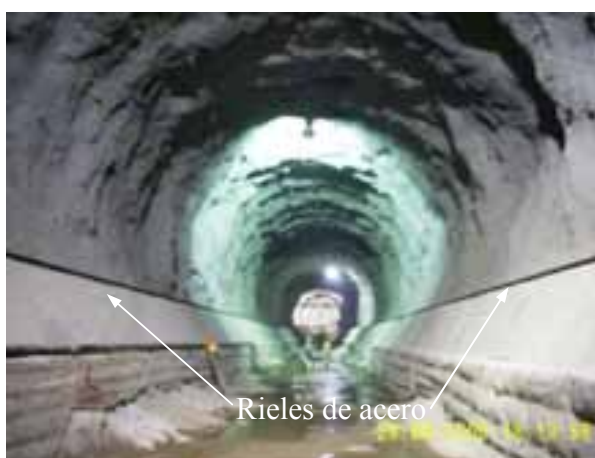


Fotografías 16 y 17. Canuto o placa de blindaje de acero. Vista general del primer canuto.

Antes de colocar los canutos, a la empresa CIISA le corresponde colocar anclajes de fricción y marcar niveles para el armado de refuerzo de acero a la elevación indicada en el proyecto para la colocación de los rieles de acero en los ramales y codos en ambas tuberías a presión. La empresa Duero Ingeniería se encarga de instalar y nivelar los rieles de acero apoyadas en las bases de concreto (fotografías 18 y 19), para la colocación de blindaje en la conducción o tubería a presión a la elevación indicada en el proyecto en la zona del ramal horizontal que llega hasta casa de máquinas, también se encargará en todos los ramales y codos en ambas tuberías, que sirven de soporte de cada una de las piezas de blindaje de acero o canutos, como se muestran en las siguientes fotografías:



Fotografía 18. Colocación de rieles de acero en el ramal inclinado de la tubería a presión 1.



Fotografía 19. Rieles de acero en la rama horizontal de la tubería a presión 1.

En las fotografías 20 y 21 se muestran los rieles para el soporte del primer canuto en la rama horizontal de la tubería a presión 1, una vez colocado el primer canuto se realiza el armado de refuerzo de acero alrededor de dicho canuto para posteriormente continuar con los trabajos de colado concreto – roca, y después colocar el segundo canuto de tal manera que las piezas se sellen bien para evitar futuras fugas de agua que podría ocasionar mayor pérdida de energía por fricción en el gasto calculado en el proyecto.



Fotografía 20. Colocación del primer canuto. Vista del canuto desde casa de máquinas.



Fotografía 21. Soporte del canuto sobre el riel.

Las placas de acero o canutos se distribuyen a lo largo de la tubería a presión (ver plano en la figura 4.24), de la siguiente manera: del cadenamiento 0+015.95 al 0+037.28 es una transición de sección rectangular a circular con 5 piezas, del cadenamiento 0+037.28 al 0+123.66 es una rama inclinada con 18 piezas, del cadenamiento 0+123.66 al 0+159.74 es un codo inferior de 65° de curvatura con 10 piezas, del cadenamiento 0+159.74 al 0+220.59 es una rama horizontal con 13 piezas y por último, del cadenamiento 0+220.59 al 0+251.35 es una transición de circular a circular ($\phi 7.95$ a $\phi 5.50$ m) con 7 piezas, sumando en total 53 piezas de canuto.

4.3.4 Trazo de la transición de rectangular a circular

De todos los ramales de esta tubería a presión nos vamos a enfocar más en la transición de rectangular a circular por su importancia en el área de la topografía tanto en el trazo de la transición como en la colocación de las cinco piezas que se van reduciendo a un círculo e inclinando a $38^{\circ}26'06''$ de curvatura o con respecto al eje de la tubería. Las coordenadas de apoyo empleadas para la colocación de placas de concreto y de rieles para el soporte de los canutos son los siguientes puntos coordenados:

PUNTO	COORDENADAS UTM		
	X	Y	Z
TP-1	556,628.878	2,369,550.319	209.51
TP-2	556,644.825	2,369,526.458	209.51

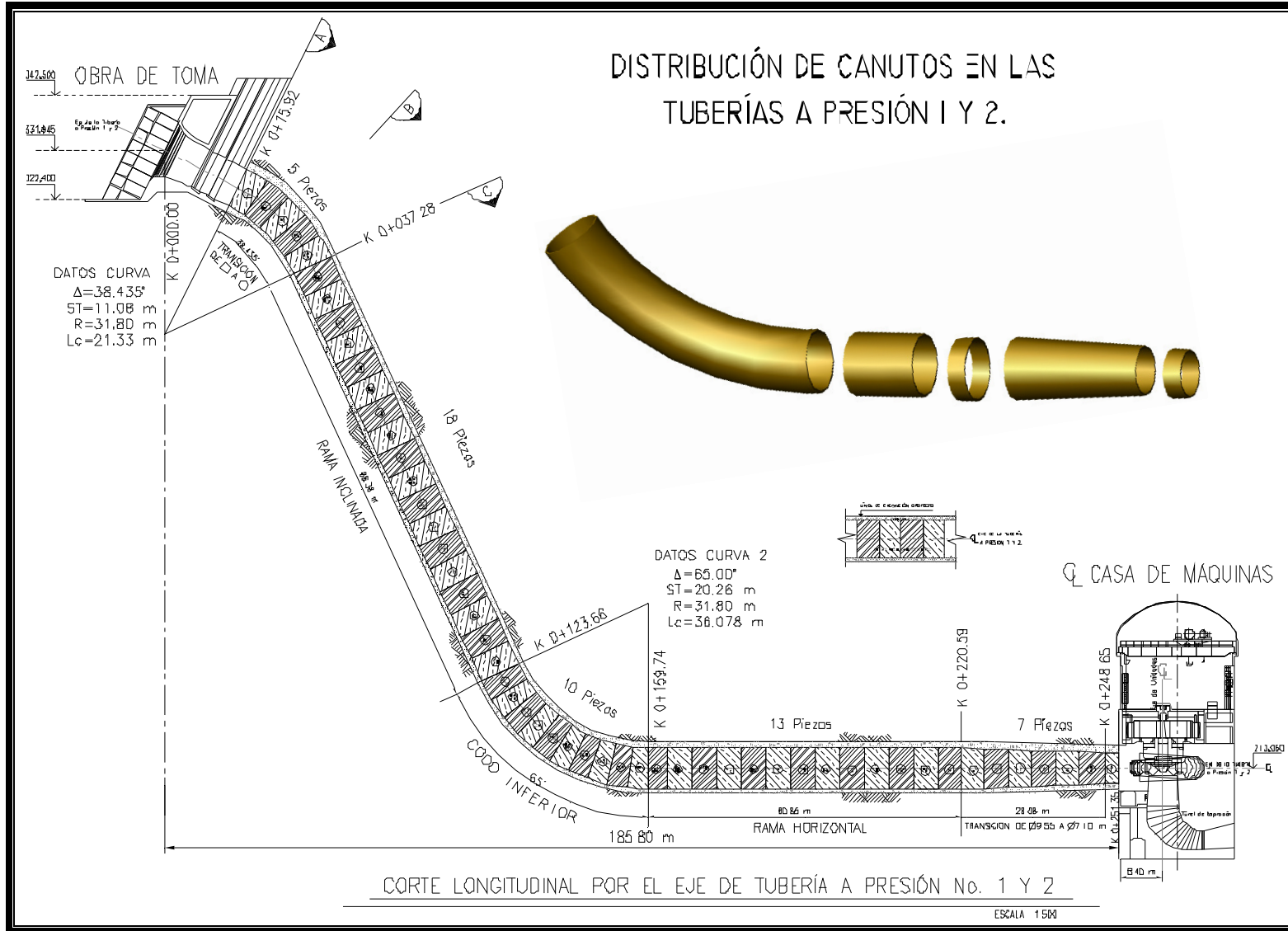


Figura 4.24. Plano de la tubería a presión 1 y 2, Arreglo general (perfiles y secciones).

Para el trazo de la transición hay que tomar en cuenta los datos de la curva del codo superior de la tubería (ver figura 4.24) y los valores de proyecto de la sección rectangular y del diámetro de la tubería de 7.95 m de diámetro que se muestra en la siguiente figura:

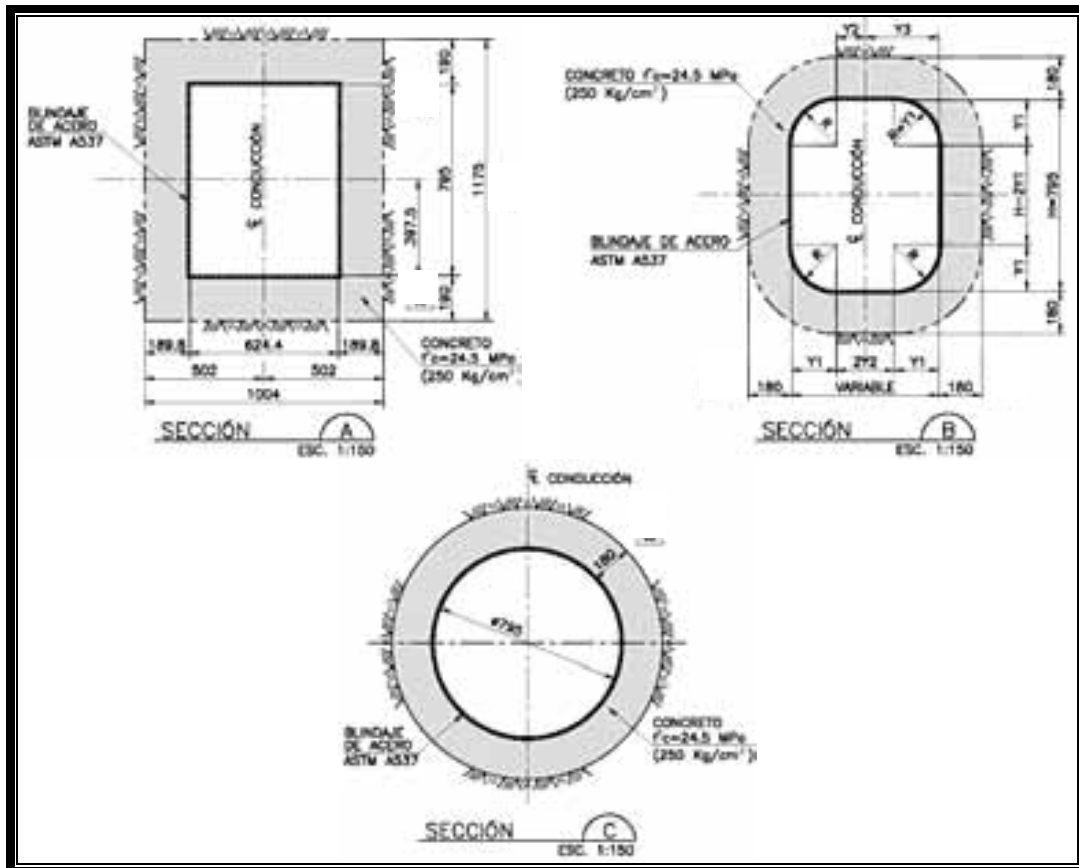


Figura 4.25. Secciones para la transición de rectangular a circular de la tubería a presión 1 y 2.

Para el cálculo del trazo de la transición se emplean los siguientes modelos matemáticos que están en función de la distancia Y1 que es el radio de una sección circular y el desplazamiento de cada pieza o canuto en X (figura 4.25),

$$R = Y1 = 0.186340X \tag{4.2}$$

$$Y2 = 3.121958 - 0.186340X + 0.001875X^2 \tag{4.3}$$

$$Y3 = 3.121958 + 0.001875X^2 \tag{4.4}$$

De los datos de la curva del codo superior, la longitud de curvatura es de 21.33 m, para el desplazamiento $X = 2$ m, el último desplazamiento sería $X'=1.33$ m para completar la longitud total, con las fórmulas anteriores y los valores de X se calcularon los valores de Y1, que es el radio, Y2 y Y3 y se muestran en la tabla 4.9:

TRAZO DE LA TRANSICIÓN				
X (m)	R = Y1 (m)	H - 2Y1 (m)	Y2 (m)	Y3 (m)
0.0	0.000	7.950	3.122	3.122
2.0	0.373	7.205	2.757	3.130
4.0	0.745	6.459	2.407	3.152
6.0	1.118	5.714	2.071	3.189
8.0	1.491	4.969	1.751	3.242
10.0	1.863	4.223	1.446	3.309
12.0	2.236	3.478	1.156	3.392
14.0	2.609	2.733	0.881	3.489
16.0	2.981	1.987	0.620	3.602
18.0	3.354	1.242	0.375	3.729
20.0	3.727	0.496	0.145	3.872
21.33	3.975	0.000	0.000	3.975

Tabla 4.9. Datos calculados para el trazo de la transición para X=2 m.

Las ecuaciones antes mencionados funcionan de la siguiente manera; partiendo de la sección rectangular se debe incrementar el valor de R=Y1 hacia el centro o eje del rectángulo hasta llegar al valor del radio del círculo 3.975 m y el valor de Y2 debe disminuir a cero, con esto los lados mayores del rectángulo se van curvándose hacia fuera y los vértices del rectángulo se van achatando hacia adentro hasta que el valor de Y3 sea de 3.975 m que es el radio del círculo que se desea proyectar, como se muestra en la siguiente figura:

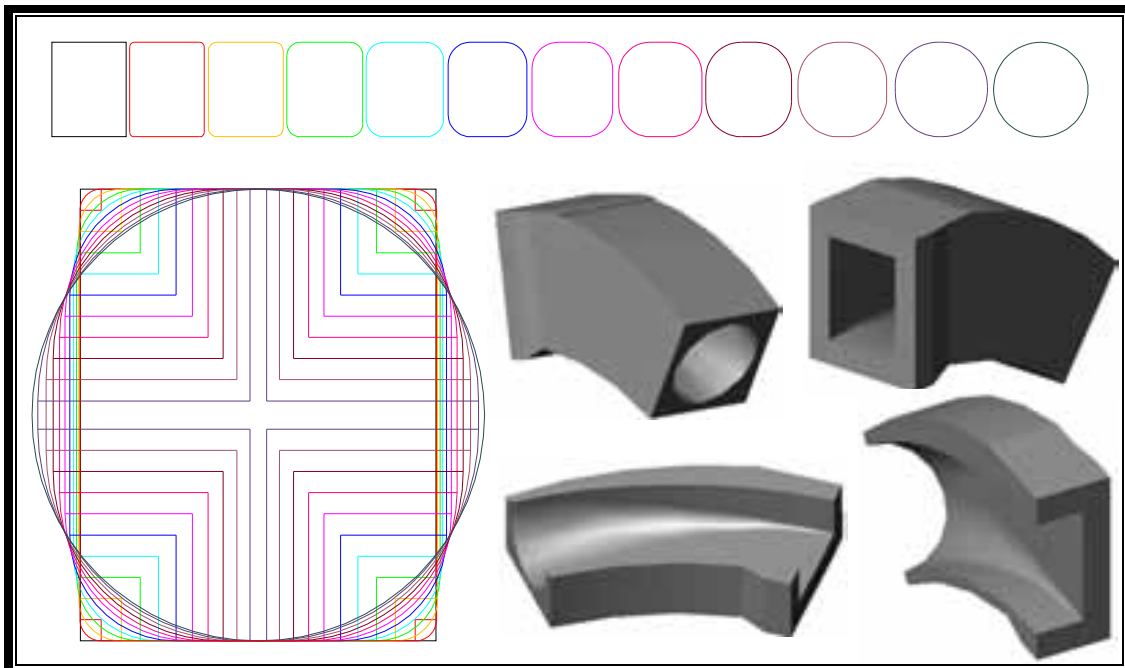


Figura 4.26. Trazo de la transición para el codo superior de las tuberías a presión 1 y 2.

4.4 Trabajos topográficos realizados en casa de máquinas, galería de oscilación,

4.4.1 Túnel de acceso a casa de máquinas

Para iniciar la excavación de éste túnel primeramente se localizó topográficamente el centro de línea del túnel de acceso definido por los puntos coordenados A B y C, colocando varias referencias sobre el perfil del terreno natural a lo largo del centro de línea del túnel partiendo de las mojoneras de apoyo. El túnel inicia en el punto A con sección portal de 11.20 m de ancho por 11.50 m de altura en el cadenamamiento 0+000.00 y a la elevación 244.80 (NPT)¹, con azimut de $321^{\circ}18'22.73''$ y rumbo de $N38^{\circ}41'37.27''W$ con pendiente de $s=0.0913$ descendente hasta el punto C que inicia una curva horizontal PC1 0+046.675 a la elevación 241.43 y PT1 0+082.024 a la elevación 238.21 con datos curva: $\Delta = 66^{\circ}54'00''$, $ST = 20m$, $Lc = 35.35m$, $R = 30.27m$ (punto D). Continúa una recta hasta el punto I de 120.21 m de longitud y un rumbo de $N28^{\circ}12'22.73''E$ con $s=0.0576$ de pendiente; a partir del punto I se excavaron dos túneles, uno hacia casa de máquinas y otro como túnel auxiliar que llega a las conducciones a presión 1 y 2.

Del punto I-J' inicia una segunda curva horizontal, PC2 0+202.234 a la elevación 230 (NPT)¹ y PT2 0+229.373 a la elevación 228.38 (NPT)¹. El punto J se sitúa al centro de la segunda curva (PI) y es la entrada al túnel de acceso a casa de máquinas con datos curva $\Delta = 62^{\circ}11'49.91''$, $ST = 15.08m$, $Lc = 27.14m$, $R = 25m$, continúa una recta hasta el punto K a la elevación 227.04 (NPT)¹ con rumbo de $N55^{\circ}59'55.65''W$ e inicia una tercera curva horizontal PC3 0+251.083 y PT3 0+290.353 a la elevación 254.60 (NPT)¹ que llega a casa de máquinas en el punto L a la elevación 224.60 (NPT)¹ y en el cadenamamiento PT3 0+290.353, (ver plano CD H038 PL 002 02).



Fotografía 22. Entrada a casa de máquinas.



Fotografía 23. Túnel de acceso a casa de máquinas.

Durante la excavación de dicho túnel se fueron marcando cadenamamientos y elevaciones para el control topográfico con referencias los avances, además se obtuvieron las secciones transversales de cada estación para cuantificar el avance de la obra y verificar la sobreexcavación o bajoexcavación.

¹Las elevaciones están dadas a nivel de piso terminado.

Las coordenadas que definen el eje del túnel de acceso a casa de máquinas son las siguientes coordenadas:

PUNTO	COORDENADAS UTM		
	X	Y	Z
J	556,707.537	2,369,468.040	229.17
J'	556,703.354	2,369,479.907	228.38
K	556,691.217	2,369,497.908	227.04
L	556,656.512	2,369,504.659	224.60

Es importante mencionar que a medida que fue avanzando la excavación del túnel se fue llevando la poligonal abierta sobre el centro de línea del mismo a base de placas de acero empotradas en el piso punteadas con punzón. Estas placas se empotraron con una varilla corrugada para colocarse sobre un barreno y se resanaba con mortero cemento – arena posteriormente para el punteado de la placa se verificaba las coordenadas de la misma con la Estación Total.

4.4.2 Excavación en casa de máquinas

La bóveda de la caverna de casa de máquinas se excavó en dos partes; la primera llamada sección central consistió en localizar el centro de línea de casa de máquinas definido por los puntos coordenados G20 y G21, dicho eje se localizó a partir de la poligonal abierta que se tenía por el centro de línea del túnel de acceso a casa de máquinas, una vez que se trazaba el centro de línea de casa de máquinas se medían 12 m a ambos lados para tener un ancho de 24 m en la sección central, en seguida se procedía a marcar una línea horizontal a un nivel de referencia que generalmente fue un metro arriba del piso elevación 233.45, sobre la línea se marcaban cadenamientos a cada metro a partir del centro de línea de casa de máquinas hacia ambos lados y sobre cada cadenamiento se medía la ordenada correspondiente previamente calculada en gabinete y de ésta forma trazar la curva central de $R=16.60$ m en su máxima abertura de $67^{\circ}29'52''$ sobre ambos lados, aguas arriba y aguas abajo, se excavó la parte complementaria después de marcar la configuración de la bóveda hasta los hombros elevación 242.203 y marcando la altura máxima de la bóveda a la elevación 244.85.

Una vez terminada la excavación de la bóveda a todo lo largo de la casa de máquinas, se continuó con la excavación por etapas de banquetes de 6 m de espesor, (ver figura 4.28). En dichas etapas se puso especial atención en la alineación y barrenación para los precortes de los paños aguas arriba, aguas abajo y tímpanos norte y sur. Las secciones de las excavaciones para cada estación se representan por tres líneas: la línea de excavación, la línea de proyecto y la línea de tolerancia. La línea de excavación es considerada en el diseño para determinar las secciones de proyecto, por lo tanto la excavación y el banquete no deberán sobresalir la línea de excavación, ver secciones en la figura 4.27.

La línea de proyecto es la línea calculada con sus respectivas áreas para cada sección, y la línea de tolerancia es la línea teórica que define las áreas con que se estimarán las secciones tanto de excavación como de los recubrimientos de concreto – roca en su caso.

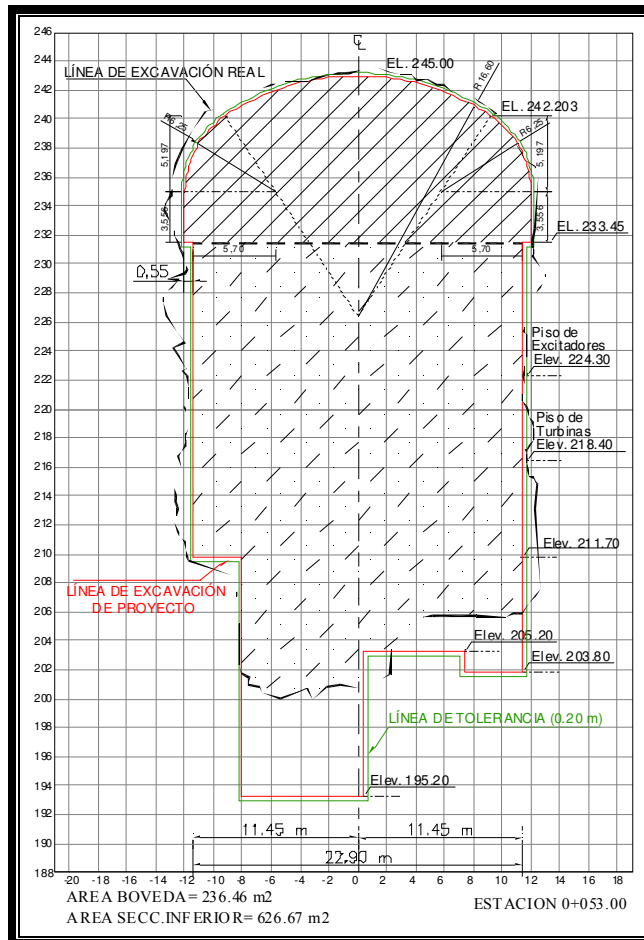
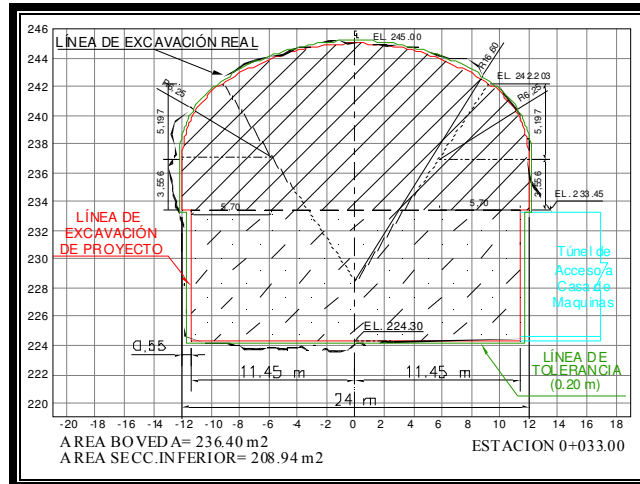


Figura 4.27. Excavación en bóveda y caverna en Casa de Máquina.

En las excavaciones subterráneas, la línea de tolerancia es la línea teórica que define las áreas a partir de las cuales, por problemas de orden geológico no imputables al Contratista, se consideran caídos o derrumbes, los cuales están definidos en los alcances del precio unitario que por este concepto se cotizará por separado. La separación entre la línea de proyecto y la línea de tolerancia es de 20 cm en las secciones de túnel, pozos, lumbreras o cavernas, donde no se requiere soporte con marcos metálicos y de 40 cm en las secciones de túnel, pozos, lumbreras o cavernas, donde se requiera la instalación de soporte con marcos metálicos

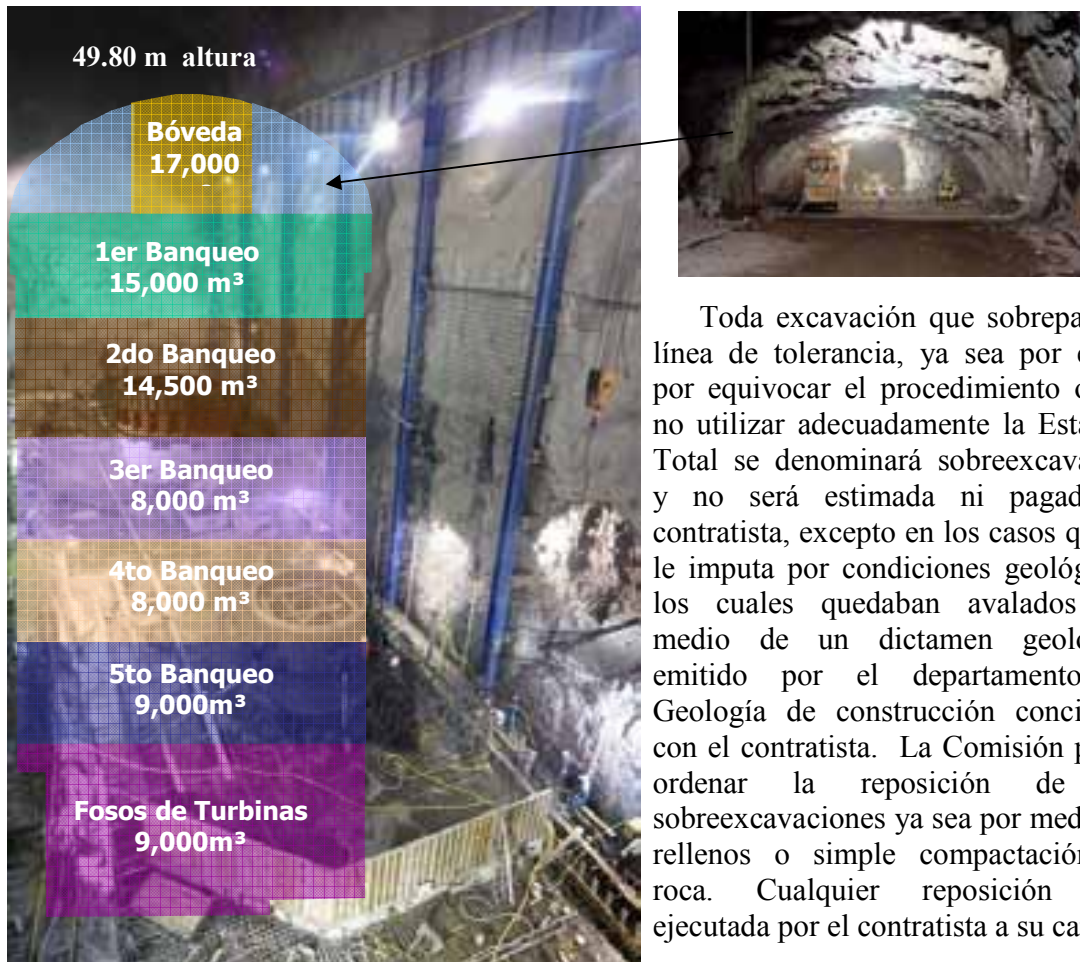


Figura 4.28. Casa de Máquinas (Excavaciones, Vol.=80,500 m³).

Toda excavación que sobrepase la línea de tolerancia, ya sea por error, por equivocación o por no utilizar adecuadamente la Estación Total se denominará sobreexcavación y no será estimada ni pagada al contratista, excepto en los casos que se le imputa por condiciones geológicas, los cuales quedaban avalados por medio de un dictamen geológico emitido por el departamento de Geología de construcción conciliado con el contratista. La Comisión podrá ordenar la reposición de las sobreexcavaciones ya sea por medio de rellenos o simple compactación en roca. Cualquier reposición será ejecutada por el contratista a su cargo.

Durante toda la etapa de excavación (figura 4.27), fue muy importante la función de la topografía ya que se mantuvo bien referenciado todos los frentes con cadenamios y elevaciones con respecto al nivel del mar para ubicar con facilidad por ejemplo; las fallas geológicas que se presentaban en los tímpanos y muros, las líneas de anclaje de fricción para el soporte de roca; ubicación de las unidades de las turbinas generadoras; lumbreras de buses, de cables y de ventilación.

4.4.3 Galería de inspección, galería intermedia y piso de turbina auxiliar

Al iniciar la colocación de concreto en casa de máquinas se estableció el centro de línea de unidades como eje principal, de control topográfico colocando placas punteadas con su respectivo cadenamiento en los diferentes niveles a todo lo largo de casa de máquinas, se potó por dicho eje ya que en función de éste estarían referidos los trazos tanto de la obra civil como de la obra electromecánica ya que ambos se complementaban, conforme fue avanzando la construcción fueron actualizando las referencias sobre el centro de línea de unidades. Las coordenadas en UTM y locales, que definen el eje de unidades de las dos turbinas generadoras en casa de máquinas son las siguientes:

UNIDAD	COORDENADAS UTM		COORDENADAS LOCALES ¹	
	X	Y	X	Y
1	556631.371	2369526.241	2.70	60.95
2	556615.329	2369550.039	2.70	89.65

Después de terminar con los banqueos y la excavación en casa de máquinas se procede a marcar los límites y niveles para los detalles y geometría de la galería de inspección que inicia en la elevación 205.50 y del piso de la galería intermedia que termina en la elevación 208.76, así como también en la colocación y alineación de vigas metálicas que inició desde la bóveda de casa de máquinas durante el período de banqueos por etapas (fotografía 25).



Fotografía 24. Colocación de canaleta para drenaje.



Fotografía 25. Colocación de refuerzo de acero y cimbra para el colado del muro aguas abajo en Casa de máquinas.

¹Las coordenadas locales son con respecto al eje de casa de máquinas.

En cada una de las columnas metálicas de color azul (fotografía 25), que sostienen a la grúa viajera y que están instaladas en los muros aguas arriba y aguas abajo en casa de máquinas, a los lados de las vigas, se marcaron ejes o el centro de las mismas que marcan el límite de paño de concreto de dichos muros, se continúa con los trabajos de revestimiento en concreto en muros y tímpanos de casa de máquinas.

También se marcaron niveles con varillas de acero y pintura, para la colocación de refuerzo de acero de la canaleta de drenaje, primero se marcaron dos puntos para el centro y alineación de la tubería, posteriormente se marcaron con pintura para la elevación del refuerzo de acero y del piso que cubrirá la canaleta durante el colado de concreto, así como también en el montaje de la tubería de alimentación de la turbina auxiliar (fotografía 24). Se marcaron también cadenamientos y elevaciones en galerías: de inspección, de drenaje, de descarga de turbina auxiliar y para acceso a cárcamo, tubería de descarga de turbina auxiliar. También se marcaron niveles o palomas en vigas metálicas que sirve de soporte de la grúa viajera, para la nivelación de los pisos antes y después de colar a distintas elevaciones. Ver plano CD-H034-PL-001-04 en apéndices.

En la zona de las unidades de las turbinas se marcaron puntos para la colocación de anclas de fricción para el armado de refuerzo de acero; así como los detalles de cada unidad como pasillos de acceso, escaleras hacia galerías, base para la colocación del antedistribuidor de la carcasa, etc. En la siguiente figura se muestra la geometría y detalles en la zona de galerías de la unidad 1 de casa de máquinas de la elevación 206.21 a la elevación 209.30.

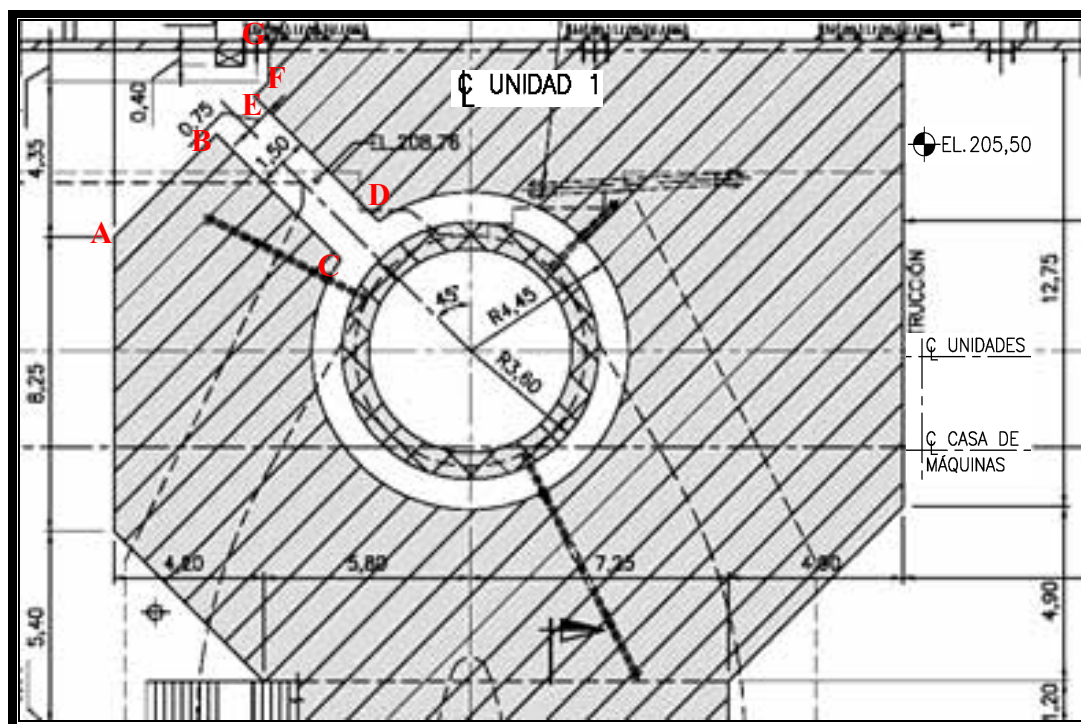


Figura 4.29. Planta de la unidad 1 en la zona de galerías de casa de máquinas.

El Ing. Topógrafo debe proyectar cada uno de los detalles del arreglo general de casa de máquinas por construir tal como se planeó y se diseñó en los planos. En la figura anterior se observa que las letras de color rojo fueron calculadas por el Ing. Topógrafo ya que en los planos carecen de medidas bien definidas, sobretodo, en las medidas diagonales que son indispensables para completar la geometría del piso a la elevación 208.76, que es el piso de la galería intermedia (zona sombreada, ver figura 4.28). Para el acceso al pasillo de la unidad 1 y tomando en cuenta los datos de proyecto mostrado en la figura 4.29, se calcularon las coordenadas de los puntos A B C D E F G. A continuación, como ejemplo, se muestra el procedimiento para el cálculo de coordenadas de los puntos C y D:

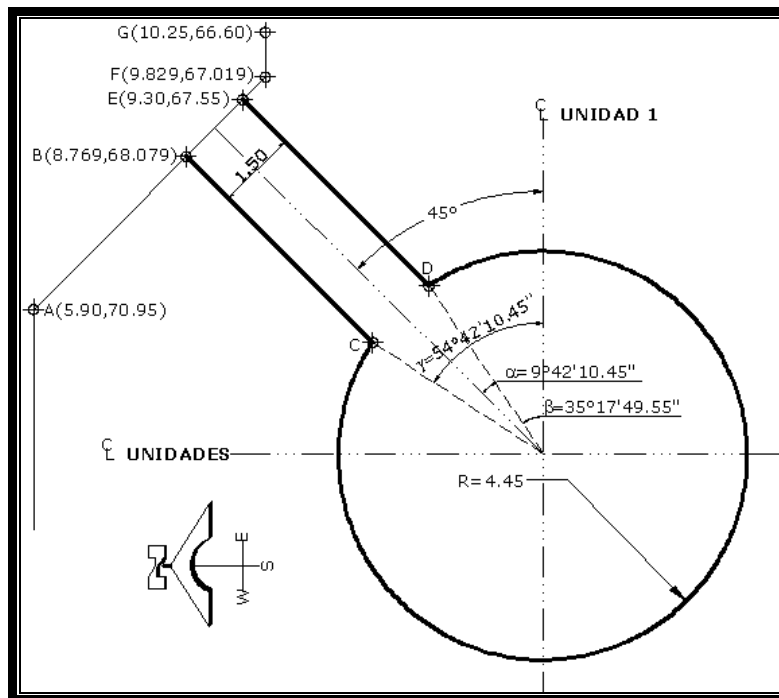


Figura 4.30. Planta de acceso al pasillo de la unidad 1 a la elevación 208.76.

$$\text{sen } \alpha = \frac{0.75}{4.45} \Rightarrow \alpha = 9^{\circ}42'10.45'' \quad \text{Coordenadas de la Unidad 1} \begin{cases} X = 2.70 \\ Y = 60.95 \end{cases}$$

$$\beta = 45^{\circ} - \alpha = 35^{\circ}17'49.55''$$

$$\text{Proyección del punto D} \begin{cases} Dx = R \text{sen } \beta = 2.56 \\ Dy = R \cos \beta = 3.64 \end{cases} \quad \text{Coords. de D} \begin{cases} X = Dy + 2.70 = 6.34 \\ Y = Dx + 60.95 = 63.51 \end{cases}$$

$$\text{Si } \gamma = 45^{\circ} + \beta = 54^{\circ}42'10.45''$$

$$\text{Proyección del punto C} \begin{cases} Cx = R \text{sen } \gamma = 3.62 \\ Cy = R \cos \gamma = 2.59 \end{cases} \quad \text{Coords. de C} \begin{cases} X = Cy + 2.70 = 5.29 \\ Y = Cx + 60.95 = 64.57 \end{cases}$$

También se colocó el blindaje de acero que conduce hacia la tubería de aspiración, alrededor de dicho blindaje se colocaron anclas de fricción a diferentes radios de separación, que sirven de soporte del armado circular de refuerzo de acero, y posteriormente se inician los trabajos de colocación de concreto hidráulico. Con la Estación Total se marcaron puntos con pintura para colocar anclas de fricción en el piso a un radio variable y al mismo tiempo se marcaron también con pintura la elevación en las anclas para colocar la varilla corrugada, de forma semicircular sobre dichas anclas, empleando la ecuación de la distancia entre dos puntos:

$$R = \sqrt{(X' - X)^2 + (Y' - Y)^2} \quad (4.2)$$

donde:

$$X' \ Y' \text{ coordenadas del centro de la unidad 1} \begin{cases} X' = 2.70 \\ Y' = 60.95 \end{cases}$$

X Y coordenadas medidas con la Estación Total y R radio del refuerzo de acero.

Conociendo las coordenadas del centro de la Unidad 1 de la turbina y la elevación que se desea colocar la varilla circular, se coloca el prisma en cualquier punto del círculo, por ejemplo, con la Estación Total obtenemos las coordenadas X Y Z del prisma colocado y se checa el radio de este punto con las coordenadas y elevación del proyecto (Unidad 1) con la fórmula anterior, en caso de que el radio no coincide entonces se mueve el prisma ya sea en X o en Y, de tal manera que la distancia o el radio calculado entre estos dos puntos resulte el valor del radio que se pide en el proyecto y al mismo tiempo se checa la elevación de la varilla circular. En la fotografía 26 se observa la colocación y chequeo del refuerzo de acero de forma circular con un talud de 0.5:1, o sea, el radio de la varilla aumenta de arriba a abajo; que rodea el blindaje de acero de la boca de la tubería de aspiración de la unidad 2.



Fotografía 26. Colocación de varilla para el antedistribuidor de la unidad 2.

Una vez colocado el refuerzo de acero de la unidad de la turbina y el refuerzo de acero del piso de la galería intermedia, se procede a colocar la cimbra, también es necesario checar la cimbra que cumpla con el espesor del colado de concreto y que queden bien alineadas dichas cimbras verticalmente como horizontalmente.

En la siguiente fotografía se observa el colado en concreto del piso de la galería intermedia a la elevación 208.76 y de la base circular truncada de 2 metros de altura, que a su vez sirve de apoyo del antedistribuidor de la carcasa de las unidades de las turbinas generadoras (ver también figura 4.31).



Fotografía 27. Vista de los acabados en concreto del piso de la galería intermedia y de la base del antedistribuidor de la unidad 2 de casa de máquinas.

Una vez terminado con el colado del piso de la galería intermedia, se realizan los trabajos de colocación de piezas electromecánicas. En este caso se colocó el antedistribuidor de blindaje de acero, con una grúa viajera, en la base del mismo mostrada en la fotografía anterior. Después se colocan otras piezas alrededor del antedistribuidor hasta formar una carcasa espiral que servirá de entrada del flujo de agua proveniente de la tubería a presión 2 que se encarga de mover la turbina hidráulica para después expulsar dicho flujo de agua hacia la tubería de aspiración 2. En la fotografía 28 se muestra el antedistribuidor por colocar en la base de tal manera que quede bien alineado a dicha base para posteriormente se realizan los trabajos de soldado; a la derecha del antedistribuidor y al fondo, se muestra la salida de la tubería a presión 2 que conectará a la carcasa de la misma tubería.



Fotografía 28. Vista del antedistribuidor de la carcasa de la unidad 2 y de la tubería a presión 2.

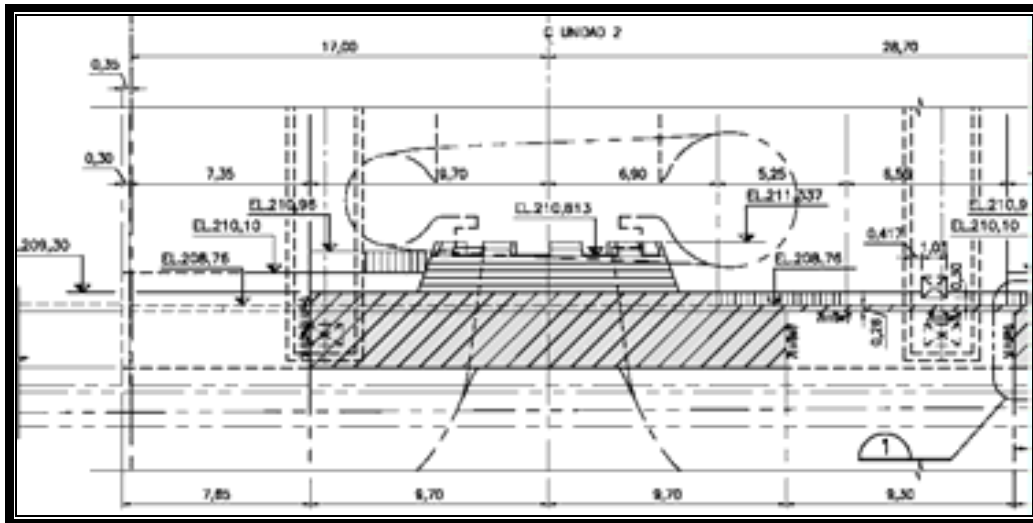


Figura 4.31. Corte transversal por el eje de unidades en casa de máquinas.

Después se realizan los trabajos de montaje de la carcasa espiral – antedistribuidor y se coloca un tapón cónico en la carcasa espiral, como parte de los preparativos de la prueba hidrostática. En las fotografías 6, 7 y 29 se muestran el montaje de piezas de la carcasa espiral de la unidad 2 y en la unidad 1 se continúa con los trabajos de montaje de carcasa – antedistribuidor (ver plano CD-H034-PL-001-04). Una vez terminado con los trabajos de montaje de la carcasa se procede a colocar el refuerzo de acero y cimbra para el colado de las bases del generador, a la elevación 218.40 ms.n.m.



Fotografía 29. Montaje de la carcasa de la unidad 2.



Figura 4.32. Carcasas de las conducciones a presión 1 y 2.

Las siguientes coordenadas se emplearon para la construcción de casa de máquinas tanto en la colocación de acero de refuerzo y chequeo de las cimbras como el colado de muros, tímpanos, pisos, galerías, tuberías de alimentación, canaletas, y todos los elementos geométricos y detalles que se requieren para el montaje de piezas electromecánicas para el colado del piso de la galería intermedia y del piso de las turbinas auxiliar en casa de máquinas:

PUNTO	COORDENADAS UTM		
	X	Y	Z
CM-1	556,609.206	2,369,537.054	209.74
CM-2	556,625.246	2,369,513.254	209.30
CM-3	556,605.139	2,369,543.227	212.04
CM-4	556,621.308	2,369,519.515	212.60

A continuación se presentan las coordenadas del centro de línea de las unidades definidos por los puntos coordenados G3 y G7, también de los puntos coordenados G2 y G6 que forman parte del eje de las tuberías a presión 1 y 2 respectivamente, e intersectan con el eje o centro de línea de unidades (ver figura 4.33). Dicho eje sirvió para checar el centro de línea de casa de máquinas que se encuentra a 2.70 m hacia el muro aguas arriba y paralelamente al eje de casa de máquinas.

PUNTO	COORDENADAS UTM	
	NORTE (X)	NORTE (Y)
G-2	556,635.500	2,369,520.170
G-3	556,631.368	2,369,526.299
G-6	556,619.455	2,369,543.966
G-7	556,615.323	2,369,550.095

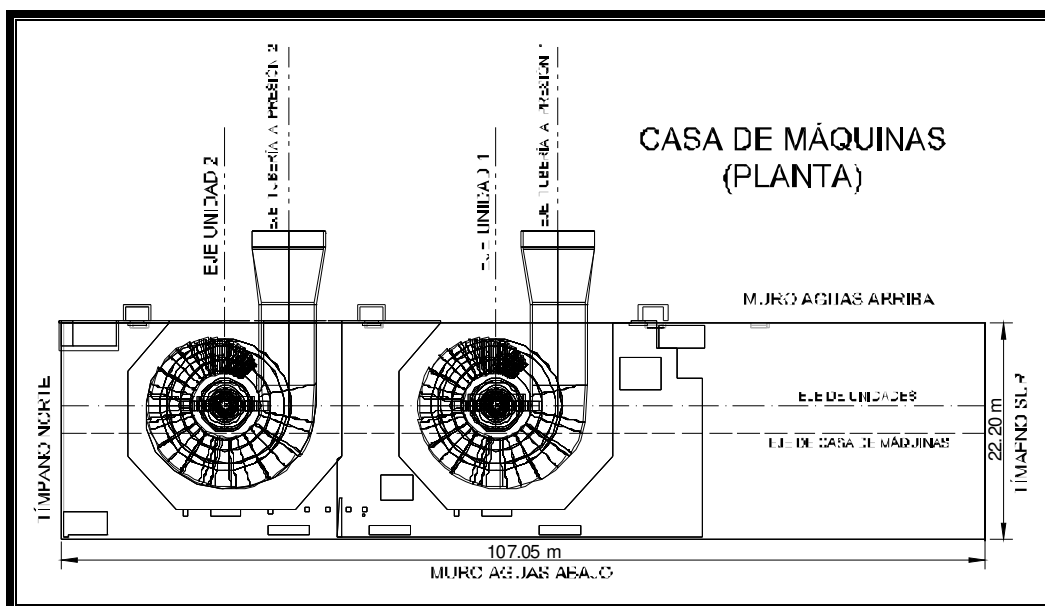


Figura 4.33. Planta y principales ejes o centro de líneas en Casa de Máquinas.

4.4.4 Cálculo de áreas en bóvedas subterráneas

Cuando las curvas son de carácter tan definido que lo justifiquen, la superficie o el área se puede calcular con mayor precisión, suponiendo que la curva está formado de arcos de parábolas. En este caso emplearemos la regla de Simpson:

La *Regla de Simpson de 1/3* proporciona una aproximación más precisa, ya que consiste en conectar grupos sucesivos de tres puntos sobre la curva mediante parábolas de segundo grado, y sumar las áreas bajo las parábolas para obtener el área aproximada bajo la curva. Por ejemplo, el área contenida en dos fajas, bajo la curva $f(X)$ en la figura 4.34, se aproxima mediante el área sombreada bajo una parábola que pasa por los tres puntos:

$$\begin{aligned} &(X_i, Y_i) \\ &(X_{i+1}, Y_{i+1}) \\ &(X_{i+2}, Y_{i+2}) \end{aligned}$$

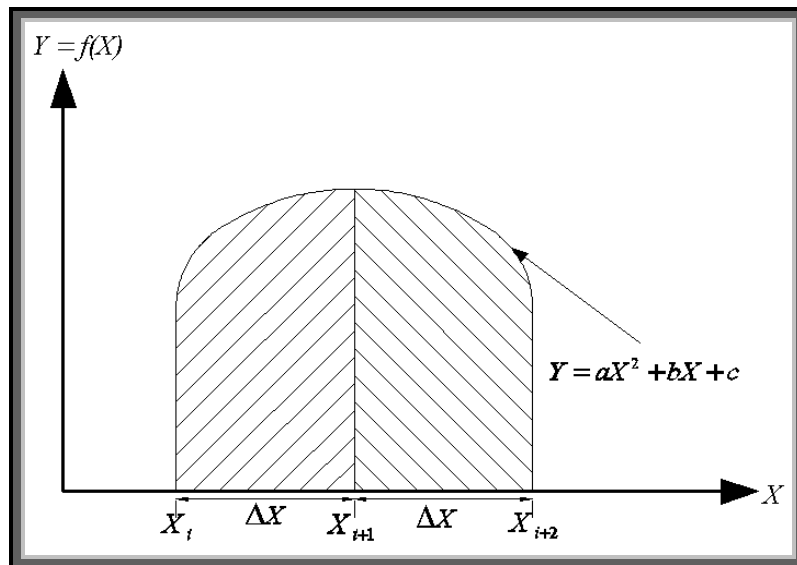


Figura 4.34. Ecuación de la parábola de segundo grado.

Por conveniencia al derivar una expresión para esta área, supongamos que las dos fajas que comprenden el área bajo la parábola se encuentran en lados opuestos del origen, como se muestra en la figura 4.35, este arreglo no afecta la generalidad de la derivación. La forma general de la ecuación de la parábola de segundo grado que conecta los tres puntos es:

$$Y = aX^2 + bX + c \tag{4.5}$$

La integración de la ecuación (4.5) desde $-\Delta X$ hasta ΔX proporciona el área contenida en las dos fajas mostradas bajo la parábola. Por lo tanto:

$$\int_{-\Delta X}^{\Delta X} (aX^2 + bX + c)dX = \left[\frac{aX^3}{3} + \frac{bX^2}{2} + cX \right]_{-\Delta X}^{\Delta X} \quad (4.6)$$

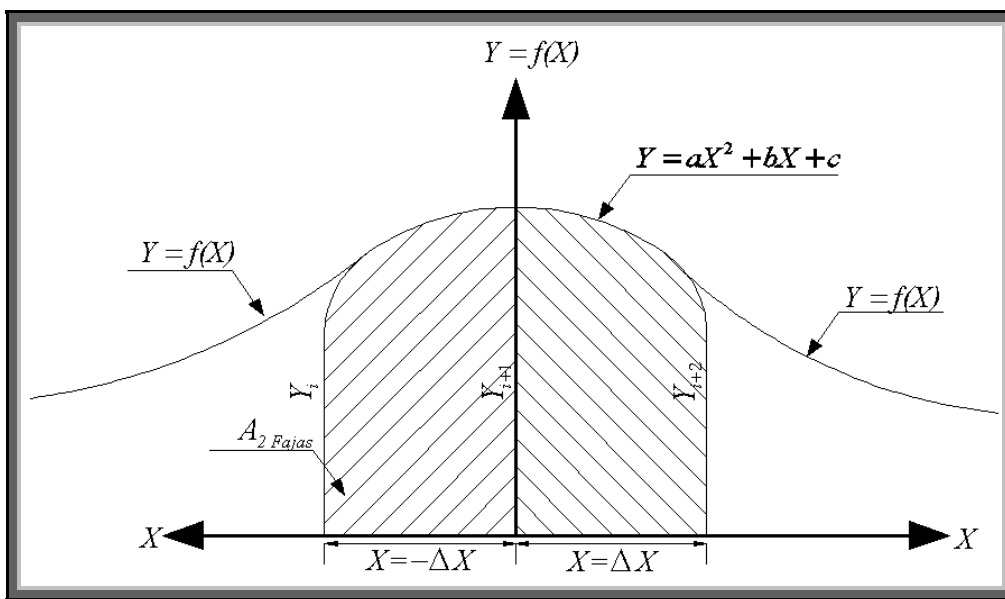


Figura 4.35. Ecuación de la parábola de segundo grado.

La sustitución de los límites en la ecuación (4.6) produce:

$$A_{2FAJAS} = \frac{2}{3}a(\Delta X)^3 + 2c(\Delta X) \quad (4.7)$$

Las constantes a y c se pueden determinar sabiendo que los puntos $(-\Delta X, Y_i)$, $(0, Y_{i+1})$, y $(\Delta X, Y_{i+2})$ deben satisfacer la ecuación (4.5). La sustitución de estos tres pares de coordenadas en la ecuación (4.5) produce:

$$\begin{aligned} Y_i &= a(-\Delta X)^2 + b(-\Delta X) + c \\ Y_{i+1} &= c \\ Y_{i+2} &= a(\Delta X)^2 + b(\Delta X) + c \end{aligned} \quad (4.8)$$

La solución simultánea de estas ecuaciones para determinar las constantes a , b , c , nos lleva a:

$$\begin{aligned} a &= \frac{Y_i - 2Y_{i+1} + Y_{i+2}}{2(\Delta X)^2} \\ b &= \frac{Y_{i+2} - Y_i}{2\Delta X} \\ c &= Y_{i+1} \end{aligned} \tag{4.9}$$

La sustitución de la primera y tercera partes de la ecuación (4.9) en la ecuación (4.7) produce:

$$A_{2FAJAS} = \frac{\Delta X}{3}(Y_i + 4Y_{i+1} + Y_{i+2}) \tag{4.10}$$

que nos da el área en función de tres ordenadas Y_i , Y_{i+1} , Y_{i+2} y el ancho ΔX de una faja.

Esto constituye la regla de Simpson para determinar el área aproximada bajo una curva contenida en dos fajas de igual ancho. Si el área bajo una curva entre dos valores de X se divide en n fajas uniformes (n par), la aplicación de la ecuación (4.10) muestra que:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{\Delta X}{3}(Y_1 + 4Y_2 + Y_3) \\ A_2 &= \frac{\Delta X}{3}(Y_3 + 4Y_4 + Y_5) \\ &\dots\dots\dots \\ A_{n/2} &= \frac{\Delta X}{3}(Y_{n-1} + 4Y_n + Y_{n+1}) \end{aligned} \tag{4.11}$$

Sumando estas áreas, podemos escribir:

$$\int_{X_1=0}^{X_{n+1}} f(X)dX = \sum_{i=1}^{n/2} A_i = \frac{\Delta X}{3}(Y_1 + 4Y_2 + 2Y_3 + 4Y_4 + 2Y_5 + \dots + 2Y_{n-1} + 4Y_n + Y_{n+1}) \tag{4.12}$$

o bien

$$\int_{X_1=0}^{X_{n+1}} f(X)dX = \sum_{i=1}^{n/2} A_i = \frac{\Delta X}{3} \left(Y_1 + 4 \sum_{i=1}^{n/2} Y_{2i} + 2 \sum_{i=1}^{(n-2)/2} Y_{2i+1} + Y_{n+1} \right) \quad (4.13)$$

en donde n es par.

La ecuación (4.13) se llama *Regla de Simpson de un Tercio* para determinar el área aproximada bajo una curva. Se puede utilizar cuando el área se divide en un número par de fajas de ancho ΔX . Si la función $f(X)$ se puede expresar como una función matemática continua que tiene derivadas continuas f' a f^{IV} , el error que resulta de aproximar el área verdadera de dos fajas bajo la curva $f(X)$ comprendida entre X_{i-1} y X_{i+1} mediante el área bajo una parábola de segundo grado, se demuestra que es:

$$E_T = -\frac{1}{90} f^{IV}(\xi)(\Delta X)^5 \quad X_{i-1} < \xi < X_{i+1} \quad (4.14)$$

Este error por truncamiento es la cantidad que se debe agregar al área aproximada de dos fajas, que se obtiene mediante la regla de *un tercio de Simpson*, para obtener el área real bajo la curva en ese intervalo. El término mostrado del error por truncamiento generalmente no se puede valorar en forma directa. Sin embargo, se puede obtener una buena estimación de su valor para cada intervalo de dos fajas suponiendo que f^{IV} es suficientemente constante en el intervalo (se supone que las derivadas de orden superior son despreciables) y valuando f^{IV} para $\xi = X_i$.

La estimación del error por truncamiento para toda la integración se obtiene sumando las estimaciones correspondientes a cada dos fajas. Si la estimación del error total por truncamiento es mayor de lo que se puede tolerar, se deben utilizar intervalos de dos fajas menores. Considerando el error por redondeo que también aparece, existe un ancho óptimo de la faja para obtener un error total mínimo en la integración.

Esta fórmula que es aplicable si el número de ordenadas es impar, se puede expresar por medio de la siguiente *Regla de Simpson*:

“la superficie buscada se obtiene multiplicando un tercio de la distancia común entre ordenadas por la suma total de las ordenadas extremas, el doble de la suma de las ordenadas intermedias nones y cuatro veces la suma de las ordenadas intermedias pares.”

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo de área de la bóveda mostrada en la siguiente figura en donde se aprecian los valores de las ordenadas y de la distancia de cada una de las fajas, aplicando la ecuación 4.13, desarrollamos esta fórmula para $n = 8$ que es el número de las áreas parciales:

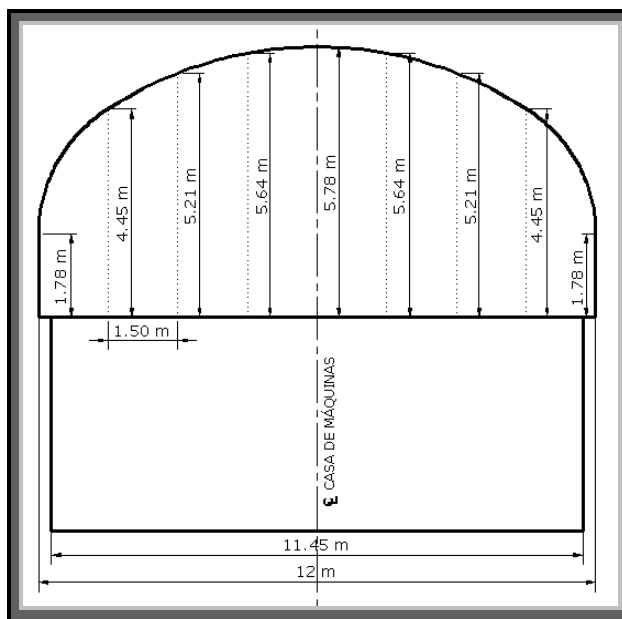


Figura 4.36. Determinación del área de la bóveda.

Para $n = 8$ y empleando la regla de Simpson de un tercio,

$$\int_{X_1=0}^{X_{n+1}} f(X) dX = \sum_{i=1}^{n/2} A_i = \frac{\Delta X}{3} \left(Y_1 + 4 \sum_{i=1}^{n/2} Y_{2i} + 2 \sum_{i=1}^{(n-2)/2} Y_{2i+1} + Y_{n+1} \right)$$

desarrollando la fórmula 4.13, tenemos que la sumatoria de las áreas parciales para $(n+1)$ intervalos, es:

$$\int_{X_1=0}^{X_{n+1}} f(X) dX = A = \frac{d}{3} [Y_1 + 4(Y_2 + Y_4 + Y_6 + Y_8) + 2(Y_3 + Y_5 + Y_7) + Y_9]$$

Sustituyendo los valores de las ordenadas y de la distancia en la expresión anterior, obtenemos el área total de la bóveda:

$$A = \frac{1.50}{3} [1.78 + 4(4.45 + 5.64 + 5.64 + 4.45) + 2(5.21 + 5.78 + 5.21) + 1.78] = 58.34 m^2$$

En este caso como la parábola es simétrica, lo correcto es calcular la mitad de la bóveda y al resultado del área se multiplica por dos para minimizar el tiempo de cálculo.

4.5 Trabajos topográficos realizados en galería de oscilación, túnel de desfogue y subestación eléctrica

4.5.1 Excavación en galería de oscilación

Las obras de generación se complementan con la galería de oscilación excavada en roca y revestida de concreto reforzado en paredes y con concreto lanzado en bóveda. Tiene comunicación con la casa de máquinas por medio de dos túneles de aspiración, en la galería de oscilación se alojan cuatro compuertas metálicas deslizantes accionadas con una grúa viajera para poder aislar cualquiera de las dos unidades principales y la unidad auxiliar, para su mantenimiento. La galería de oscilación se localiza aproximadamente a 90 metros de profundidad, tiene 67.3 m de largo por 16.6 m de ancho. La pared aguas arriba será interceptada por los túneles de aspiración y la galería de descarga de la unidad auxiliar. Por atrás de esta pared se localizan las galerías de buses. A 31 m aguas arriba de la pared se localiza la casa de máquinas, por lo que esta pared será parte del pilar de roca que separa ambas excavaciones. La pared aguas abajo será interceptada únicamente por el túnel de desfogue. El tímpano SE de la galería de oscilación será interceptado por el túnel de acceso a la bóveda de la misma galería.

El control topográfico de la excavación subterránea en galería de oscilación se ejecutó aprovechando los puntos existentes de la poligonal abierta llevada por el centro de túnel de acceso a casa de máquinas y a galería de oscilación que en varias ocasiones se verificaron desde los puntos coordenados que se tenían como apoyos principales. El procedimiento de excavación es parecido a la excavación realizada en casa de máquinas, para verificar la geometría de la excavación en la bóveda de la galería de oscilación se sacaron secciones radiales transversalmente con disco graduado a cada 10° y con la Estación total se medían distancias. La excavación de la galería se continuó por medio de banquetes de 5 metros de altura de donde primeramente se barrenaba para el precorte sobre las líneas de paños de muros o paredes aguas arriba, aguas abajo, tímpano norte y tímpano sur, dichas líneas eran marcadas o trazadas previamente por Ingenieros topógrafos y topógrafos auxiliares, dejando referencias marcadas en los muros como son: bancos de nivel y cadenamientos.

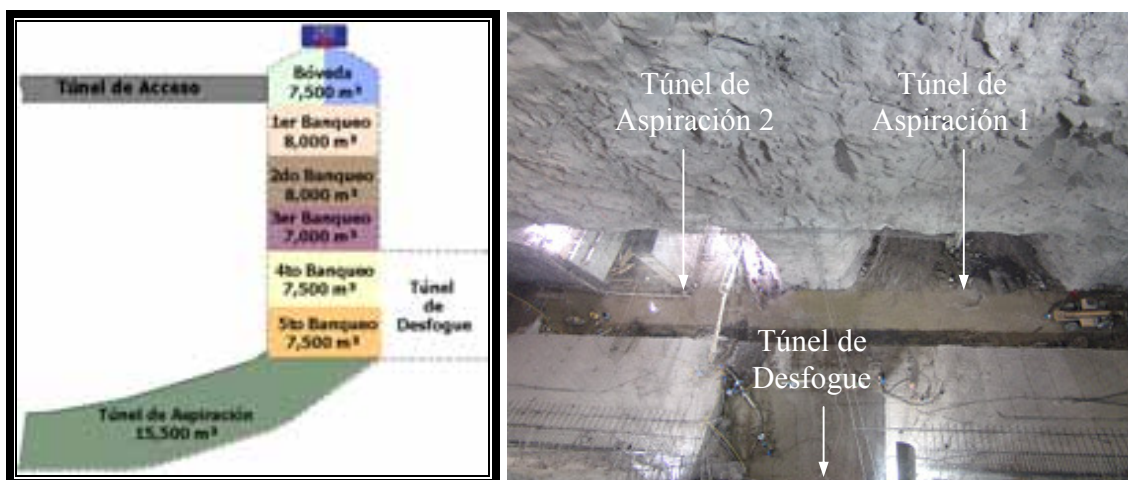


Figura 4.37. Banquetes en Galería de Oscilación. Fotografía 30. Vista desde arriba de la Gal. de Oscilación.

Después del rezagado de cada banqueo se procedía a seccionar los muros a cada 2 metros para verificar que la línea de excavación de proyecto quedara libre de peines y cuando éstos aparecían se marcaban para luego realizar cortes y retirarlos. Este procedimiento se conservó hasta llegar al 5^{to} banqueo a la elevación 212 (figura 4.37), en donde se definió el centro de línea de la galería de oscilación mediante placas de acero punteadas en cada una de las intersecciones entre los centros de línea de cada túnel de aspiración con el centro de línea de dicha galería, dichos puntos servirán posteriormente de apoyo para los trazos en los desplantes de los colados de los muros, tanto en la galería que se realizaron con cimbra deslizante como en los túneles de aspiración.

Por lo general uno de los requisitos para proceder a realizar un colado fue la verificación topográfica, ésta consistía en verificar cadenamientos, niveles, volúmenes, pendientes en pisos y losas, alineaciones de las estructuras de acero de las pilas en túneles de aspiración, plomeo de la cimbra en el muro aguas arriba y en el muro aguas abajo, así como también en tímpanos norte, y así, verificar los elementos fijos como fueron: placas de acero, anclas de fricción, tuberías en caso necesario, drenes en bóveda para evitar la filtración del agua, etc.

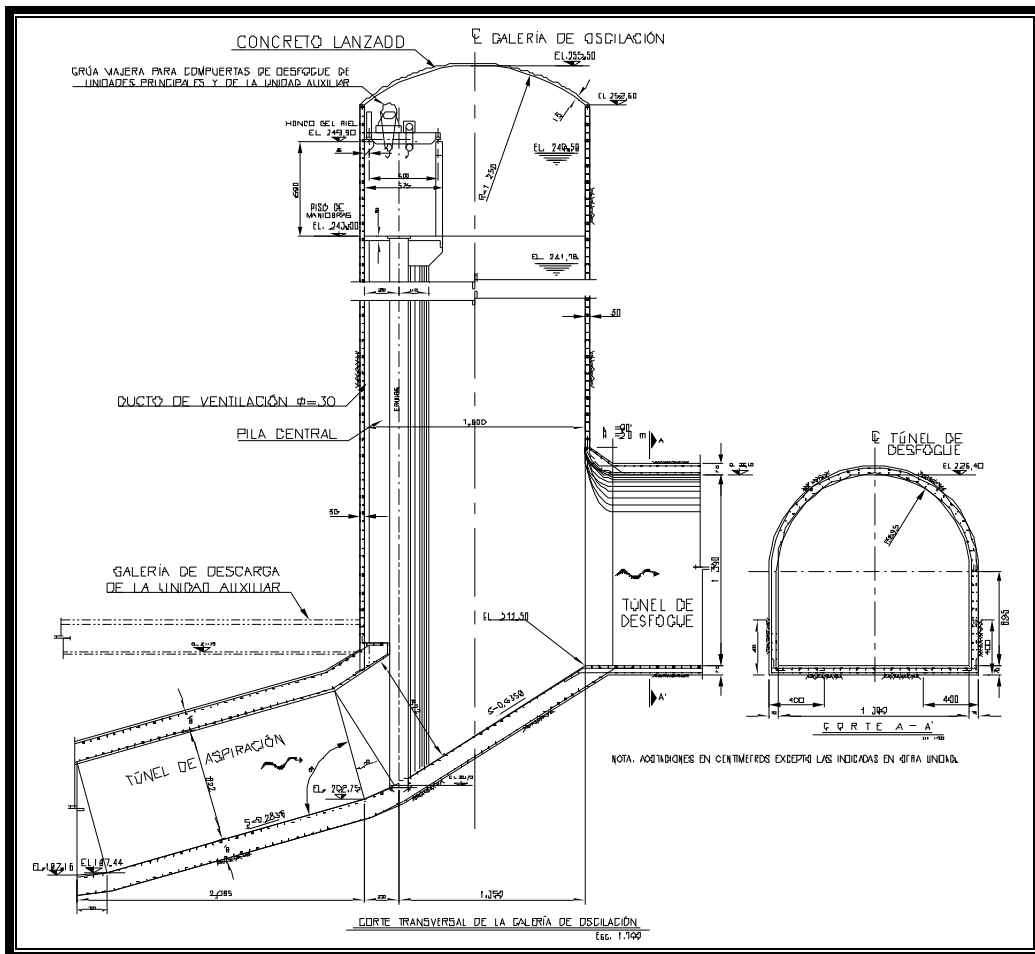


Figura 4.38. Corte transversal de la Galería de Oscilación, (arreglo general y secciones).

4.5.2 Excavación y colado en bóveda del túnel de desfogue

Después de la galería de oscilación, el agua turbinada se conduce al cauce del río por el túnel de desfogue revestido de concreto reforzado en plantilla y muros, y concreto lanzado en bóveda; trabajará como canal, con sección portal de arco rebajado con dimensiones de 14 x 14 m y una longitud de desarrollo de 310.33 m.

Para iniciar con los trabajos de excavación fue necesario trazar el centro de línea del túnel a partir de los puntos coordenados de apoyo principal el D1 y M, ya que se localizó y definió perfectamente el centro de línea del túnel, se procedió a sacar secciones de terreno natural en toda la zona del canal de salida del túnel de desfogue, para su excavación hasta el nivel 60 que se tenía programado para estar en condiciones de emportalar la salida del túnel en media sección superior.

El procedimiento de excavación fue el siguiente; primero se trazó media sección de la bóveda, del lado izquierdo en sentido del flujo, tanto aguas arriba como aguas abajo para su excavación, avanzando aproximadamente este lado 30 m para poder excavar la otra media sección de la bóveda del lado derecho en el sentido del flujo de agua y así se fue trazando cada media sección alternamente para cada tronada hasta terminar con la bóveda del túnel de desfogue.

Conforme fue avanzando la excavación de la bóveda se fueron sacando secciones transversales a cada dos metros para verificar que no quedaran peines y llevar el control topográfico del avance, al mismo tiempo se iban marcando cadenamientos a cada 10 metros y niveletas como referencias para la ubicación de anclas, malla de acero, concreto lanzado, etc.

Terminada la excavación de la bóveda, se procedió a replantear el trazo del centro de línea del túnel ligándolo con el centro de línea de la galería de oscilación y así cerrar la poligonal abierta llevada desde el portadle entrada del túnel de acceso a casa de máquinas. Hay que recordar que el portal de entrada del túnel de desfogue se ubica en el muro o pared aguas abajo de la galería de oscilación.

Parar continuar con la excavación a sección completa de proyecto de 14 x 14 m de portal del túnel se excavó en forma de rampa llegando al piso de proyecto y se continuó hacia aguas arriba mediante el banqueo de 8 m de altura. Antes de iniciar la barrenación para cada una de las tronadas, se realizó el trazo topográfico que consistía en marcar el nivel de piso. Se marcaba una línea horizontal de referencias por lo general a un metro arriba del nivel de piso de proyecto también se marcaban las líneas verticales de excavación. Al término de la excavación de la sección completa del túnel de desfogue se fueron actualizando las referencias sobre el centro de línea y los bancos de nivel que sirvieron para el control de los trabajos topográficos durante la etapa de colados.

Al término de la excavación de la sección completa del túnel de desfogue se fueron creando y actualizando las referencias sobre el centro de línea como son los puntos D-1, D-2, D-3, D-4, etc. y bancos de nivel que sirvieron para el control durante la etapa de colocación de refuerzo de acero y colados en muros y bóveda del túnel. Para el colado de la bóveda del túnel de desfogue se colocó una cimbra metálica con soportes de rieles de acero, el trabajo que les correspondía a las brigadas de topografía era alinear dicha cimbra con respecto al eje de trazo del túnel. Dicha alineación era laborioso porque era importante coordinarse con los operadores que se encargaban de mover la cimbra, ya sea, hacia arriba o hacia abajo, hacia atrás o hacia delante, o hacia a los lados; y en espera de las instrucciones del topógrafo o jefe de brigada. En las fotografías 31 y 32 se observa al fondo la cimbra metálica y lista para el colado de la bóveda después del alineamiento horizontal y vertical ejecutado por el topógrafo, hacia arriba se aprecia el avance del colado de dicha bóveda del mismo túnel. En las fotografías 33 y 34 se observan el revestimiento de concreto de la bóveda hacia la salida del túnel con destino al río aguas abajo, en la foto 34 y en la primera línea de colado de la bóveda (indicado con flecha), se observa que dicho colado no quedó liso, esto se debe que la cimbra no quedó bien alineada o en el momento de realizar los trabajos para el colado de dicha bóveda movieron la cimbra metálica sin sujetarla bien.



Fotografías 31 y32. Maniobras para la colocación de la cimbra y trabajos preliminares para el colado.



Fotografías 33 y 34. Revestimiento de concreto en muros y bóveda del túnel de desfogue.

En el portal de salida del túnel de desfogue, a los lados del portal se construirán muros de revestimiento de concreto hidráulico, por esta razón se tuvieron que marcar cortes en el talud rocoso para llevar a cabo la construcción de dichos muros. Se marcaron ceros para el talud derecho del portal de salida del mismo túnel, así como cortes inclinados para el talud de proyecto 1:1, (fotografías 35 y 36).

En la siguiente tabla se muestran los cálculos de taludes en la estación o cadenamamiento indicado y cortes verticales e inclinados para posteriormente se realicen los trabajos de colocación de anclas de fricción, refuerzo de acero en muros laterales (figuras 4.12 y 4.36) y concreto lanzado en taludes de ambas márgenes del portal de salida del túnel de desfogue.

Estación	Elev. Proyecto	Talud	Elev. T.N.	Corte Vertical	Dist. Cero	Dist.	Corte Inclinado
0 - 030	215.62	1:1	221.49	5.82	5.87	6.00	8.30
0 - 026	214.82	0.77	222.08	7.26	5.59	4.67	9.16
0 - 023	214.21	0.60	222.85	8.40	5.18	8.17	9.87
0 - 020	213.61	0.43	223.38	9.77	4.20	11.67	10.63
0 - 019	213.41	0.37	223.78	10.37	3.84	12.85	11.06
0 - 016	212.80	0.20	223.93	11.13	2.23	16.35	11.35

Estación	Elevación Proyecto	Distancia inclinada	Talud
0 - 012.5	212.100	20.434	0
0 - 013.0	212.201	19.850	0.029
0 - 014.0	212.402	18.683	0.086
0 - 015.0	212.603	17.515	0.143
0 - 016.0	212.805	16.347	0.200
0 - 017.0	213.006	15.180	0.257
0 - 018.0	213.207	14.012	0.314
0 - 019.0	213.408	12.848	0.371
0 - 020.0	213.609	11.677	0.429
0 - 021.0	213.810	10.509	0.486
0 - 022.0	214.012	9.341	0.543
0 - 023.0	214.213	8.174	0.600
0 - 024.0	214.414	7.006	0.657
0 - 025.0	214.615	5.838	0.714
0 - 026.0	214.816	4.671	0.771
0 - 027.0	215.018	3.503	0.829
0 - 028.0	215.219	2.335	0.886
0 - 029.0	215.420	1.168	0.943
0 - 030.0	215.621	0	1

Tablas 4.10 y 4.11. Datos para la ejecución del corte de talud variable en ambas márgenes del portal de salida.



Fotografía 35. Vista aguas abajo del portal de salida del túnel de desfogue.



Fotografía 36. Corte ejecutado en taludes de ambas márgenes del túnel de desfogue.

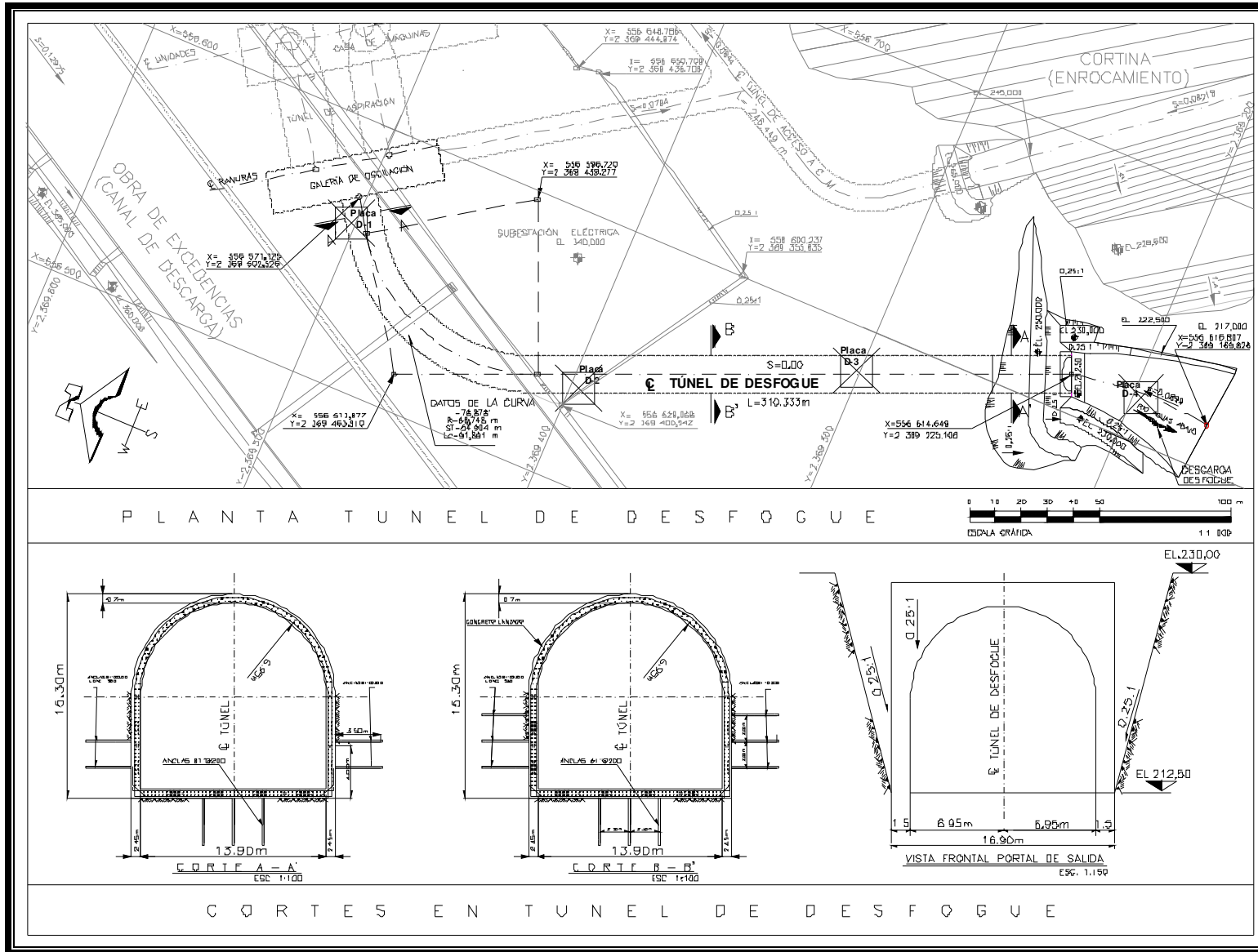


Figura 4.39. Ubicación de los puntos de control en túnel de desfogue.

Topográficamente el Túnel de Desfogue tiene la siguiente orientación: inicia en el cadenamiento 0+310.637 a la elevación 212.50 y a 20 metros por el mismo rumbo inicia una curva horizontal en el cadenamiento 0+290.637 con datos de la curva: $\Delta = 78^{\circ}52'40.8''$, $ST = 54.904m$, $Lc = 91.891m$, $R = 66.748m$ y termina en el cadenamiento 0+198.746 con pendiente $s=0$, continúa una recta hasta el portal de salida del túnel de desfogue en el cadenamiento 0-022.269 a la elevación 212.50 a la misma pendiente (ver plano en la figura 4.39).

Relación de coordenadas UTM y locales del túnel de desfogue:

PUNTO	COORDENADAS UTM		COORDENADAS LOCALES ²		Elevación
	X	Y	X	Y	
D-1	556,565.647	2,369,505.151	-4.858	307.574	211.795
D-2	556,546.725	2,369,386.150	-	-	212.500
D-3	556,581.813	2,369,302.900	-0.009	84.440	212.503
D-4	556,627.204	2,369,196.197	0.328	-31.516	215.338

Tabla 4.12. Coordenadas de los puntos de control para la colocación de refuerzo de acero y el colado en muros laterales y bóveda del túnel de desfogue.

4.5.3 Subestación eléctrica

La subestación eléctrica se ubica entre la cortina y la obra de excedencias en la margen derecha y arriba de la obra de generación; la obra civil consistirá en la excavación de una plataforma a la elevación 340 m.s.n.m. con cunetas en la zona de bermas en las elevaciones 352 y 363 m.s.n.m. con taludes de 0.5:1, ductos, lumbreras de cables y de buses, zona de transformadores, las estructuras mayores y su cimentación, cimentación de los equipos menores, cimentación de los reactores y equipos auxiliares y caseta de control, tanque separador aceite – agua, casetas de ventilación y la protección de seguridad física.

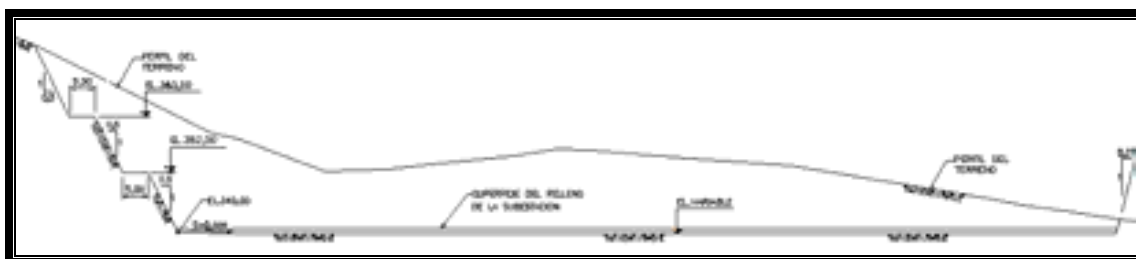


Figura 4.40. Sección del terreno natural donde se ubicará la subestación eléctrica.

²Las coordenadas locales son con respecto al eje del túnel de desfogue.

En las siguientes figuras se presentan la planta general y la distribución de áreas para transformadores, edificio de control, casetas de ventilación, etc.; que forman parte de la subestación eléctrica con área total en plataforma de 15,252 m² y 340 m de elevación.

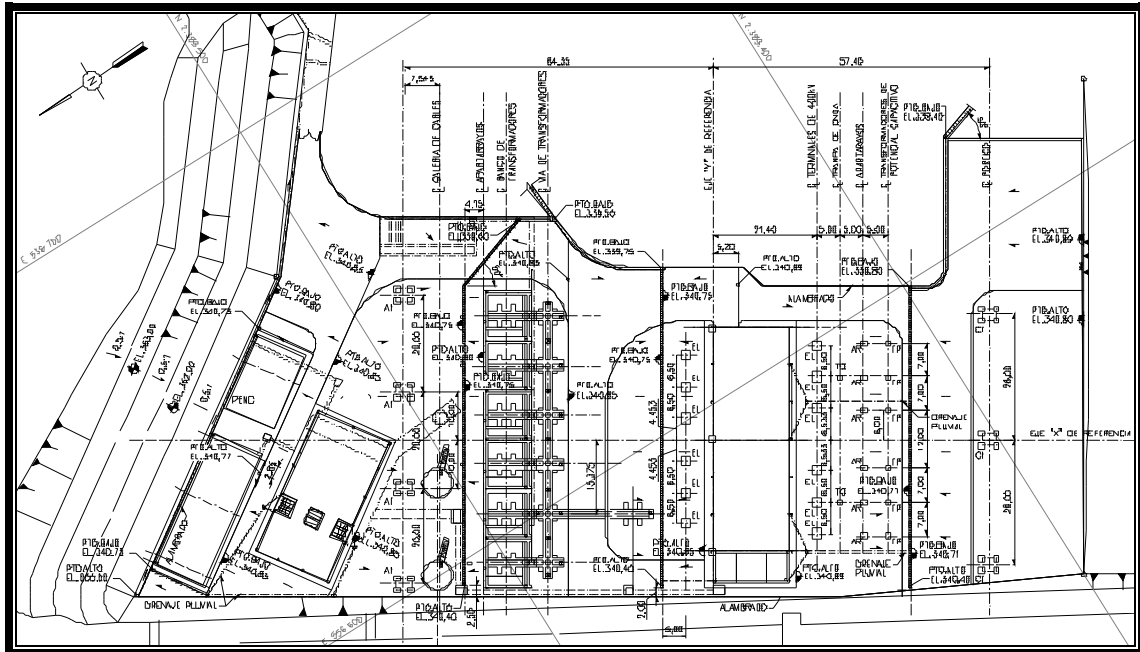


Figura 4.41. Planta general de la subestación eléctrica.

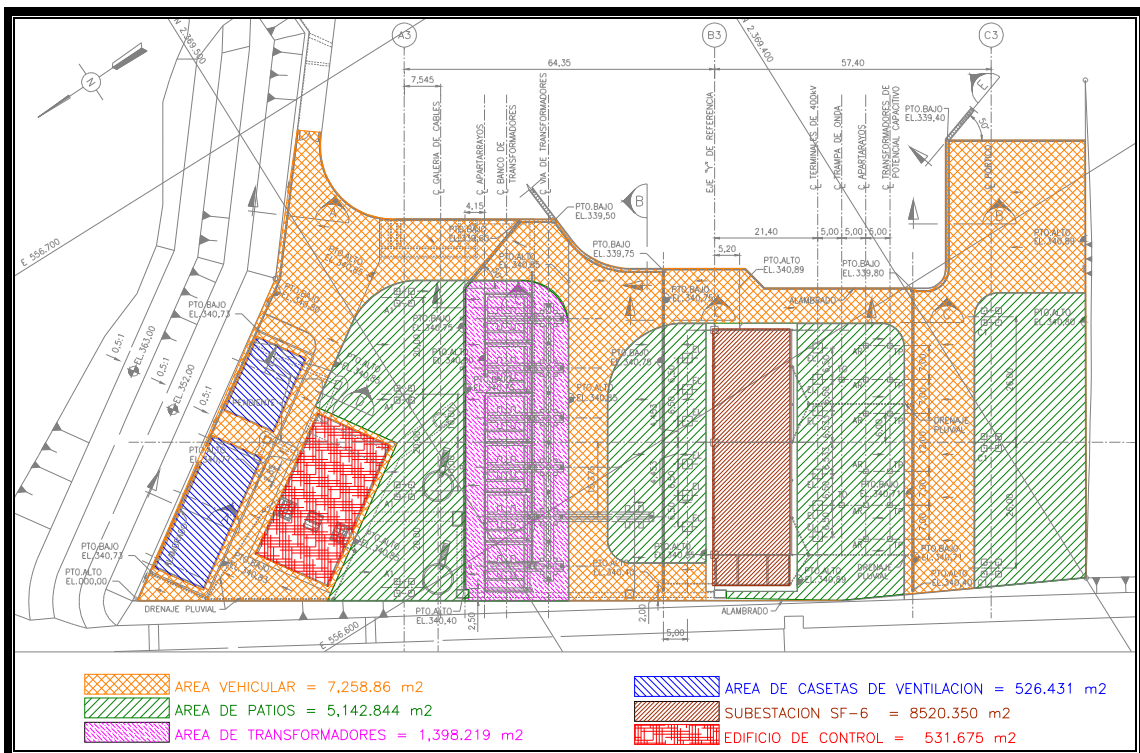


Figura 4.42. Distribución de áreas de las principales estructuras que conforman la subestación eléctrica.

Durante la excavación efectuada en la obra de excedencias y en la zona de la plataforma se marcaron cortes y terraplén para el relleno de diferentes materiales para su compactación para la elevación de promedio de la plataforma de 340 m. En la zona de taludes y bermas se colocaron cunetas de dos tipos dependiendo de la topografía de la misma zona como se muestra en la figura 4.43, mismas que sirvieron para captar el escurrimiento pluvial y se evita la erosión de los taludes. En la parte más alta de las bermas de la zona de taludes se colocaron canaletas de forma triangular que al captar el escurrimiento se comunican con las cunetas colocadas en las bermas de menor elevación y éstas a su vez se comunican con drenes o drenaje pluvial de tubos de concreto o tubos pvc, según sea el caso, ubicados en la margen derecha de la cortina de roca y descargan hacia el río aguas abajo. También descargan en la margen izquierda de la zona de taludes que colinda con la obra de excedencias y descargan hacia el drenaje pluvial ubicada en la plataforma de la subestación.

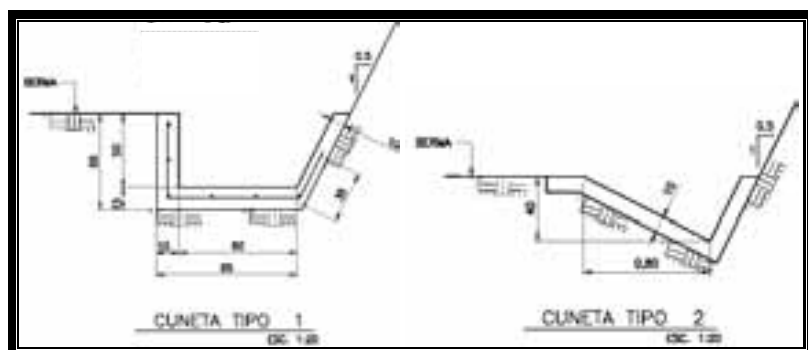


Figura 4.43. Tipos de cunetas empleadas en la zona de taludes de la subestación.

En el área de casetas de ventilación ubicadas junto a la zona de taludes donde inicia la plataforma de subestación (figura 4.42), se realizó la cimentación de las casetas que se desplantan en la elevación 340 m. En la fotografía 37 aparece un cadenero colocando un prisma en el refuerzo de acero para el chequeo del avance de la construcción y colado de la cimentación del edificio de control y de la zona de transformadores, y en espera de instrucciones del jefe de brigada de topografía si están bien o no las medidas como se indican en el plano de construcción.



Fotografías 37 y 38. Cimentación en la zona de transformadores y edificio de control.

Capítulo

5

OBRAS DE
EXCEDENCIAS

CAPÍTULO V

OBRAS DE EXCEDENCIAS

5.1 Descripción de la obra de excedencias

Se encuentra ubicada en la margen derecha del río Santiago y se divide en tres estructuras principales: canal de llamada, zona de control y canal de descarga. La obra de excedencias está diseñada para una avenida de $15\,915.0\text{ m}^3/\text{s}$ con un gasto máximo de diseño de $14\,864\text{ m}^3/\text{s}$. La velocidad máxima en la descarga es del orden de 46 m/s . El vertedor tiene la función de controlar la descarga de los volúmenes de agua que se consideran excedentes de la capacidad útil del vaso que a través de sus estructuras principales el agua será captada, conducida, controlada y finalmente enviada al cauce del río Santiago aguas abajo.

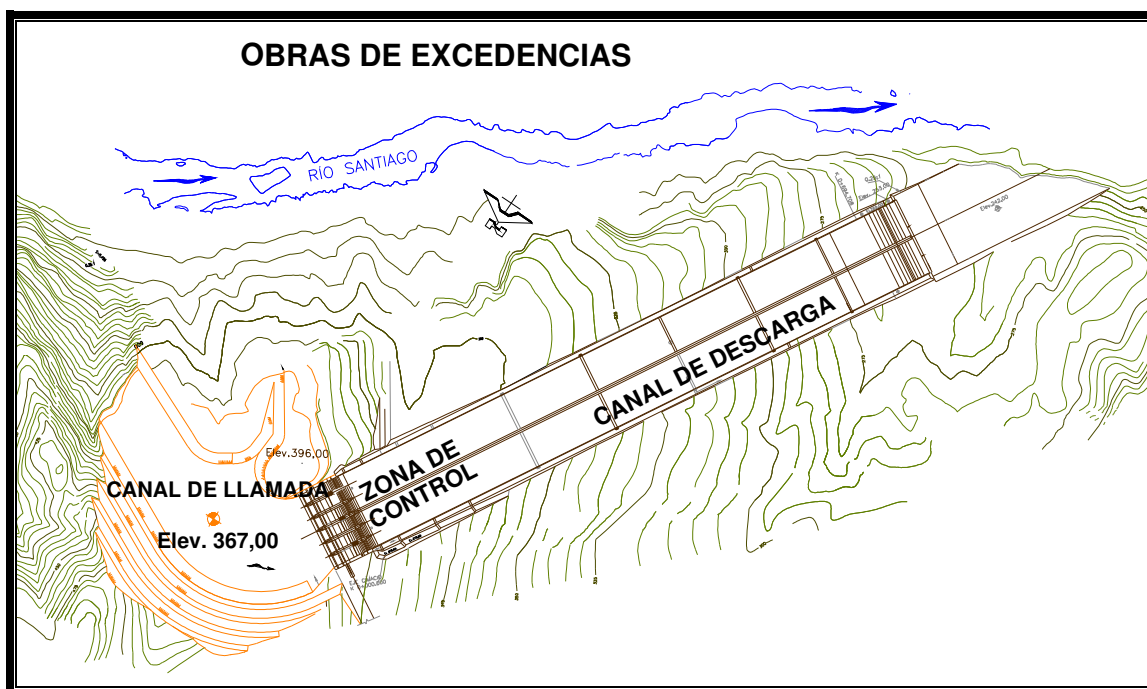


Figura 5.1. Planta general de las Obras de Excedencias.

5.1.1 Canal de llamada

La función de dicho canal como se mencionó anteriormente, es encauzar el flujo del agua hacia la bocatoma de cada una de las unidades (conducción a presión) y está a la elevación 322.40 msnm , ubicada en obra de toma. El otro canal de llamada tiene una elevación de 367.00 ubicada en el vertedor, se emplea cuando la elevación del agua sobrepasa los 346.00 el flujo del agua se dirige hacia la zona de control y de ahí finalmente se descarga hacia el río Santiago.

Canal de llamada a cielo abierto; en su sección transversal es de forma trapezoidal, las paredes del canal tienen un talud de 0.5:1, dicho canal es de forma circular con deflexión variable. Las paredes del mismo canal a las elevaciones 396.00 y 416.00 msnm tienen una deflexión $\Delta = 86^{\circ}00'$; a la elevación 436.00 con una deflexión de $\Delta = 67^{\circ}00'$ y a la elevación 456.00 msnm con una deflexión de $\Delta = 55^{\circ}00'$. Por lo tanto la diferencia de elevación entre los pisos de las paredes del canal de llamada es de 20 m.

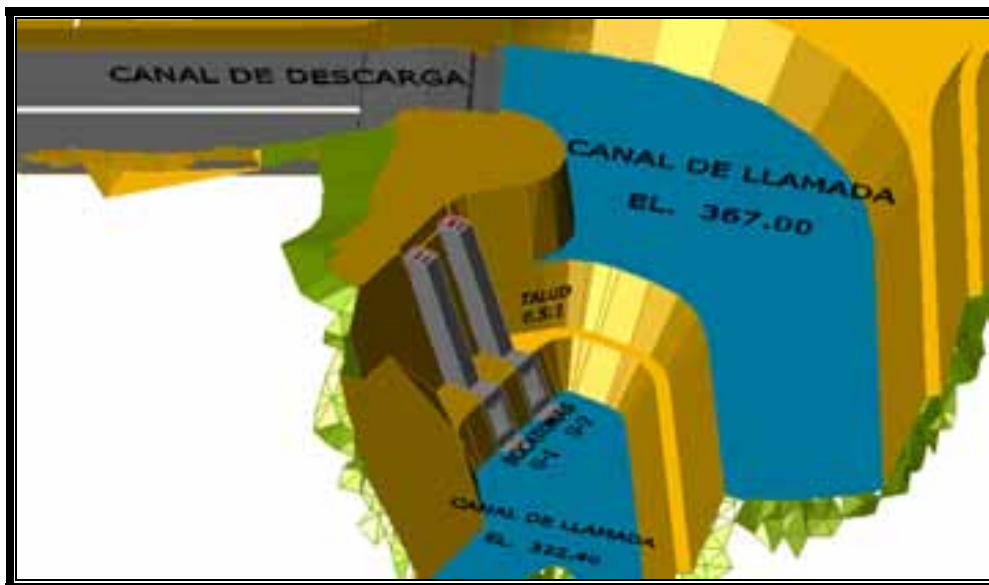


Figura 5.2. Canal de llamada en obras de excedencias.

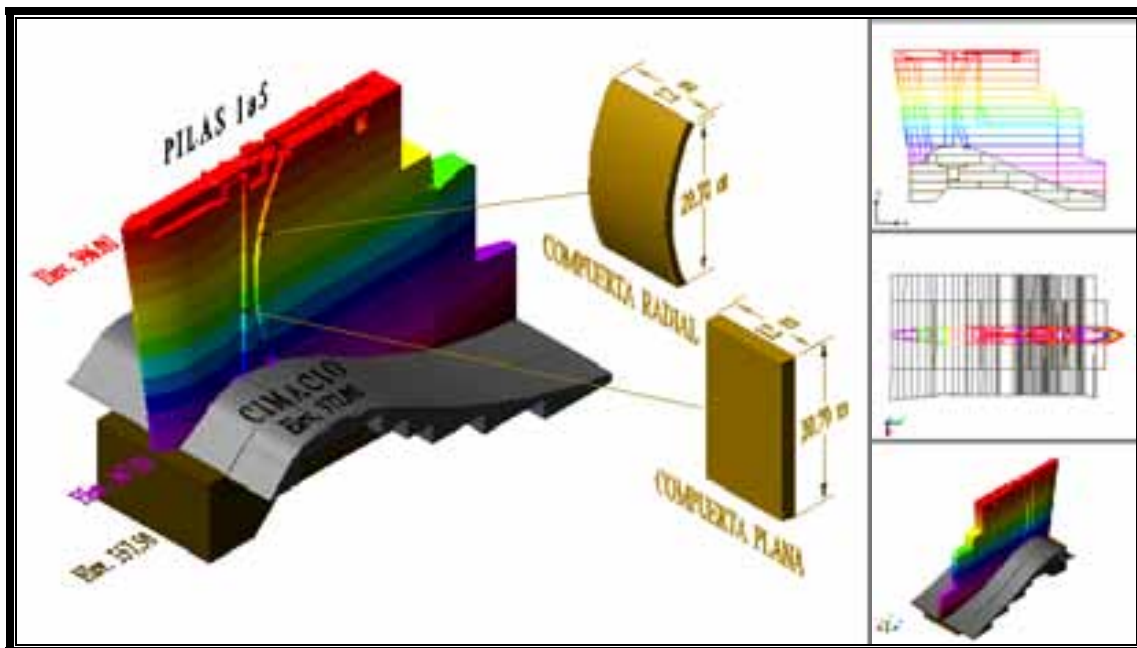
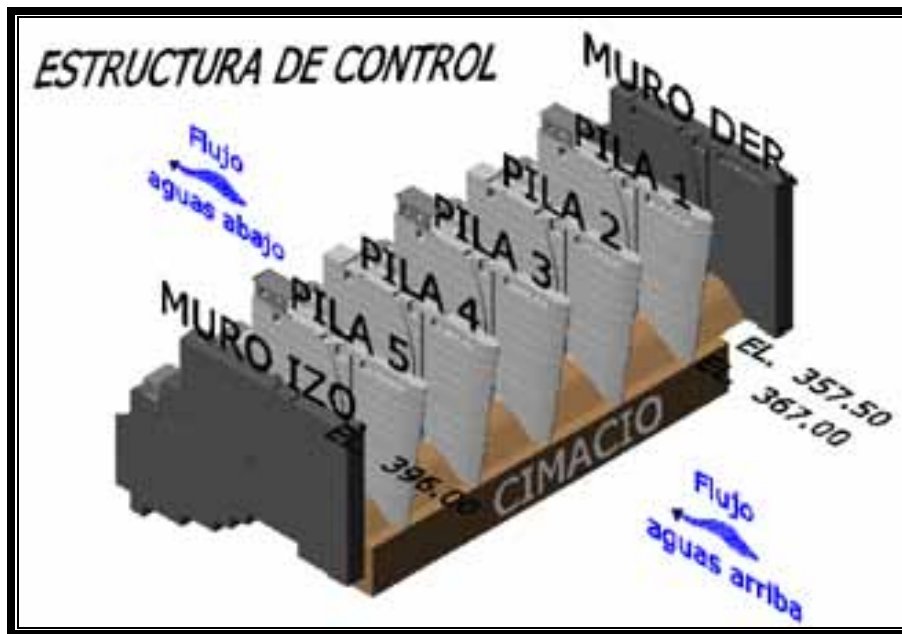
5.1.2 Estructura de control

La estructura de control es un cimacio del tipo Creager con altura de 5 m, con su cresta a la elevación 372.00 que comprende del cadenamiento 0 + 000.00 al 0 + 038.97 aguas abajo y del cadenamiento 0 + 000.00 al 0 - 011.00 aguas arriba de dimensiones 91.0 m de ancho por 50.0 m de largo, el eje del cimacio o el centro de línea del cimacio tiene un rumbo de N $60^{\circ}03'46.64''$ W y coincide con la estación K 0 + 000.00 longitudinal.

Las seis pilas de concreto reforzado conforman de seis vanos de 12 m para alojar seis compuertas radiales operadas por servomotores de 13 m de ancho, para el manejo del agua que, por demasías, llegue al embalse de la presa. Separados entre vano y vano por seis pilas de 3.80 m de espesor y de longitud variable con respecto a la elevación de la pila, y separados entre eje y eje de las pilas por 15.80 m que soportan el puente de maniobras a la elevación 396 m.s.n.m, el centro de línea de la pila 3 es el eje de la zona de control y del canal de descarga y cruza con el eje de cimacio.

La estructura de control controla y regula los derrames del vaso de almacenamiento y es en consecuencia la obra más importante de la obra de excedencias (figuras 5.3 y 5.4).

Dadas las características de operación del vertedor, para casos de emergencia, en la zona de la estructura de control se debe incluir una planta generadora de energía eléctrica de combustión interna alojada en una caseta. Sobre las pilas se deben ubicar casetas para el equipo oleodinámico que operará los servomotores que accionarán las compuertas radiales, requiriendo una caseta por cada dos compuertas. Es importante dar tratamiento de anclaje y concreto lanzado a los taludes de las excavaciones en ambos márgenes del vertedor.



Figuras 5.3 y 5.4. Estructura de control, vista aguas arriba y aguas abajo.

5.1.3 Canal de descarga

Los volúmenes liberados por la estructura de control se conducen al río Santiago aguas abajo de la presa a través de dos canales de descarga construidas a cielo abierto con revestimiento de concreto hidráulico. Se clasifican como vertedores de cimacio aquellos constituidos por una cresta de curva convexa de control, que debe tener aproximadamente la forma de la superficie inferior de la lámina vertiente.

El canal de descarga de 91 m de ancho por 702.693 m de largo hasta la cubeta deflectora, consta de dos canales y un canal de servicio; a los dos canales se les denomina como margen derecha y margen izquierda, ambas a cielo abierto y de 43.60 m de ancho, también cuenta con seis aireadores en el piso de los canales rematando en una cubeta deflectora (de desvío de la corriente) que llegan al cauce del río Santiago.

A los canales los divide un muro intermedio que a su vez aloja la galería de inspección y la galería de drenaje, es de sección rectangular revestido de concreto reforzado de 3.80 m de ancho y de altura variable con respecto al piso de los canales y dependiendo del cadenamiento del mismo canal, tiene como eje de simetría la línea longitudinal definida por el eje de los canales y de la zona de control. La estructura terminal del vertedor es una cubeta deflectora tipo salto de esquí con ángulo de salida de 20 grados.

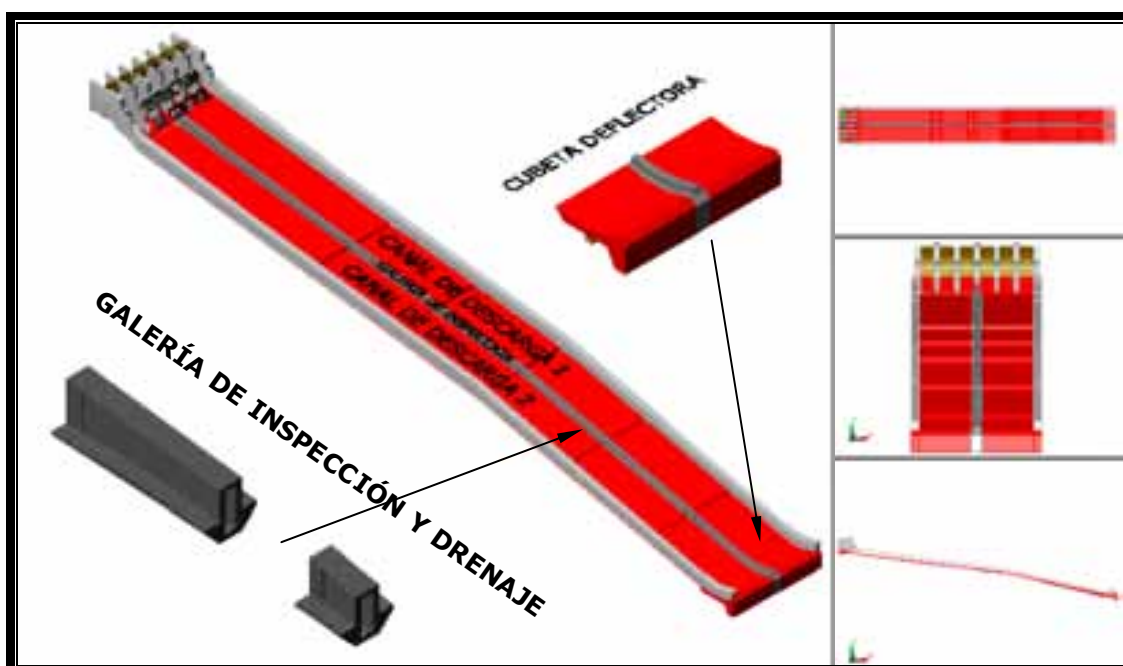


Figura 5.5. Isométrico de los canales de descarga y del muro divisorio que aloja a la galería de drenaje.

5.2 Trabajos topográficos realizados en canal de llamada

5.2.1 Excavación en canal de llamada

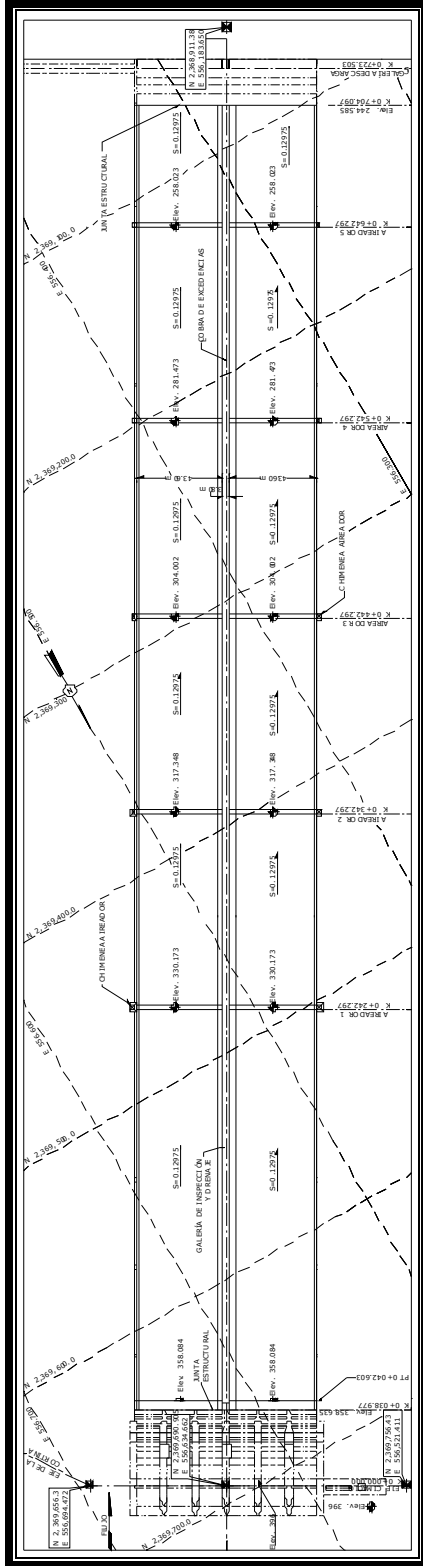
Topográficamente la construcción de la obra de excedencias se controló a partir de tres ejes principales que son: longitudinalmente en el centro de línea de la obra de excedencias o del muro central que es la galería de inspección y de drenaje que divide los dos canales de descarga y que están definidos por los puntos coordenados E18 y E19; el segundo eje que transversalmente es el centro de línea del cimacio (ver figura 5.6) con cadenamamiento Km 0 + 000.00 que está definido por los puntos coordenados E6 y MD, este último punto está ligado entre el eje del cimacio y el eje de la cortina, por lo tanto el punto MD son las coordenadas del eje de la cortina en la margen derecha; y el tercer eje que es el eje del canal de llamada a la elevación 367 que interfecta con el eje del vertedor y se apoyó para la excavación del mismo canal, está definido por los puntos coordenados E4 y E10; cuyas coordenadas de dichos puntos son las siguientes:

PUNTO	COORDENADAS UTM	
	X	Y
E4	556,937.067	2,369,675.727
E10	556,694.493	2,369,794.316
E18	556,634.662	2,369,690.905
E19	556,183.650	2,368,911.381
MD	556,694.472	2,369,656.300
E6	556,521.411	2,369,756.430

Longitudinalmente partiendo del centro de línea del cimacio que es el Km 0 + 000.00 hacia aguas abajo los cadenamamientos son positivos y hacia aguas arriba los cadenamamientos son negativos. La excavación se inició en la parte superior aproximadamente en la elevación 460 msnm (ver figura 5.7), dejando taludes de 0.5:1 hasta llegar a la elevación 367 del piso para el canal de llamada en obras de excedencias y el muro de macizo rocoso que divide el canal de llamada de la obra de toma y la estructura de control del vertedor, y bermas cada 20 metros de desnivel para mayor estabilidad de los taludes.



Fotografías 1 y 2. Excavación del canal de llamada en obras de excedencias.



PLANTA
ESC. 1/1000

Figura 5.6. Planta general de la estructura de control y del canal de descarga.

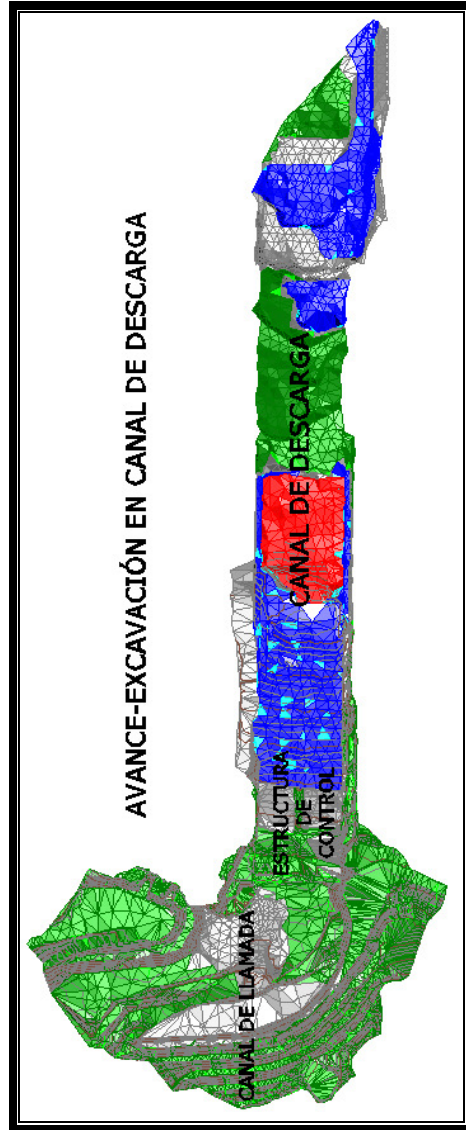


Figura 5.7. Excavación en Obra de Excedencias.

Éstos se configuraron topográficamente de la siguiente forma: se marcaba la localización de los ceros dependiendo de la topografía del terreno y se dejaba un hilo sujeto de una de las marcas y un tripié como guía para cada barreno, verificando topográficamente que su alineación coincidiera con el talud requerido, la distancia entre barreno y barreno se dejó de 0.80 m sobre todo para precortar la configuración de los taludes, que para dicha configuración también tuvo mucho que ver el sistema adoptado para carga de explosivo en cada tronada o voladura y el tipo de roca que se encontraba.

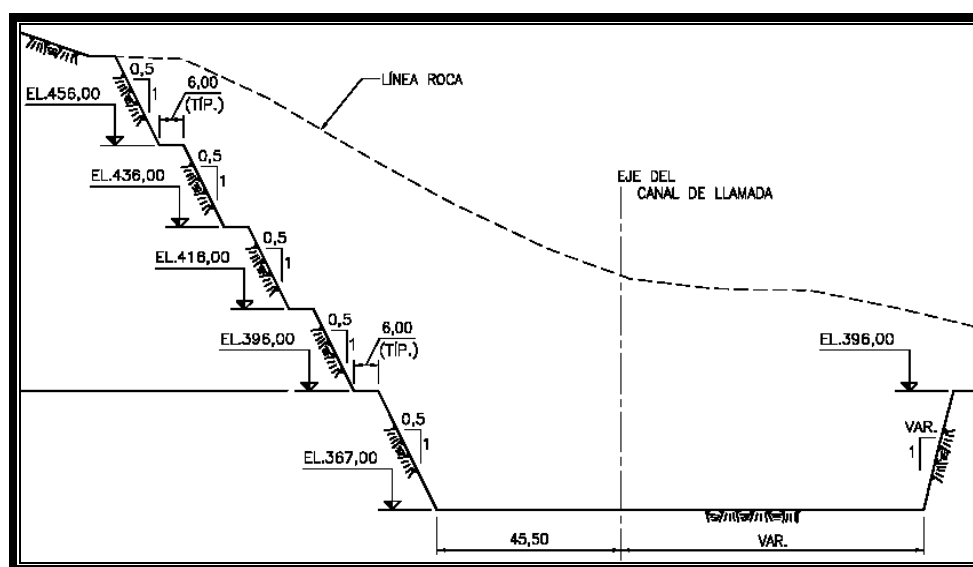


Figura 5.8. Canal de llamada en obras de excedencias.

5.2.2 Tratamiento de talud y bermas del canal de llamada

Sobre las líneas de taludes de 0.5:1 de pendiente del canal de llamada de la Obra de Excedencias, en la cima de cada talud se encuentran bermas de aproximadamente 6 m de ancho por 20 m de altura, de berma a berma, que sirven para estabilizar dichos taludes. Arriba de las bermas y sobre las líneas de taludes se realizaron pequeñas excavaciones para formar contracunetas que es una extensión de talud de la cuneta revestida de concreto la cual se construye para proteger a ésta de deslaves. La excavación para formar la contracuneta se efectuará de acuerdo a las secciones establecidas en el proyecto.

Las contracunetas, en otras palabras, son zanjas o bordes que se construyen en las laderas localizadas aguas arriba de los taludes de los cortes, con el objeto de interceptar el agua que escurre sobre la superficie del terreno natural, conduciéndola a una cañada inmediata o a una parte baja del terreno para evitar el saturamiento hidráulico de la cuneta y el deslave o erosión del corte.

Según lo indique el proyecto o el contratista y la CFE, las zanjas pueden estar recubiertas o no y los bordos pueden ser de tierra, concreto o suelo-cemento.

En la siguiente figura se muestra el isométrico de las líneas de taludes de 0.5:1 y bermas cada 20 metros que abarca de la plaza cívica hasta el canal de llamada de la Obra de Excedencias. En la figura 5.10 se muestra un plano de la configuración de la excavación con curvas de nivel para los tratamientos en taludes y bermas con los cadenamientos marcados durante el corte y el banqueo de dichos taludes que inició, como se mencionó anteriormente, desde la elevación 476 hasta la elevación 367 del piso del canal de llamada

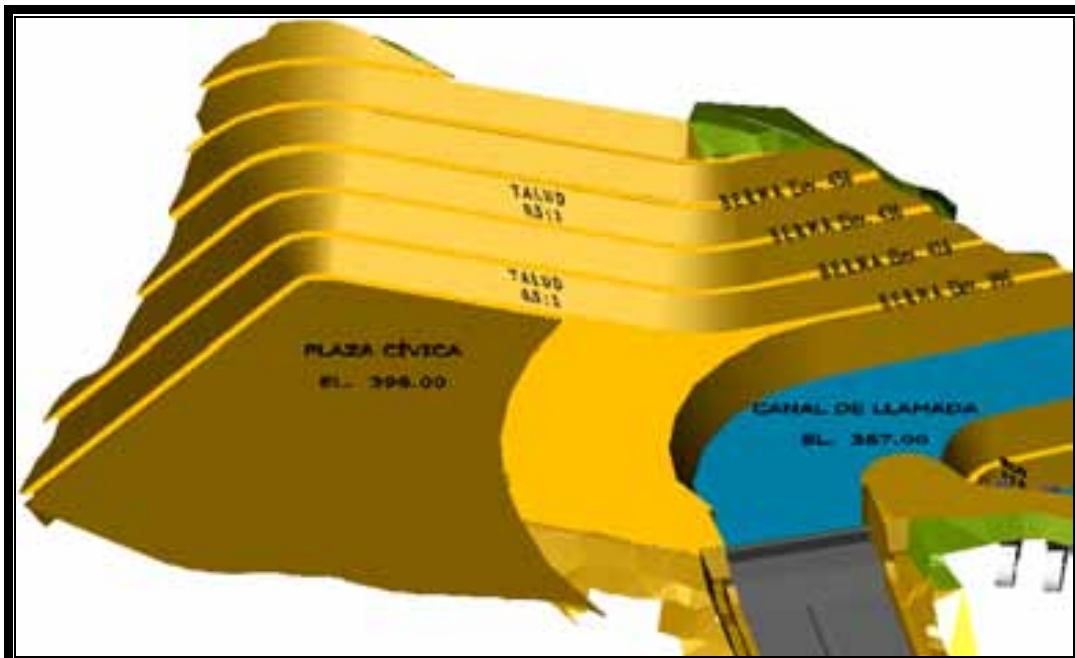


Figura 5.9. Isométrico de las líneas de taludes y bermas del Canal de llamada en obras de excedencias.



Fotografías 3 y 4. Tratamiento en talud y bermas en loma oriente del Canal de llamadas.

5.2.2.1 Excavación y revestimiento de concreto de contracunetas en bermas en loma oriente del canal de llamada

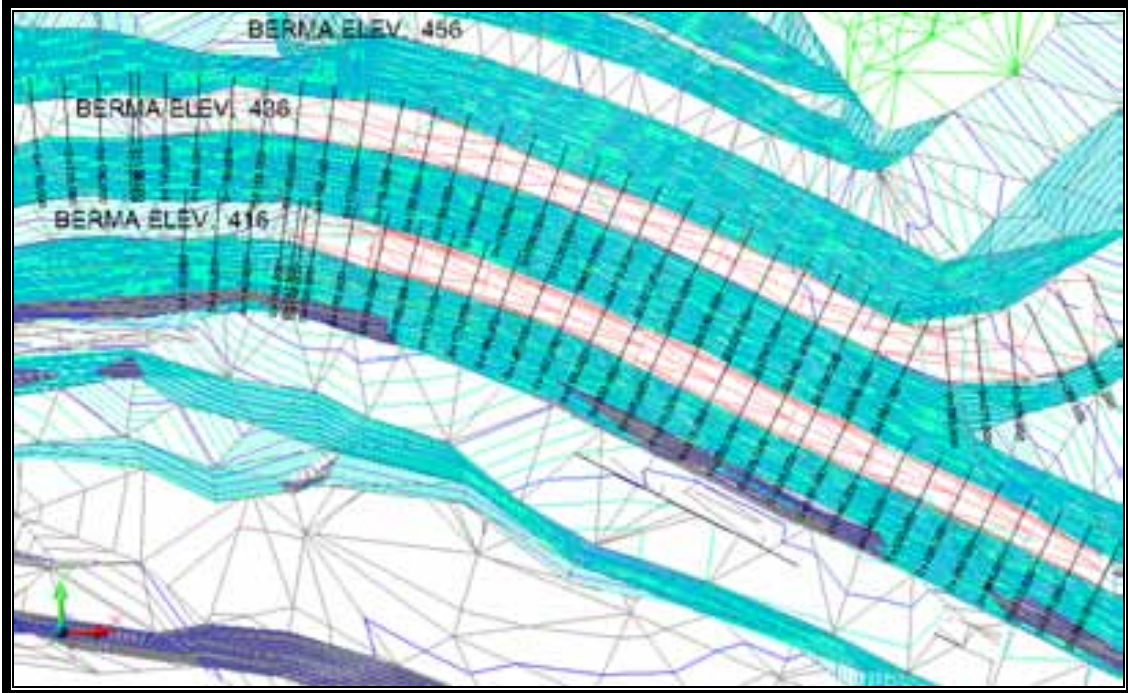
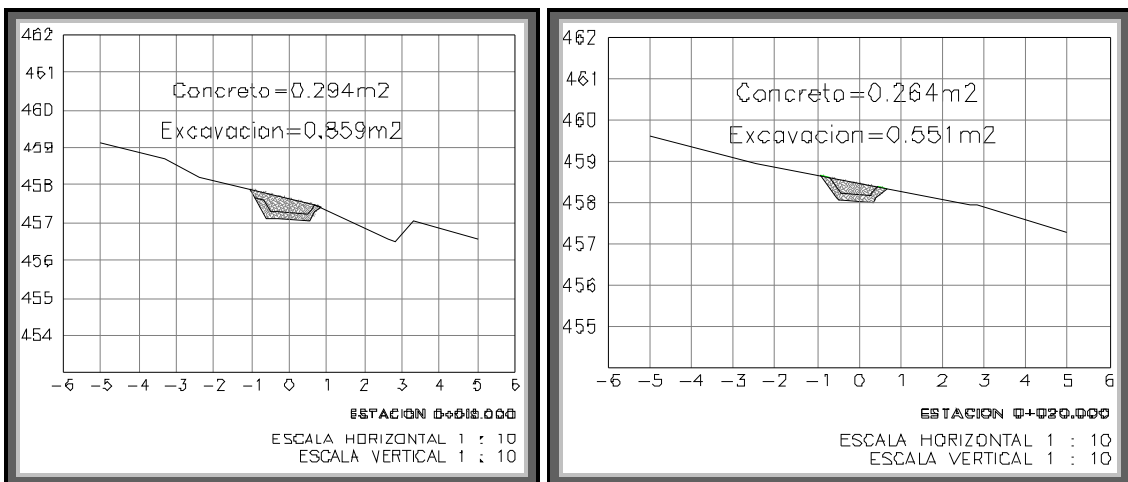


Figura 5.10. Planta de las líneas de taludes y bermas en loma oriente del Canal de llamada.

Con la configuración de la excavación de los taludes y bermas, se llevo a cabo el control topográfico de las excavaciones marcando cadenamamientos para obtener los perfiles y secciones por estación. Con esto se calculó también el área de la excavación y el área de revestimiento de concreto de la contracuneta. A continuación se muestran las secciones del Km 0+019.00 al 0+058.00 en la elevación 456 en loma oriente de la berma.



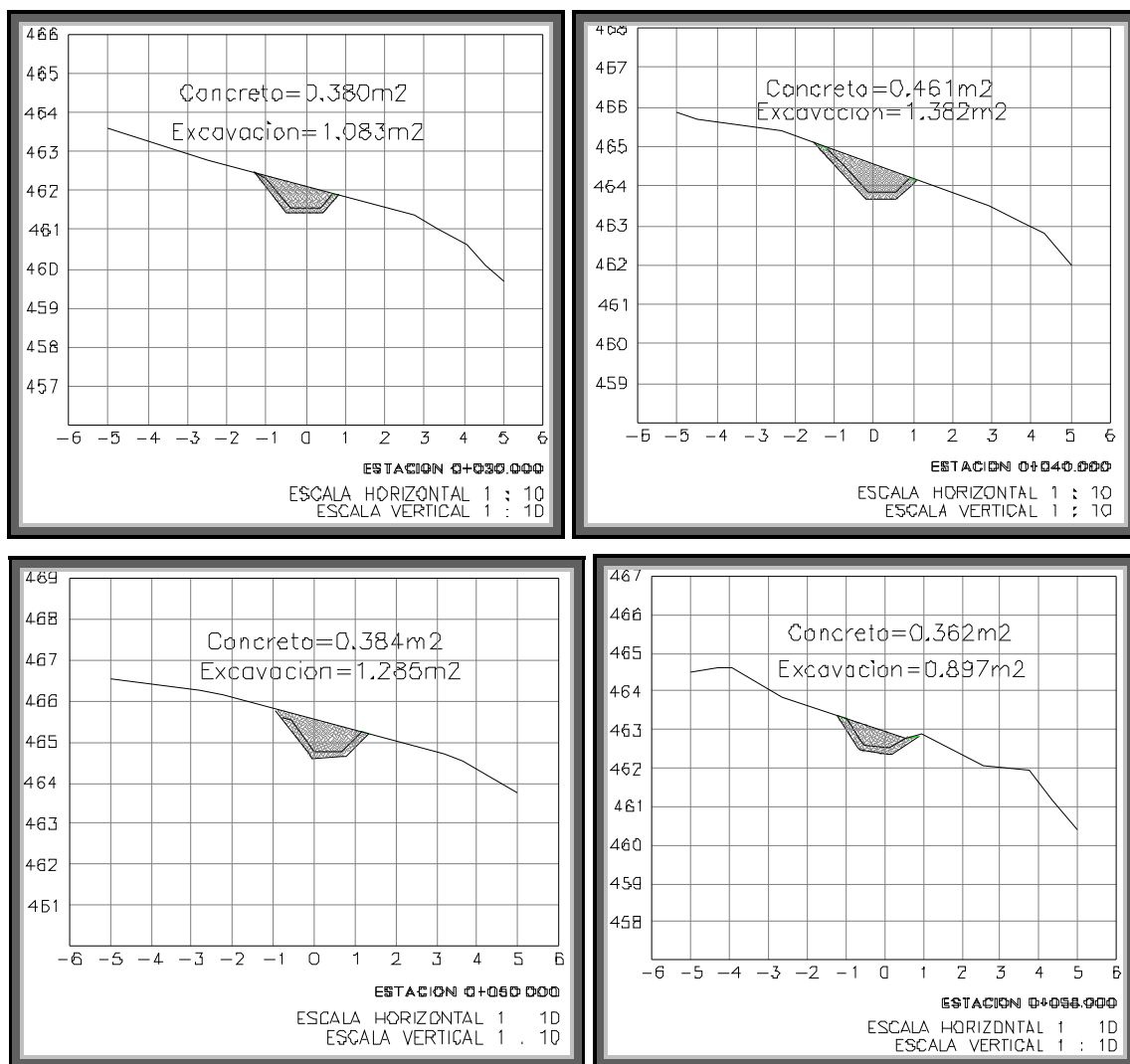


Figura 5.11. Secciones de las contracunetas en loma oriente a la elevación 456.

Con las áreas también se calcularon los volúmenes parcial y acumulado para obtener el volumen total de excavación y de concreto. Con estos volúmenes calculados, conocemos la cantidad en metros cúbicos de material producto de las excavaciones que sirve de préstamo para otros frentes de obra como la cortina, después se lleva a cabo el levantamiento topográfico de la excavación para llevar un control del avance de la obra. Los volúmenes totales de excavación y concreto de las contracunetas calculados en las tablas 5.1 y 5.2 se le suma al volumen total que lleva acumulado el avance de la obra en la elevación 456. Las brigadas de Topografía que laboran en la Obra de Excedencias, también realizaron trabajos de limpieza de laderas en ambas márgenes del vertedor para los tratamientos necesarios que garantizan la estabilidad de las bermas y taludes de las excavaciones, y de las demás estructuras a cielo abierto y que consisten en: colocación de anclas, aplicación de concreto lanzado, colocación de malla electrosoldada, perforación para inyecciones y drenajes.

Estación m	Área m ²	A1 + A2 m ²	e / 2 m	Volúmenes en m ³	
				Parcial	Acumulado
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN CONTRACUNETAS ELEVACIÓN 456 EN LOMA ORIENTE					
0+019.000	0.859				
0+020.000	0.551	1.410	0.500	0.7050	0.7050
0+021.000	0.694	1.245	0.500	0.6225	1.3275
0+022.000	0.850	1.544	0.500	0.7720	2.0995
0+023.000	1.018	1.868	0.500	0.9340	3.0335
0+024.000	1.199	2.217	0.500	1.1085	4.1420
0+025.000	1.238	2.437	0.500	1.2185	5.3605
0+026.000	1.249	2.487	0.500	1.2435	6.6040
0+027.000	1.212	2.461	0.500	1.2305	7.8345
0+028.000	1.172	2.384	0.500	1.1920	9.0265
0+029.000	1.129	2.301	0.500	1.1505	10.1770
0+030.000	1.083	2.212	0.500	1.1060	11.2830
0+031.000	1.109	2.192	0.500	1.0960	12.3790
0+032.000	1.164	2.273	0.500	1.1365	13.5155
0+033.000	1.225	2.389	0.500	1.1945	14.7100
0+034.000	1.294	2.519	0.500	1.2595	15.9695
0+035.000	1.369	2.663	0.500	1.3315	17.3010
0+036.000	1.408	2.777	0.500	1.3885	18.6895
0+037.000	1.400	2.808	0.500	1.4040	20.0935
0+038.000	1.393	2.793	0.500	1.3965	21.4900
0+039.000	1.387	2.780	0.500	1.3900	22.8800
0+040.000	1.382	2.769	0.500	1.3845	24.2645
0+041.000	1.379	2.761	0.500	1.3805	25.6450
0+042.000	1.376	2.755	0.500	1.3775	27.0225
0+043.000	1.367	2.743	0.500	1.3715	28.3940
0+044.000	1.383	2.750	0.500	1.3750	29.7690
0+045.000	1.404	2.787	0.500	1.3935	31.1625
0+046.000	1.420	2.824	0.500	1.4120	32.5745
0+047.000	1.431	2.851	0.500	1.4255	34.0000
0+048.000	1.437	2.868	0.500	1.4340	35.4340
0+049.000	1.438	2.875	0.500	1.4375	36.8715
0+050.000	1.285	2.723	0.500	1.3615	38.2330
0+051.000	0.392	1.677	0.500	0.8385	39.0715
0+052.000	0.403	0.795	0.500	0.3975	39.4690
0+053.000	0.391	0.794	0.500	0.3970	39.8660
0+054.000	0.382	0.773	0.500	0.3865	40.2525
0+055.000	0.362	0.744	0.500	0.3720	40.6245
0+056.000	0.362	0.724	0.500	0.3620	40.9865
0+057.000	0.341	0.703	0.500	0.3515	41.3380
0+058.000	0.362	0.703	0.500	0.3515	41.6895
Volumen Total = 41.69 m³					

Tabla 5.1. Volumen total de excavación en contracunetas a la elevación 456.

Estación m	Área m ²	A1 + A2 m ²	e / 2 m	Volúmenes en m ³	
				Parcial	Acumulado
CONCRETO EN CONTRACUNETA ELEVACIÓN 456 EN LOMA ORIENTE					
0+019.000	0.294				
0+020.000	0.264	0.558	0.500	0.2790	0.2790
0+021.000	0.298	0.562	0.500	0.2810	0.5600
0+022.000	0.332	0.630	0.500	0.3150	0.8750
0+023.000	0.367	0.699	0.500	0.3495	1.2245
0+024.000	0.388	0.755	0.500	0.3775	1.6020
0+025.000	0.398	0.786	0.500	0.3930	1.9950
0+026.000	0.395	0.793	0.500	0.3965	2.3915
0+027.000	0.391	0.786	0.500	0.3930	2.7845
0+028.000	0.388	0.779	0.500	0.3895	3.1740
0+029.000	0.384	0.772	0.500	0.3860	3.5600
0+030.000	0.380	0.764	0.500	0.3820	3.9420
0+031.000	0.392	0.772	0.500	0.3860	4.3280
0+032.000	0.404	0.796	0.500	0.3980	4.7260
0+033.000	0.417	0.821	0.500	0.4105	5.1365
0+034.000	0.429	0.846	0.500	0.4230	5.5595
0+035.000	0.443	0.872	0.500	0.4360	5.9955
0+036.000	0.448	0.891	0.500	0.4455	6.4410
0+037.000	0.452	0.900	0.500	0.4500	6.8910
0+038.000	0.455	0.907	0.500	0.4535	7.3445
0+039.000	0.458	0.913	0.500	0.4565	7.8010
0+040.000	0.461	0.919	0.500	0.4595	8.2605
0+041.000	0.462	0.923	0.500	0.4615	8.7220
0+042.000	0.461	0.923	0.500	0.4615	9.1835
0+043.000	0.459	0.920	0.500	0.4600	9.6435
0+044.000	0.462	0.921	0.500	0.4605	10.1040
0+045.000	0.452	0.914	0.500	0.4570	10.5610
0+046.000	0.443	0.895	0.500	0.4475	11.0085
0+047.000	0.432	0.875	0.500	0.4375	11.4460
0+048.000	0.421	0.853	0.500	0.4265	11.8725
0+049.000	0.409	0.830	0.500	0.4150	12.2875
0+050.000	0.384	0.793	0.500	0.3965	12.6840
0+051.000	1.418	1.802	0.500	0.9010	13.5850
0+052.000	1.345	2.763	0.500	1.3815	14.9665
0+053.000	1.265	2.610	0.500	1.3050	16.2715
0+054.000	1.178	2.443	0.500	1.2215	17.4930
0+055.000	1.070	2.248	0.500	1.1240	18.6170
0+056.000	0.982	2.052	0.500	1.0260	19.6430
0+057.000	0.897	1.879	0.500	0.9397	20.5827
0+058.000	0.897	1.794	0.500	0.8972	21.4799
Volumen Total = 21.48 m³					

Tabla 5.2. Volumen total de revestimiento de concreto en contracunetas a la elevación 456.

5.2.3 Muro alabeado

Otro ejemplo de la utilidad de la topografía se presentó en el muro llamado alabeado, entre el canal de llamada de la obra de toma y la estructura de control del vertedor o canales de descarga. Se colocaron dos inclinómetros en el macizo rocoso del mismo muro y los registros en éstos advirtieron inestabilidad de la roca. En esta zona donde se realizaron los estudios registraron la presencia de una falla provocado por las intensas voladuras que se presentan cerca de la zona y también por fallas geológicas presentes en la zona. Esto se notificó a la CFE y ésta comisión tomó la decisión de hacer una remoción de una parte del macizo, porque en caso contrario, por el filtramiento del agua en la falla provocaría un derrumbe del macizo rocoso hacia el muro lateral izquierdo de la estructura de control, que por razones económicas y de seguridad, se suspendieron las actividades de la construcción de dicho muro y así evitar pérdidas millonarias en inversión.



Fotografía 5. Excavación por ejecutar una parte del muro alabeado.

En el muro alabeado mostrado en la foto de arriba se marcaron cortes con estacas de madera para la excavación de una parte del macizo rocoso, dichos cortes fueron analizados y calculados por Ingenieros Topógrafos de tal manera que cumpliera con los requisitos de estabilidad de taludes propuesto por los geólogos de la CFE y por personal de instrumentación de CIISA presentados en documentos y planos para la remoción de dicho macizo. La utilidad de la instrumentación también se presentó en dicho muro alabeado, en donde se colocaron verticalmente dos inclinómetros en el macizo y los registros en éstos indicaron movimientos totales con respecto a un eje de referencia para distintas elevaciones (gráfica elevaciones-desplazamientos en metros) en inclinómetros, con esto se verificó y se tomó la decisión de ejecutar la excavación para evitar colapso súbito.



Fotografías 6 y 7. Excavación ejecutada para evitar colapso súbito.

5.2.4 Plataforma de estacionamiento para protección contra voladuras

Algunos camiones de turismo para el transporte de personal que labora en la obra y maquinarias, se estacionaban en una zona conocida como “Plaza cívica” ubicada al norte del canal de llamada de la obra de excedencias a la elevación 396, actualmente dicha plaza se encuentra en proceso de excavación para el banqueo y acarreo de diversos materiales que se requiere para la zonificación de la cortina y rellenos en otros frentes, también se realizaron precortes en las líneas de taludes de 0.5:1 de talud con banqueos de 12 metros de altura, por lo tanto, dicha plaza es un sitio de voladuras y por esta razón se reubicaron los camiones y las maquinarias hacia la plataforma ubicada al poniente de la plaza cívica. Se marcaron cortes y terraplén para la rampa de acceso a la plataforma que servirá de estacionamiento de maquinaria para protección contra voladuras, también se requirió hacer el levantamiento de dicha plataforma para conocer la ubicación y la superficie proyectado en el plano la planta general de la obra de excedencias. En la foto de abajo, se observa la plaza cívica y a la elevación 495.50 se encuentra la plataforma. En la figura 5.12, se muestra el levantamiento topográfico de la plataforma con sus respectivas coordenadas.



Fotografía 8. Vista panorámica de la plataforma.

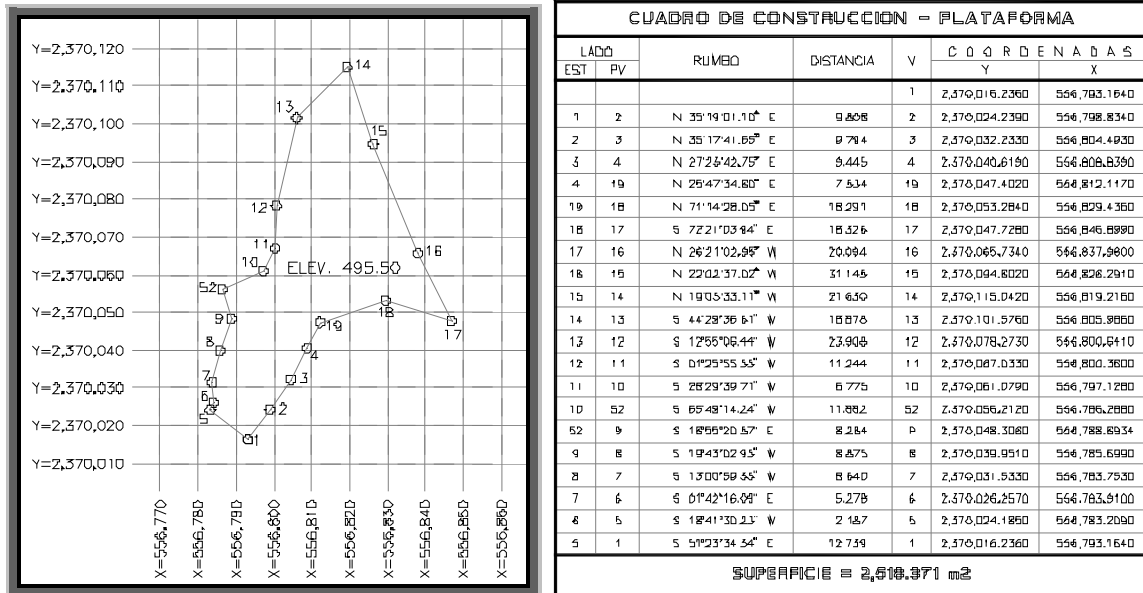


Figura 5.12. Levantamiento topográfico de la plataforma. Tabla 5.3. Coordenadas UTM de la plataforma.

5.2.5 Banco de desperdicio

Sitio aprobado por la comisión y el contratista para depositar definitivamente materiales que no vayan a ser utilizados para la ejecución de las obras y que provengan de bancos o de excavaciones de diversas estructuras.

El banco de desperdicio se encuentra ubicado al noreste del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón afuera del límite de expropiación y del límite de liberación previa de la misma obra y se ubica al norte del taller de la empresa Duero Ingeniería. En este banco se colocaron todos los residuos producto de la remoción y desmonte efectuado en la obra de excedencias y en otros frentes de obra. Los residuos tóxicos y no tóxicos (vegetación, tambos de diesel, y todo tipo de basura orgánica e inorgánica) así como también el desmonte de la capa vegetal producto de la excavación de las obras por desplantar para la reposición de roca como asentamiento de una obra civil, serán llevados al banco de desperdicio que indique el proyecto o apruebe la dependencia como la CFE en vehículos aprobados y así impidiendo la contaminación del entorno. Este banco de desperdicios quedará sujeto bajo las normas de la Secretaría del Medio Ambiente vigentes. Los daños y perjuicios causados a propiedad ajena, ocasionados por trabajos de desmonte ejecutados indebidamente, dentro o fuera del alineamiento autorizado, serán de la responsabilidad del contratista. Este deberá tomar todas las precauciones necesarias para garantizar la seguridad de las personas, de las propiedades y de las obras, por lo que será el único responsable de los daños ocasionados, realizando sus caminos de acceso a las obras. Se realizó un levantamiento topográfico del banco de desperdicio “El Naranjito” para obtener la secciones a la elevación 396 con sus respectivos cadenamientos para posteriormente obtener el volumen del mismo, dicho banco de desperdicio tiene una capacidad de 796,788.84 m³.

En las siguientes figuras se muestran el plano de las dos poligonales del banco de desperdicio y el croquis de ubicación del mismo banco. En la tabla 5.4 se muestra los datos de las coordenadas del polígono pequeño situada a la elevación 300 y en la tabla 5.5 se muestra los datos de las coordenadas del polígono físico del banco a la elevación 346.

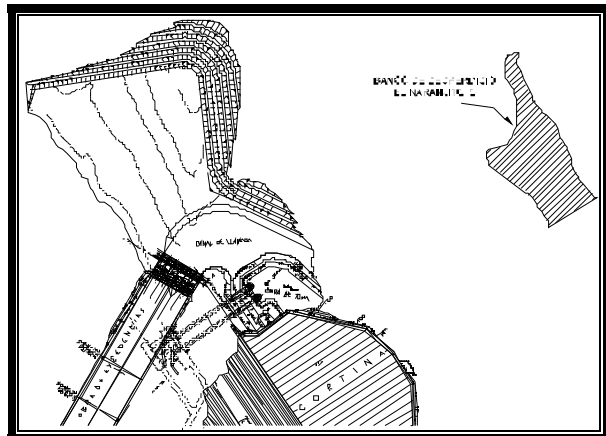
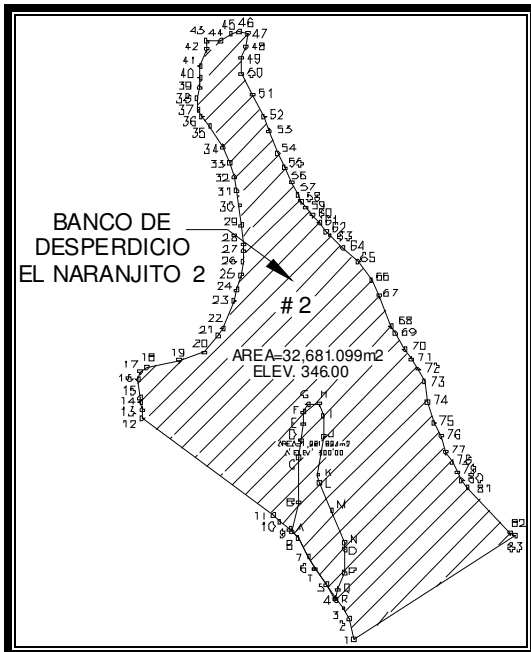


Figura 5.13. Levantamiento del banco de desperdicio.

Figura 5.14. Croquis de localización del banco.

CUADRO DE CONSTRUCCION								
LADO EST-PV	AZIMUT	DISTANCIA (MTS.)	COORDENADAS UTM		CONVERGENCIA	FACTOR DE ESCALA	LATITUD	LONGITUD
			ESTE (X)	NORTE (Y)				
A-B	13°14'15.95"	18.543	557,364.673	2,370,076.400	-0°12'8.198099"	0.99964066	21°25'55.709352" N	98°26'47.170055" W
B-C	00°03'53.73"	27.774	557,368.919	2,370,094.451	-0°12'8.258088"	0.99964067	21°25'56.295966" N	98°26'47.020331" W
C-D	09°14'02.21"	10.543	557,368.951	2,370,122.225	-0°12'8.267858"	0.99964067	21°25'57.199327" N	98°26'47.015831" W
D-E	04°58'19.31"	10.353	557,370.643	2,370,132.632	-0°12'8.292845"	0.99964067	21°25'57.537614" N	98°26'46.955782" W
E-F	03°20'16.09"	7.490	557,371.540	2,370,142.946	-0°12'8.307715"	0.99964067	21°25'57.872983" N	98°26'46.923346" W
F-G	32°33'19.56"	5.572	557,371.976	2,370,150.424	-0°12'8.315773"	0.99964067	21°25'58.116130" N	98°26'46.907279" W
G-H	86°15'13.06"	6.428	557,374.975	2,370,155.120	-0°12'8.355422"	0.99964068	21°25'58.268553" N	98°26'46.802535" W
H-I	160°36'41.24"	7.704	557,381.389	2,370,155.541	-0°12'8.436991"	0.99964069	21°25'58.281478" N	98°26'46.579647" W
I-J	178°09'15.76"	12.826	557,383.947	2,370,148.274	-0°12'8.467003"	0.99964069	21°25'58.044825" N	98°26'46.491695" W
J-K	188°12'03.56"	24.172	557,384.360	2,370,135.454	-0°12'8.467920"	0.99964069	21°25'57.627824" N	98°26'46.478918" W
K-L	170°35'44.10"	5.198	557,380.912	2,370,111.529	-0°12'8.416079"	0.99964068	21°25'56.850064" N	98°26'46.601633" W
L-M	155°16'25.21"	18.356	557,381.761	2,370,106.401	-0°12'8.425130"	0.99964069	21°25'56.683160" N	98°26'46.572754" W
M-N	159°05'41.80"	21.507	557,389.439	2,370,089.728	-0°12'8.516967"	0.99964070	21°25'56.139976" N	98°26'46.308072" W
N-O	174°21'00.67"	4.294	557,397.114	2,370,069.636	-0°12'8.607599"	0.99964071	21°25'55.485609" N	98°26'46.043944" W
O-P	181°45'03.03"	14.534	557,397.536	2,370,065.362	-0°12'8.611523"	0.99964071	21°25'55.346566" N	98°26'46.029782" W
P-Q	200°38'05.82"	10.953	557,397.092	2,370,050.835	-0°12'8.600983"	0.99964071	21°25'54.874104" N	98°26'46.046991" W
Q-R	192°50'07.32"	6.668	557,393.232	2,370,040.584	-0°12'8.548525"	0.99964070	21°25'54.541139" N	98°26'46.182345" W
R-S	330°10'38.79"	10.979	557,391.751	2,370,034.083	-0°12'8.527530"	0.99964070	21°25'54.329864" N	98°26'46.234597" W
S-T	321°40'57.21"	12.282	557,386.291	2,370,043.608	-0°12'8.461440"	0.99964069	21°25'54.640293" N	98°26'46.423100" W
T-7	335°51'59.45"	8.315	557,378.676	2,370,053.244	-0°12'8.368031"	0.99964068	21°25'54.954593" N	98°26'46.686455" W
7-8	327°47'52.81"	13.190	557,375.276	2,370,060.833	-0°12'8.327436"	0.99964068	21°25'55.201804" N	98°26'46.803630" W
8-A	320°57'13.80"	5.674	557,368.247	2,370,071.994	-0°12'8.241979"	0.99964067	21°25'55.565625" N	98°26'47.046437" W

AREA = 1,966.353 m² PERIMETRO = 263.359 m

Tabla 5.4. Coordenadas UTM y geográficas del banco de desperdicio a la elevación 300.

5.3 Procedimiento constructivo de la estructura de control

Las principales mojoneras que se emplearon para la construcción, chequeo de la cimbra y colocación de concreto en pilas y muros, son las mojoneras definidas por los siguientes puntos coordenados (fotografías 9, 10 y 11):

PUNTO	COORDENADAS UTM		COORDENADAS LOCALES ³		Elevación
	X	Y	X	Y	
EC-01	556,593.369	2,369,727.222	52.202	-11.754	396.627
EC-02	556,581.250	2,369,699.434	48.774	20.347	396.534



Fotografías 9 y 10. Mojonera EC-01, ubicada en la margen derecha de la zona de control.



Fotografía 11. Ubicación de las dos mojoneras en la zona de control.

³ Coordenadas locales referidas al eje del vertedor.

Las mojoneras que se emplearon para el apoyo y orientación de la Estación Total, son aquellas mojoneras que definen el eje de cimacio que pasa e intersecta con el centro de línea de la pila 3 y de la galería de drenaje que divide a los canales de descarga del vertedor, así como otras mojoneras ubicadas en la margen derecha de la cortina, definidas por los siguientes puntos coordinados:

PUNTO	COORDENADAS UTM	
	X	Y
E10	556,694.493	2,369,794.316
MD	556,694.472	2,369,656.300
E6	556,521.411	2,369,756.430

Con las mojoneras antes mencionadas se apoyó también para crear nuevos puntos de liga en el canal de llamada donde se ubica la zona de control para el chequeo de la cimbra y colado de las pilas, muros y cimacios.

5.3.1 Desplante de la estructura de control

Después de hacer las tronadas de precorte en la línea de taludes, se procedía hacer los banqueos de 12 m de altura, atacando varios banqueos simultáneamente, dando prioridad a la zona de estructuras comprendida entre los cadenamientos 0–011.00 y 0+040.00 para llegar a la elevación 357.50 donde se desplantan los concretos de dicha estructura de control (figura 5.15). La línea de proyecto, como se mencionó en el capítulo anterior, es aquella línea considerada en el diseño de los revestimientos de concreto por lo tanto la línea de excavación no deberá sobresalir de la línea de proyecto.

En las excavaciones exteriores la línea de proyecto es la línea única. Para los precios alzados de las excavaciones exteriores no se hará ningún reconocimiento por separado por remoción de derrumbes o caídas, cuando el material producto de derrumbe tenga como destino la cortina y su volumen en todo caso sería restado de los bancos de préstamo, evitando al Contratista tener que explotarlo de las pedreras, además los costos por acarreo, procesamiento, colocación y compactación de materiales en la cortina proveniente de los bancos de préstamo están incluidos en los precios de colocación de materiales de la cortina.

5.3.1.1 Reposición de concretos para el desplante de la estructura de control

Se marcaron cortes y terraplén en la zona de excavación de la estructura de control para el desplante de los concretos a la elevación especificada en el proyecto y respetando la geometría del cimacio para el desplante de los monolitos que sirven de base al cimacio. En la siguiente figura se muestra el isométrico de la excavación de la estructura de control y una parte del canal de llamada de la obra de excedencias aguas arriba de la zona de control.

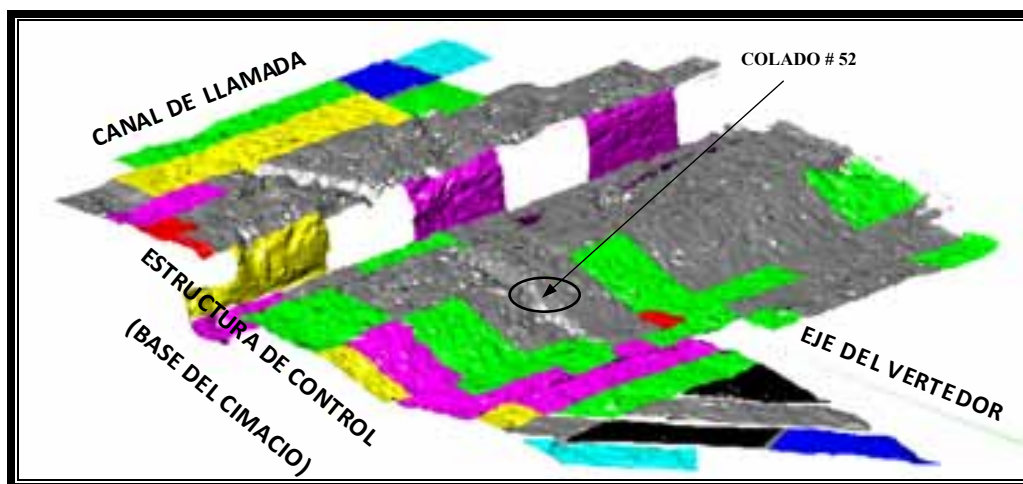


Figura 5.15. Excavación en estructura de control para el desplante de los concretos.

Previendo el desplante de los concretos en la zona de estructuras se colocaron una serie de mojoneras con sus respectivos cadenamientos en la berma de la margen derecha y aprovechando la suspensión de la excavación en el canal de llamada, también se colocaron una serie de mojoneras aguas arriba sobre los ejes y paños de cada pila para llevar a cabo el control topográfico la construcción de las obras en esta zona de estructuras como: cimacio, pilas, muros laterales, caja para tubería eléctrica, pozo de tensado que es un ducto corrugado para cables de tensado, canaleta para tubos de drenaje, etc., y en cuanto a nivel se colocaron varias niveletas en diferentes partes dependiendo de los diferentes niveles.

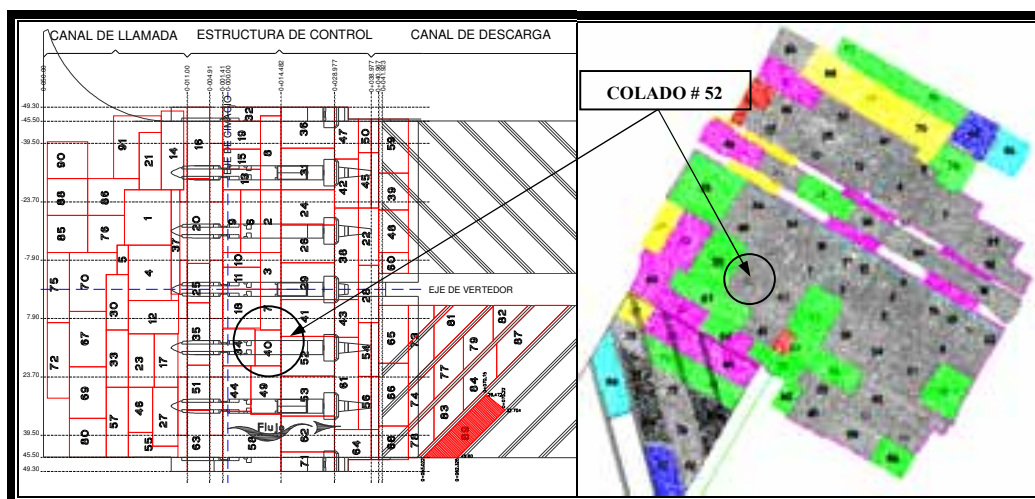
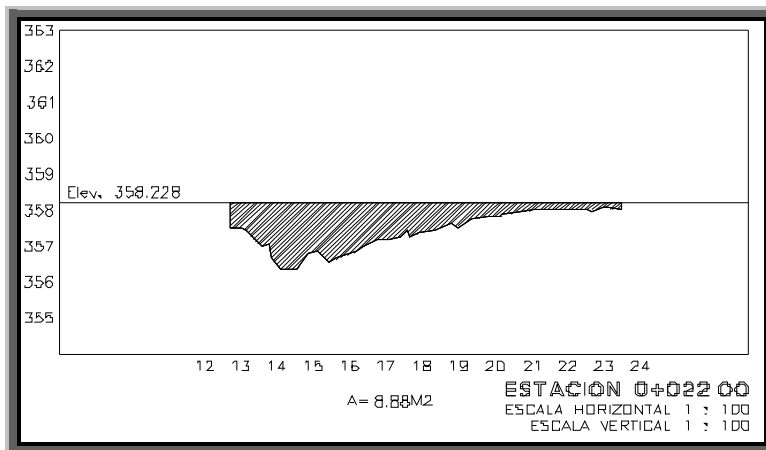
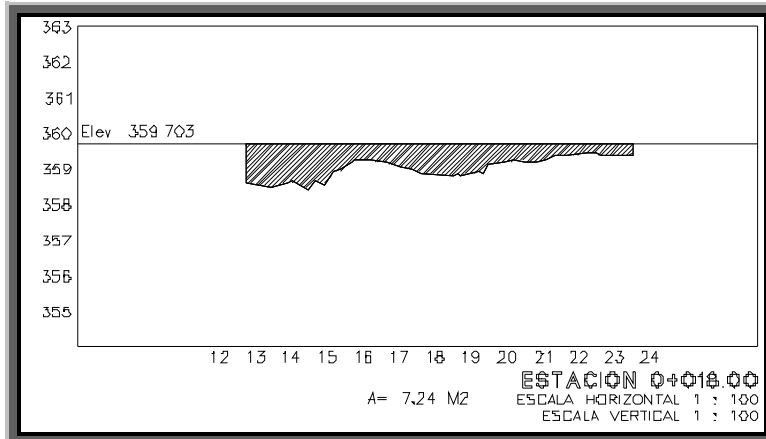
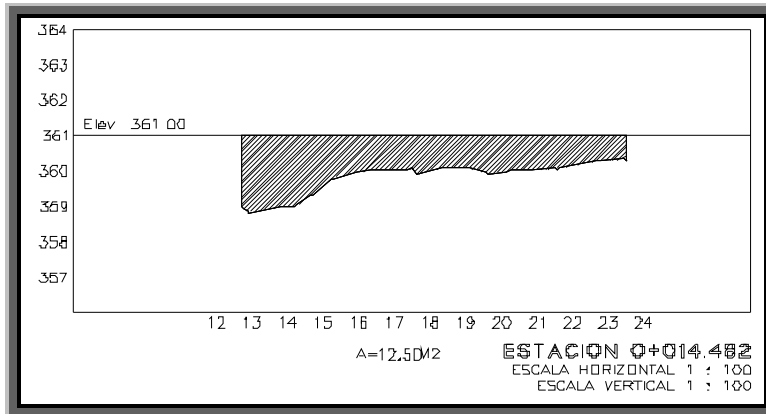


Figura 5.16. Reposición de concreto en la estructura de control.

En la figura anterior se muestra la planta general de la excavación de la zona de control para la reposición de los concretos, se configuraron con Estación Total la excavación ejecutada, como se muestra en la figura 5.16 sombreada de colores, para obtener el área de la excavación por secciones y así conocer el volumen de colado.

En caso de que se requiriera de eliminar los peines que se forman al ejecutar el corte con maquinaria o con explosivos se procedía a marcar nuevamente cortes o terraplén según sea el caso, de tal manera que la superficie de excavación cumpla con la línea de proyecto para el desplante del acero de refuerzo de los monolitos que sirven de asentamiento para las pilas, muros laterales y el cimacio. A continuación como ejemplo, se muestran las secciones referidas al eje del cimacio para el colado #52 (ver figuras 5.16 y 5.17).



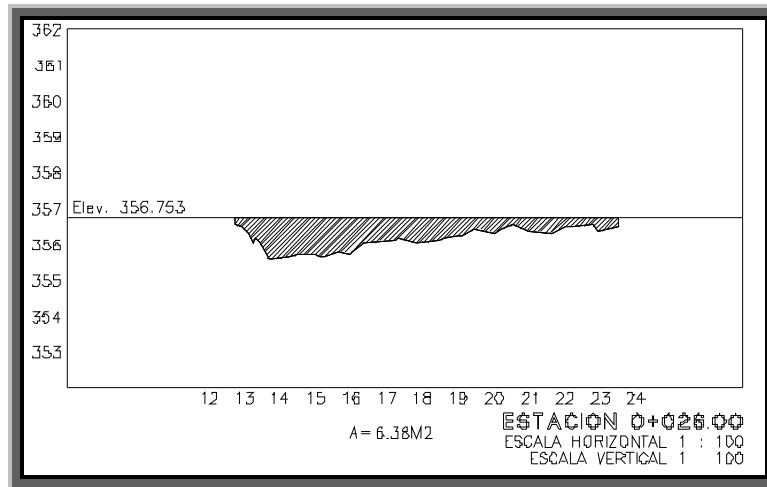


Figura 5.17. Secciones referidas al eje de cimacio del colado #52.

Todos los colados en contacto con la roca se realizaron después de hacer una limpieza minuciosa del área de la estructura de control donde se ubican las cinco pilas revestidas de concreto, de las laderas y taludes en ambas márgenes del vertedor donde se ubican los dos muros laterales en la misma estructura de control.

Esta limpieza también se aprovechó para levantar secciones topográficas a detalle, mismas que sirvieron para hacer las conciliaciones geológicas y así obtener las imputabilidades en sobreexcavación y bajoexcavación, al mismo tiempo los volúmenes de sobreconcreto, después se marcaron puntos en el talud para el barrenado de aproximadamente de 6m en dichos puntos, para posteriormente se colocan los anclajes de fricción de varilla corrugada de 1 o 1/2 pulgada, y se inyectan con concreto.



Fotografía 12. Desplante de acero de refuerzo. Fotografía 13. Vista aguas arriba de construcción de la pila.

5.3.1.2 Geometría del Cimacio

La geometría del cimacio se trazó topográficamente sobre los paños de cada pila para el alineamiento del refuerzo de acero para verificar su recubrimiento de concreto hidráulico y para el colado se colocaron guías verificadas previamente por las brigadas de topografía.

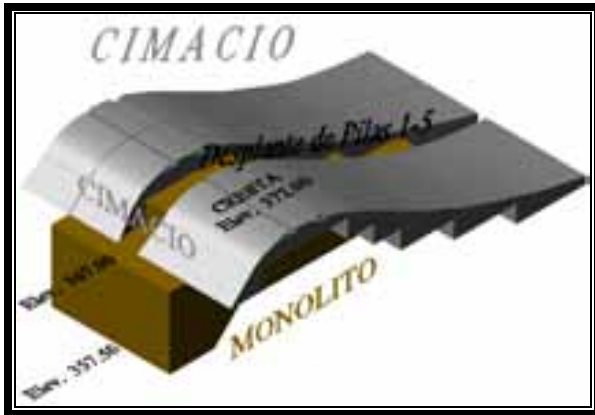


Figura 5.18. Isométrico Cimacio.



Fotografía 14. Vista aguas arriba de construcción del cimacio.

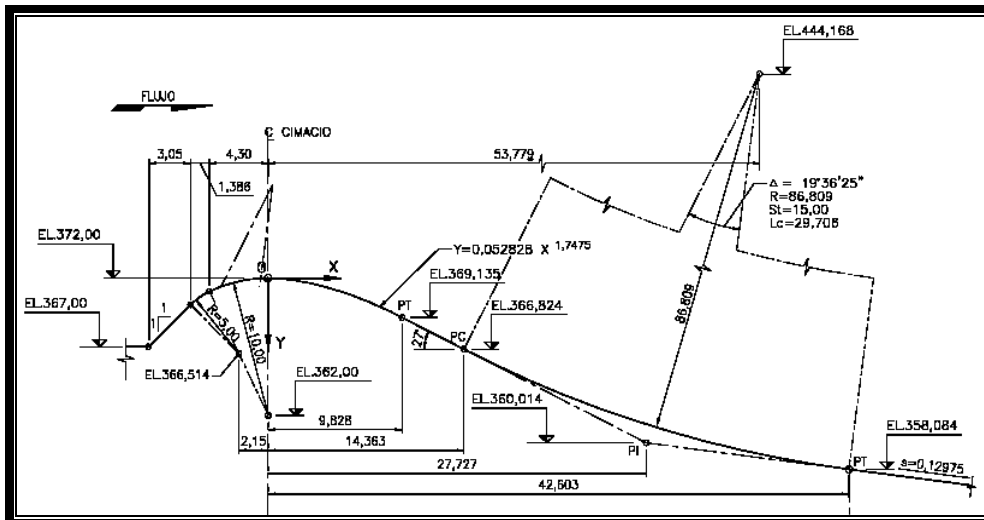


Figura 5.19. Geometría del cimacio.

Como se mencionó anteriormente, la estructura de control es un cimacio⁵ del tipo Creager, compuesta por dos muros laterales y cinco pilas ambos revestidos de concreto hidráulico que conforman seis vanos para alojar seis compuertas metálicas radiales operadas con servomotores. Las cinco pilas y los dos muros laterales se desplantan a partir de los monolitos del cimacio cimentados en roca, hacia aguas arriba a la elevación 367 con cadenamiento 0-011.00 y hacia aguas abajo a la elevación 358.084 con cadenamiento 0+038.97, ver plano CD-E042-PL-041-01.

⁵ Moldura en forma de "s", que tiene partes cóncavas y convexas

5.3.2 Construcción y diseño de las pilas de concreto

El avance de la construcción y colado de las pilas y muros es de 2.40 m de elevación, dicho avance incluye el refuerzo de acero de todo el cuerpo de la pila. Por lo que es necesario nivelar todo el armado de acero del cuerpo de la pila (incluyendo la nariz y la cola de la pila) y tomando en cuenta todos los detalles geométricos que se presentan a lo largo de la planta como: ranuras para compuertas radiales y ranuras para juego de agujas de las compuertas planas, pozos, drenes, canaletas, cajas para tubería eléctrica, etc., en la siguiente figura se muestran los detalles geométricos en planta de las pilas.

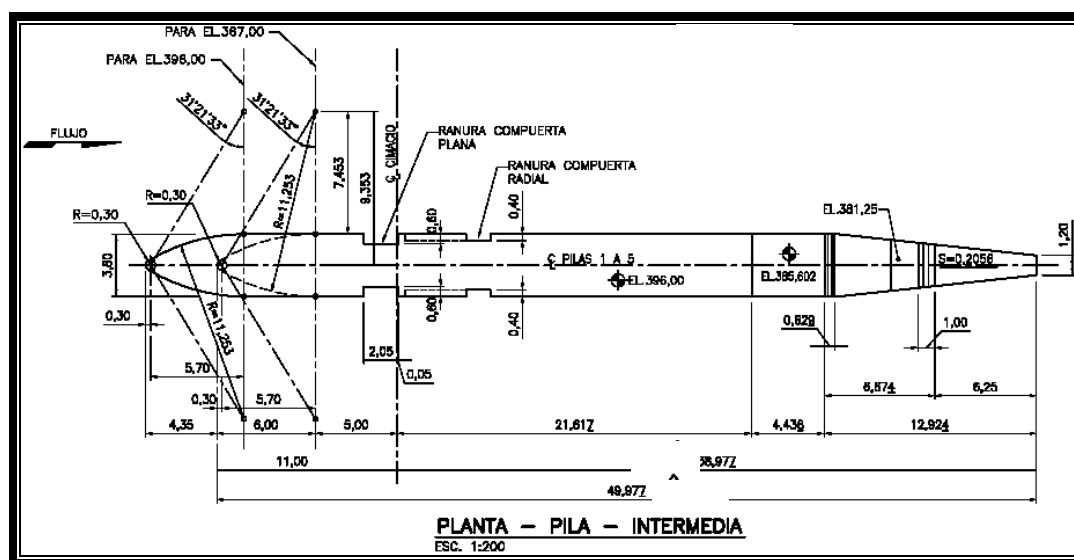


Figura 5.20. Planta general de la pila.

Topográficamente la construcción de las pilas y de los muros laterales se controló a partir de dos ejes principales: la primera el eje de cimacio, con este eje se marcaron referencias topográficas como cadenamientos y elevaciones para el control topográfico del avance de colado de las pilas y muros; el segundo es el eje del vertedor que pasa por el centro de la pila 3 e interseca perpendicularmente también en la pila 3 con el eje de cimacio, dicho eje nos sirvió principalmente para la construcción y chequeo de la cimbra para el colado por avance a lo largo del cuerpo de las pilas y muros laterales.

Para el chequeo del refuerzo de acero y de la cimbra para el paño de concreto de la nariz de las pilas se realizaron en dos casos, en planta y perfil:

En perfil, para la pendiente vertical de la nariz de la pila con talud de 0.15:1, se realiza el siguiente cálculo con los siguientes valores de proyecto.

$$(Z - Z') \times S + Y' = Y \quad (5.1)$$

donde:

Z = elevación medida.

Z' = elevación de proyecto = 367 m.

S = pendiente vertical de la nariz de la pila = 0.15

Y' = cadenamamiento de proyecto, distancia entre el eje de cimacio a la nariz de la pila = 11 m

Y = cadenamamiento calculado

5.3.2.1 Chequeo del talud en perfil del refuerzo de acero y paño de concreto de la nariz del cuerpo de la pila

La pila se desplanta a la elevación 367.0 con cadenamamiento 11 metros hacia aguas arriba del eje de cimacio (ver figura 5.20), o sea, 0-011.00, por esta razón son los valores iniciales y de proyecto. La fórmula anterior nos sirve para conocer la distancia horizontal o cadenamamiento entre la nariz de la pila a diferentes elevaciones y el eje de cimacio.

A continuación se presentan los cadenamamientos calculados a diferentes elevaciones conforme se avanza la construcción y el colado de las cinco pilas, se recuerda que la distancia horizontal entre la punta de la nariz de la pila a la elevación 367 y la punta de la nariz de la misma pila pero a la elevación 396 es de 4.35 m, (figura 5.21).

PILAS 1 a 5			
Colado #	Elevación (m.s.n.m.)	Y' (m)	Y (m)
Desplante	367.00	11	11.00
1	369.60	11	11.39
2	372.00	11	11.75
3	374.40	11	12.11
4	376.80	11	12.47
5	379.20	11	12.83
6	381.60	11	13.19
7	384.00	11	13.55
8	386.40	11	13.91
9	388.80	11	14.27
10	391.20	11	14.63
11	393.60	11	14.99
12	396.00	11	15.35

Tabla 5.6. Valores de "Y" para el chequeo del talud de la nariz de las pilas 1 a 5.

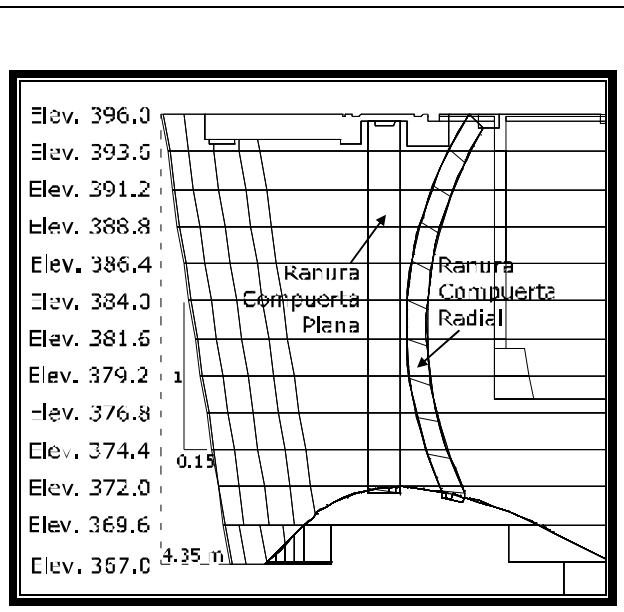


Figura 5.21. Sección y disposición de colados cada 2.40 m de avance en las pilas 1 a 5.

Con los valores calculados de "Y" se lleva a cabo el control del talud de la nariz de la pila ubicada aguas arriba del vertedor con pendiente de 0.15, con la Estación Total y con la ayuda del láser se chequea el refuerzo de acero y la cimbra para posteriormente se realizan los trabajos de colado en el cuerpo de la pila a la elevación 391.2. hay que recordar que el colado del cuerpo de la pila abarca de la nariz hasta la cola en planta por 2.40 m de altura.

En caso de que hay variación de error en la pendiente, el cadenero coloca un prisma en la punta de la nariz y el topógrafo le indica en que posición debe quedar el prisma, ya sea, moviendo hacia la izquierda o hacia la derecha, hacia arriba o hacia abajo, de tal manera que cumpla el valor de “Y” calculado a la elevación que se esté trabajando. Una vez que se le indique al cadenero el punto exacto y la elevación exacta se coloca una varilla de nivel, se solda dicha varilla con el armado de acero y se marca con pintura el nivel. En el caso de la cimbra solo se mueve la cimbra hacia fuera o hacia adentro según sea el caso, la punta de la nariz de las pilas tienen un radio de 30 cm.



Fotografías 15 y16. Vista aguas arriba de la pila 1. Cadenero colocando el bastón con prisma en la punta de la nariz de la misma pila para el chequeo de la cimbra para el colado.

5.3.2.2 Chequeo en planta del refuerzo de acero y paño de concreto de la geometría de la nariz del cuerpo de la pila

En planta, se requieren calcular los valores de X con respecto al eje de la pila 3 que es el eje del vertedor para cada uno de las pilas que conforman la estructura de control y llevar a cabo el control topográfico del armado de refuerzo de acero y de la cimbra para el chequeo del paño de concreto a ambos lados de la nariz de cada pila antes de que se realicen los trabajos de colado en concreto hidráulico, (tabla 5.7 y figura 5.23).

Hay que considerar los siguientes valores de proyecto para el cálculo de los valores de la distancia horizontal X en metros con respecto al eje del vertedor, si los valores de X(+) son positivos se encuentran a la derecha del eje de la pila 3 (eje del vertedor) y si los valores de X(-) son negativos se encuentran a la izquierda del eje de la pila 3. La distancia entre ejes de las pilas es de 15.80 m, el espesor del cuerpo de la pila es de 3.80 m y el radio de ambos lados de la nariz es de 11.253 m referido al cadenamiento 0 – 005.00 para la elevación 367 y referido al cadenamiento 0 – 009.10 para la elevación 396, (figuras 5.20 y 5.22).

A continuación, como ejemplo, se presentan los valores de la distancia horizontal X calculados y empleados para marcar los límites y niveles del paño de concreto en ambos lados de la nariz de la pila 5 para la elevación 367.

Cadenamiento Y (m)	VALORES DE X (m) PARA LA PILA #5, con respecto al eje del vertedor (Pila 3)			
	Punto	Lado izquierdo	Punto	Lado derecho
0 – 005.000	1	-33.500	2	-29.700
0 – 006.000	3	-33.455	4	-29.745
0 – 007.000	5	-33.321	6	-29.879
0 – 008.000	7	-33.093	8	-30.107
0 – 009.000	9	-32.765	10	-30.435
0 – 010.000	11	-32.328	12	-30.872
0 – 010.856	13	-31.856	14	-31.344
0 – 011.000	15	-31.600	15	-31.600

Tabla 5.7. Valores de "X" para el paño de concreto en ambos lados de la pila5.

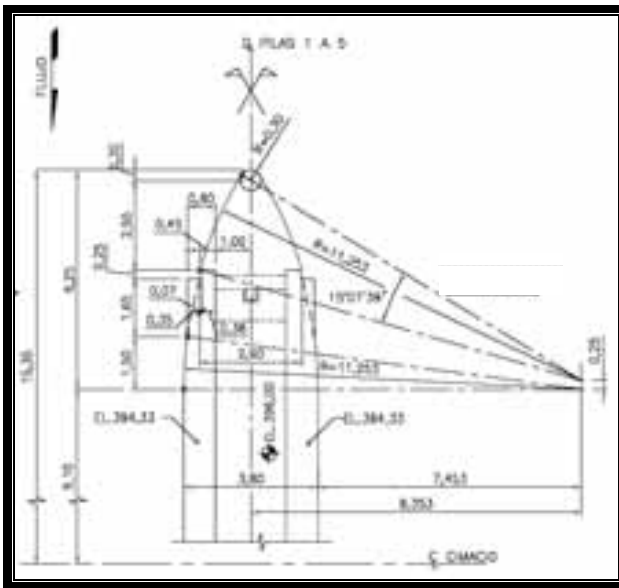


Figura 5.22. Detalle geométrico de la nariz en pilas 1 a 5.

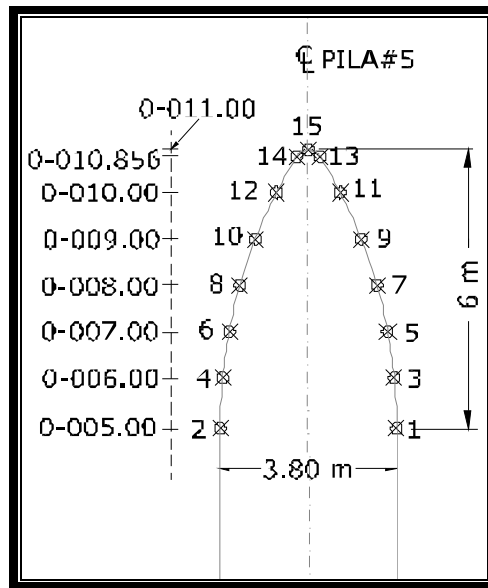


Figura 5.23. Ubicación de los valores de "X".

Con los valores calculados de "X" se lleva a cabo el control topográfico en ambos lados de la nariz de la pila para el colado de la misma. Para marcar niveles al armado de refuerzo de acero, al espesor del colado se le resta al valor de "X" que se desea trabajar, también con el cadenamiento y elevación empleado para la ejecución del avance de las obras en todas las pilas. Estos valores son exclusivamente para la pila 5, hay que calcular los valores de "X" para cada una de las pilas antes de trabajar para facilitar los trabajos de ejecución.

Con la Estación Total se checa el armado de refuerzo de acero para posteriormente se realicen los trabajos de colado en la pila por ejecutar, el cadenero coloca un prisma en cualquier punto de la varilla de la estructura de acero en forma de arco en ambos lados de la nariz y el topógrafo le indica en que posición debe quedar la varilla, para ahorrar tiempo es conveniente poner cuatro niveles en la estructura de acero en ambos lados de la nariz de dicha pila de 5.70 m de longitud, (fotografías 17 y 18).

En el caso de la cimbra se coloca el prisma cada metro y el topógrafo le da instrucciones al cadenero, ya sea, moviendo hacia la izquierda o hacia la derecha de tal manera que la cimbra cumpla con el espesor del colado en ambos lados de la nariz y hacia arriba o hacia abajo cumpliendo con el valor de la elevación de proyecto. Cuando se checa la cimbra normalmente en algunos puntos de los lados de la nariz están bien otros tienen variaciones de milímetros o centímetros, esto se debe a que mueven las varillas de nivel y por error de colocación de las cimbras por eso es importante checar toda la cimbra antes de colar.

Una vez que se le indique al cadenero el punto exacto con la elevación de proyecto, si la cimbra no coincide con las medidas, el cadenero le da instrucciones por parte del topógrafo a los trabajadores que mueva la cimbra, luego el cadenero coloca otra vez el prisma para su revisión. La tolerancia en las medidas se manejan máximo de cuatro milímetros.



Fotografías 17 y 18. Vista aguas arriba de la pila #5 antes y después de colar.

En la fotografía 19, aparece un cadenero sosteniendo un bastón con prisma para la lectura del paño de concreto y el chequeo de la cimbra para su colado operada por el topógrafo y en espera de instrucciones del mismo en caso de que la cimbra no cumpla con el espesor del colado en ambos lados de la nariz. En la fotografía 20 se observa una vista total del cuerpo de la pila antes de colar, en donde se aprecian la estructura del refuerzo de acero y la colocación de la cimbra para el colado.



Fotografías 19 y 20. Vista aguas arriba de la pila #3 antes de colar.

5.3.2.3 Ranuras para compuerta radial

Para cada avance del colado de los muros laterales y pilas de la estructura de control es necesario checar el armado de refuerzo de acero y la cimbra en todos los detalles geométrico de la ranura para compuerta plana y compuerta radial en pilas y muros laterales donde más adelante se realizarán el montaje de las seis compuertas metálicas radiales de dimensiones 12 m de ancho por 20.70 m de altura y de 178 toneladas de peso bruto cada pieza. La compuerta plana está compuesta por tablero de agujas que se abren y se cierran, y es operada por una grúa viajera, tiene como función cerrar el paso del flujo de agua hacia los canales de descarga para darle mantenimiento a la compuerta radial. Las compuertas radiales son piezas metálicas de 178 toneladas cada una, operadas por servomotores, cuya función principal es descargar el volumen de agua hacia el vertedor que se consideran excedentes de la capacidad útil del vaso. A continuación se presentará el procedimiento del chequeo de las ranuras para las compuertas radiales en pilas y muros laterales. Para marcar el paño de concreto de la ranura para la compuerta radial se realiza el siguiente cálculo tomando en cuenta los datos de proyecto que se muestran en la figura 5.24.

Datos proyecto:

$$Z = 382.301$$

$$R = 24.10 \text{ m}$$

$$Elev. = Z \pm \sqrt{(R^2 - X^2)} \quad (5.2)$$

donde:

$X = 25.795 - X'$, este valor aumenta horizontalmente de izquierda a derecha partiendo como origen el eje del cimacio,

X' = distancia horizontal del punto de la ranura de la compuerta radial a la elevación pedida para la siguiente etapa de colado de la pila o del muro lateral, al eje de la articulación de la misma compuerta radial y,

Elev. es la elevación calculada

El valor de la elevación 382.301 es el valor de proyecto del eje de rotación de la compuerta radial y el valor 25.795 m es la distancia horizontal del eje del cimacio al eje de la articulación de la compuerta radial de la pila o del muro lateral (figura 5.24). Una vez calculada la elevación se compara con la elevación medida con la Estación Total, hay que considerar que si la elevación por calcular con la fórmula 5.2 se encuentra abajo de la elevación 382.301, se resta y en caso contrario se suma.

Si la elevación calculada no coincide con la elevación medida con el aparato se cambia el valor de X' ya sea aumentado o disminuyendo dicho valor de tal manera que las dos elevaciones sean iguales.

Obteniendo el valor de X calculada con la fórmula, giramos la Estación Total con el láser encendido hasta que nos dé en la pantalla del aparato el valor de X y la elevación calculada igual a la elevación medida, entonces le decimos al cadenero que coloque un nivel con varilla y marque con pintura la elevación, que sería el nivel del paño de concreto de la curva derecha de la ranura de la compuerta radial. Para la curva izquierda de dicha ranura es el mismo procedimiento pero cambia el valor del radio a 25.400 m, por lo tanto el ancho de la ranura de la compuerta radial es de 1.30 m y el ancho del empotramiento de la misma ranura es de 0.40 m.

Para la ranura de la compuerta plana es más fácil, con la Estación Total marcamos niveles y le decimos al cadenero que mueva su prisma hacia arriba o hacia abajo para la elevación y hacia la izquierda o hacia la derecha para el valor de X , respetando los valores de proyecto para el ancho de la ranura de la compuerta plana de 2.10 m y el ancho de empotramiento de la misma ranura de 0.50 m.



Fotografía 21. Ranuras para compuerta radial y plana.



Fotografía 22. Vista aguas arriba de la pila 1 y 2.

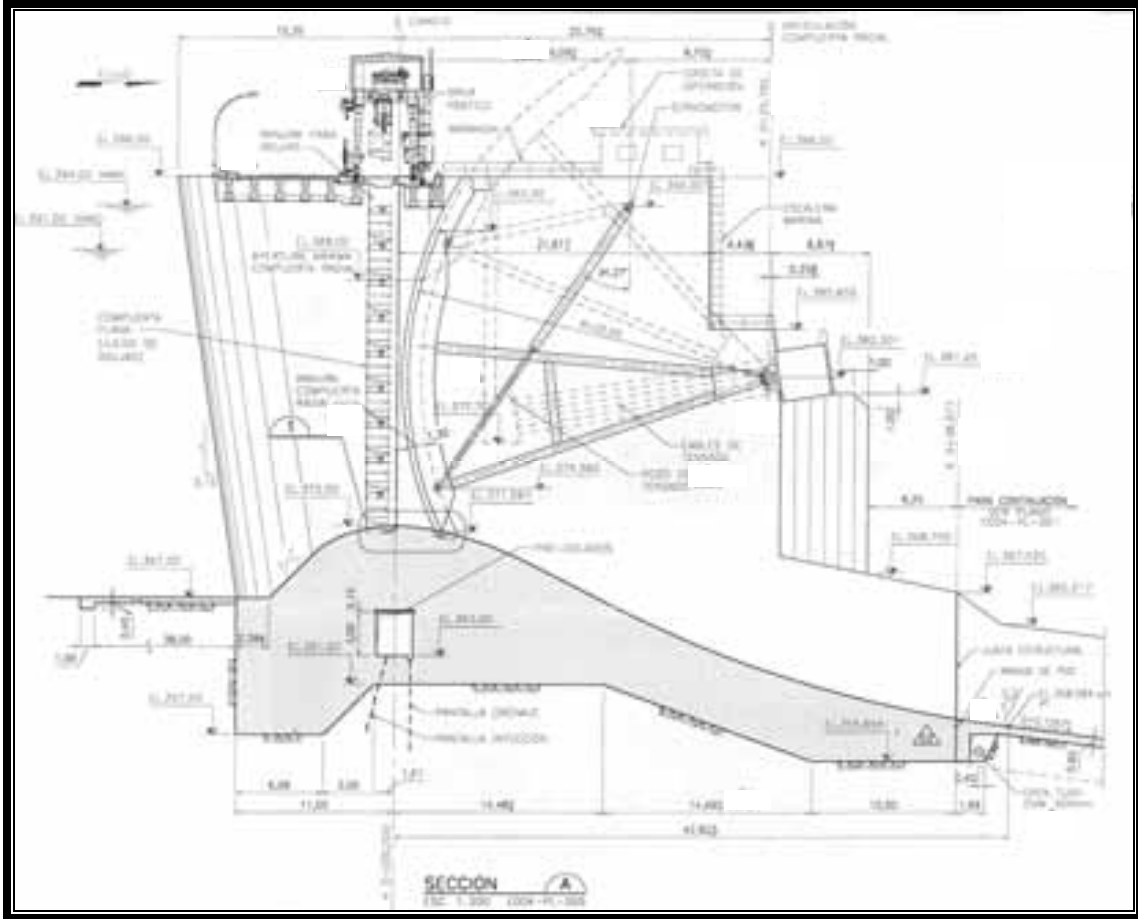
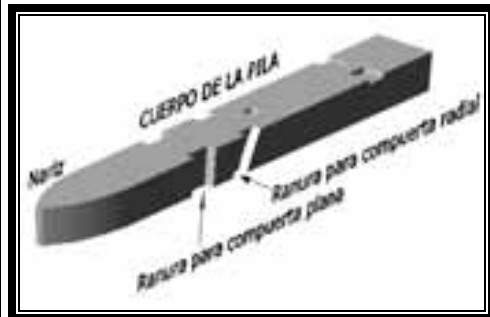
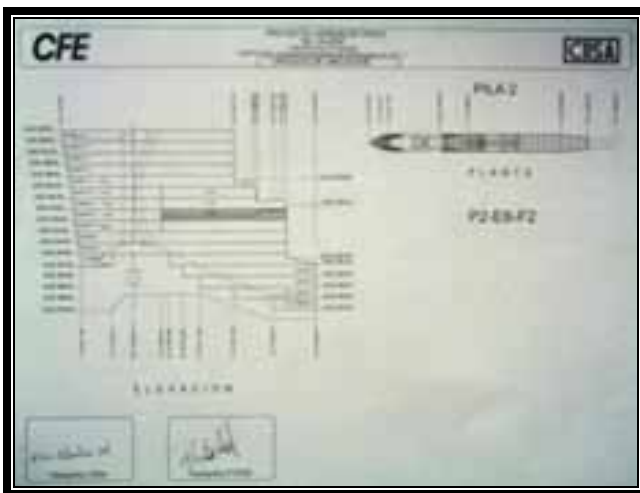


Figura 5.24. arreglo general, sección, y detalle geométrico de la pila 1 a 5.



Figuras 5.25 y 5.26. Orden de colado para la pila 2, e Isométrico del colado del cuerpo de la pila.

Después de terminar con éxito todas las revisiones o chequeos en las medidas indicadas en el plano, tanto de la estructura de acero como todos los detalles geométricos del cuerpo de la pila: nariz, ranuras para compuertas radial y plana, etc., se firma una orden de colado por parte de la brigada de topografía del contratista CIISA (Constructora Internacional de Infraestructura S.A. de C.V.) y por personal de la CFE así como la empresa supervisora PYPESA (Planeación y Proyectos S.A.), como se muestra en la figura 5.25.

En la siguiente fotografía se observa el avance en mayo de 2005, de las tres obras que conforman el proyecto hidroeléctrico “El Cajón”; a la izquierda se encuentra la obra de contención en donde se aprecia la construcción de la cortina de concreto; en medio se encuentra la obra de toma en donde se alojan las bocatomas de las unidades U-1 y U-2; y a la derecha se encuentra la obra de excedencias, primero se observa el canal de llamada en excavación luego la estructura de control y al fondo se encuentra los canales de descarga también en excavación.



Fotografía 23. Vista panorámica de la obra de contención - obra de toma -obra de excedencias.



Fotografías 24 y 25. Avance de la estructura de control. Vista del colado de la cresta del cimacio.

5.3.3 Diseño geométrico y topografía del canal de descarga

Como se mencionó anteriormente, el canal de descarga lo constituyen dos canales a cielo abierto que inician en el kilometro $PT\ 0+042.603$ aguas abajo del cimacio en la elevación 358.084 con pendiente descendente $s = 0.12975$, que se liga con la estructura de control y es la junta estructural entre el cimacio y los canales de descarga, y terminan en el kilometro $PC\ 0+704.033$ a la elevación 244.585 con pendiente descendente $s = 0.23549$ y es la junta estructural entre los dichos canales y la cubeta defletores tipo salto de esquí, que es la estructura terminal con ángulo de salida de 20 grados y termina en el kilometro $PT\ 0+742.295$ a la elevación 246.841. A dichos canales los divide un muro intermedio que aloja a la galería de inspección y de drenaje, también hasta la cubeta defletores.

La pendiente en la losa de los canales de descarga también se controló mediante guías verificadas previamente por topografía antes de cada colado, ésta verificación consistió en marcar sobre las guías cadenamientos a cada dos metros y tomando en cuenta la pendiente descendente $s=0.12975$ a partir del $Km\ 0+042.603$ al $0+442.297$ (aireador 3), se calculó la elevación para cada cadenamiento verificándolo físicamente sobre la guía. El mismo procedimiento se utilizó en la rampa aguas abajo del aireador pero con pendiente más fuerte de $s=0.23549$ también descendente. Ver plano CD-E004-PL-001-03.

Cuando el agua corre por el vertedero y los canales de descarga contiene gran cantidad de energía y mucho poder destructivo debido a las altas presiones y velocidades. Estas cantidades de energía pueden causar erosión en el cauce del río, en el pie de la presa, o en las estructuras mismas de conducción, poniendo en peligro la estabilidad de las estructuras hidráulicas. Por lo tanto se deben colocar aireadores en el canal de descarga para que disipen la energía por medio de impacto e incorporación de aire al agua.

Los aireadores son losas escalonadas que se usa en canales de descarga donde el agua debe bajarse de una elevación a otra. El aireador impide aceleraciones inconvenientes del flujo a medida que el agua avanza por el vertedero. El canal puede diseñarse para descargas hasta de $5.5\ m^3/s$ por metro de ancho y la caída puede ser tan grande como sea estructuralmente factible. Con la losa escalonada, el agua llegará al pie del vertedero con una velocidad relativamente baja y no requerirá tanque amortiguador.

Se colocaron cinco aireadores en los canales de descarga en el proyecto hidroeléctrico "El Cajón" para una avenida máxima probable de $15,915.00\ m^3/s$ y el volumen de la avenida de diseño es de $5,238.00\ hm^3$. A continuación se muestra una tabla con los cadenamientos y elevaciones de cada aireador de los canales de descarga de la obra de excedencias.

Aireador #	Cadenamiento K	Elevación m.s.n.m.	Pendientes
1	0 + 242.297	330.173	0.12975
2	0 + 342.297	317.348	0.12975
3	0 + 442.297	304.002	0.23549
4	0 + 542.297	281.473	0.23549
5	0 + 642.297	258.023	0.23549

La estructura terminal de los canales de descarga y del muro divisorio que aloja a la galería de drenaje, están ligados a una cubeta deflectora tipo salto de esquí. Se utiliza para grandes descargas, principalmente en los vertedores. El flujo de agua salta hacia un punto aguas abajo del río Santiago reduciendo así la erosión en el cauce y el pie de la presa. La velocidad del flujo de agua depende de la descarga, de su energía y del ángulo de salida.

Existen dos modelos, trampolín liso y trampolín estriado, ambos con igual funcionamiento hidráulico y con las mismas características, que difieren únicamente en la forma de salir el agua del trampolín.

En el trampolín liso, el agua sale con mayor ángulo y choca con la superficie creando remolinos y haciendo que el flujo aguas abajo no sea uniforme. En el trampolín estriado, el agua sale con menor ángulo lo que hace que el choque con la superficie sea más suave y que el flujo aguas abajo sea uniforme. Debido a que tiene dos ángulos diferentes de lanzamiento, incorpora aire y también genera remolinos horizontales disipando mayor cantidad de energía.

5.3.3.1 Tratamiento de anclaje en taludes

Los tratamientos de anclaje y concreto lanzado a los taludes de las excavaciones en ambos márgenes de los canales de descarga, son necesarios para garantizar la estabilidad de taludes de cortes, terraplenes y de las estructuras a cielo abierto; bajo la acción de fuerzas de infiltración, empujes y subpresiones hidrostáticas que consisten en: colocación de anclas, aplicación de concreto lanzado, perforación o barrenación para inyecciones con mortero y drenajes.

En los canales de descarga se realizaron excavaciones masivas con explosivos, dicho material producto de la excavación se usó para rellenos en otros frentes de trabajo. Antes de colocar explosivos se lleva un control en las excavaciones llevadas a cabo por las brigadas de topografía que se encargaron de marcar cortes y terraplenes en dichos canales a cielo abierto y así como la eliminación de formación de peines en los taludes producto de la excavación.

En el muro lateral derecho del vertedor se marcaron puntos de barrenos en el talud vertical del muro con la Estación Total y siguiendo las líneas de anclas presentadas en el plano, después se barrenan dichos puntos a seis metros de profundidad, luego se colocan las anclas de varilla corrugada y se inyectan de concreto con mortero a cierta presión.

En la figura 5.27 se muestra el detalle geométrico de ancla para el talud vertical, el ángulo de barreno influye mucho en la estabilidad de taludes, para zonas con un talud de 0.25:1 se barrenan y las anclas se colocan horizontalmente como se muestra en la figura 5.28. las anclas de fricción son aquellas que se fijan mediante inyección de mortero en toda la longitud del barreno, se inyectan parcial o totalmente con cemento.

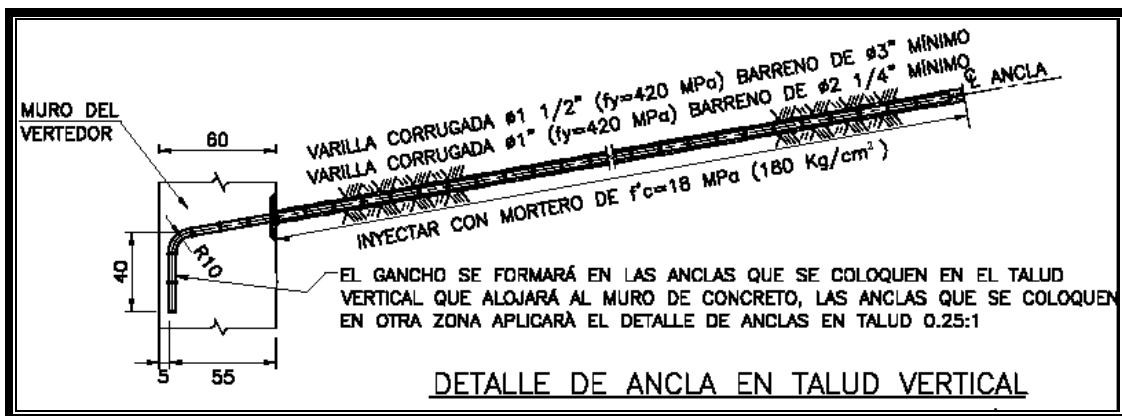


Figura 5.27. Anclas empleados en los muros laterales del canal de descarga.



Figura 5.28. Anclas empleados en los taludes de ambas márgenes del vertedor.

Una vez colocadas algunas líneas de anclas en el muro lateral derecho del vertedor se aplica concreto lanzado en dicha zona para proteger al talud de la erosión, reforzado con malla electrosoldada y drenes para drenar el lanzado. En la siguiente fotografía, (foto 23), se observa que en la parte de arriba del talud se emplearon anclas mostrado en la figura 5.28 y se aplicó concreto lanzado, en la parte de abajo y en la fotografía 24, se colocaron anclas tipo bastón como se muestra en la figura 5.27 sin aplicación de concreto lanzado para la colocación de refuerzo de acero del muro lateral izquierdo de la estructura de control y de la junta estructural del muro lateral izquierdo del vertedor.



Fotografías 23 y 24. Colocación de anclas en la margen izquierda del vertedor.

Las anclas también sirven para estabilizar las estructuras de refuerzo de acero de los muros laterales de los canales de descarga, en las siguientes fotografías se observan las líneas de anclas y la estructura de acero para el colado concreto – roca del muro lateral derecho del vertedor.



Fotografías 25 y 26. Colado concreto – roca del muro derecho del vertedor.

5.3.3.2 Galería de inspección y drenaje del canal de descarga

Al mismo tiempo se marcaron cortes para los drenes que inician en el talud de los muros laterales del vertedor (fotografía 23) y bajan hacia la superficie de los canales de descarga que estarán cubiertas por losas de concreto de 60 cm de espesor (fotografía 27) y llegan hasta el muro divisorio que sirve de drenaje y se descarga (fotografía 28).

Estos drenes (tubos pvc) captan el agua proveniente de los taludes y se drena por la galería de inspección y drenaje hasta el río aguas abajo, para evitar que el agua erosione los muros bajo la acción de fuerzas de infiltración.



Fotografía 27. Drenes en losas del canal de descarga (margen derecha) del vertedor.



Fotografía 28. Colocación de tubos pvc en el muro divisorio de la galería de inspección y drenaje.

Para el muro divisorio que aloja a la galería de inspección y drenaje que divide a los canales de descarga, se marcaron cortes y terraplén para el desplante de dicho muro de sección trapecial y también se marcaron puntos de líneas de anclaje en ambos taludes de la sección trapecial de dicho muro divisorio, para realizar los trabajos de colocación de refuerzo de acero y de la cimbra (fotografía 29). Se colocaron niveles con varilla y pintura cada dos metros para el armado de la estructura de acero, después de la colocación del refuerzo de acero se verificaron todas las acotaciones de dicha estructura y de la cimbra. Para el chequeo se colocó un mini prisma en cada punto de la estructura de acero (fotografía 30) y con la Estación Total se tomaron las lecturas y en caso de error se movía la cimbra hacia afuera o hacia adentro, en cuanto a la elevación, se colocaban cuñas de madera para levantar dicha cimbra.

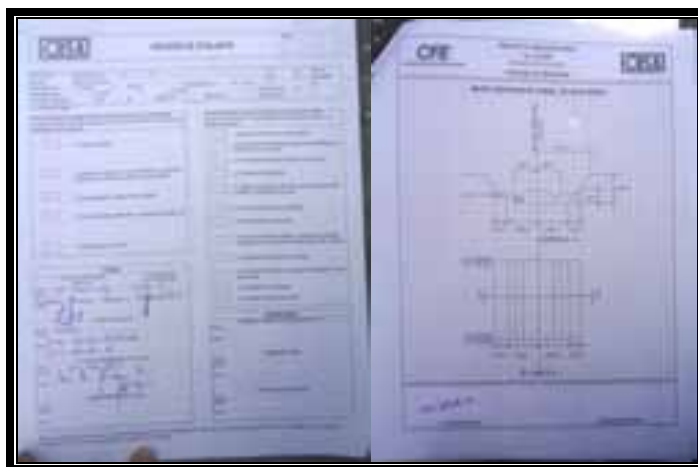


Fotografía 29. Desplante del muro divisorio.



Fotografía 30. Chequeo de la cimbra para el colado.

Después de terminar con éxito todas las revisiones de las acotaciones indicadas en el plano de la estructura de acero y de la cimbra próximo a colar del desplante del muro divisorio se firman documentos para la orden de colado como se muestran en las fotografías 31 y 32, en la primera foto firma el jefe de la brigada de topografía y en la segunda aparece el croquis con el avance indicados con sus respectivos cadenamientos y elevaciones.



Fotografías 31 y 32. Orden de colado del muro divisorio.

La galería de inspección y drenaje se desplanta hasta la elevación 358.084 del $Km\ 0+042.603$ al $Km\ 0+242.297$ y se eleva de sección rectangular hasta la elevación 365.139 de 3.80 m de ancho y 7.055 de altura, se liga con la pila 3 en el cadenamiento $Km\ 0+042.603$ (figura 5.27), a partir del $Km\ 0+242.297$ (primer aireador) disminuye el tamaño y la elevación de la sección rectangular del muro divisorio por el perfil del canal de descarga del vertedor con pendiente descendente (figuras 5.29 y 5.30). Topográficamente la construcción del muro divisorio se controló con el eje de cimacio y el eje del vertedor, y con las mojoneras existentes en las márgenes del vertedor se crearon puntos de apoyo auxiliares sobre las losas de los canales de descarga del vertedor (fotografía 31). Se marcaron niveles con pintura para el armado de la estructura de acero en sección rectangular del muro divisorio tanto abajo como arriba y a lo ancho del muro. Después de la colocación del refuerzo de acero se instalaron dos cimbras metálicas; una para el colado del muro divisorio (hacia fuera), la otra hacia adentro que es el paño de concreto de la galería; primero se colaban a los lados y luego arriba del muro (fotografía 32), dicha cimbra se apoya y se transporta con rieles de acero por lo que resulta laborioso al alinear dicha cimbra porque al mover de un lado se movía a veces todo.



Fotografía 31. Punto de apoyo en canal de descarga.



Fotografía 32. Colocación de cimbra metálica.

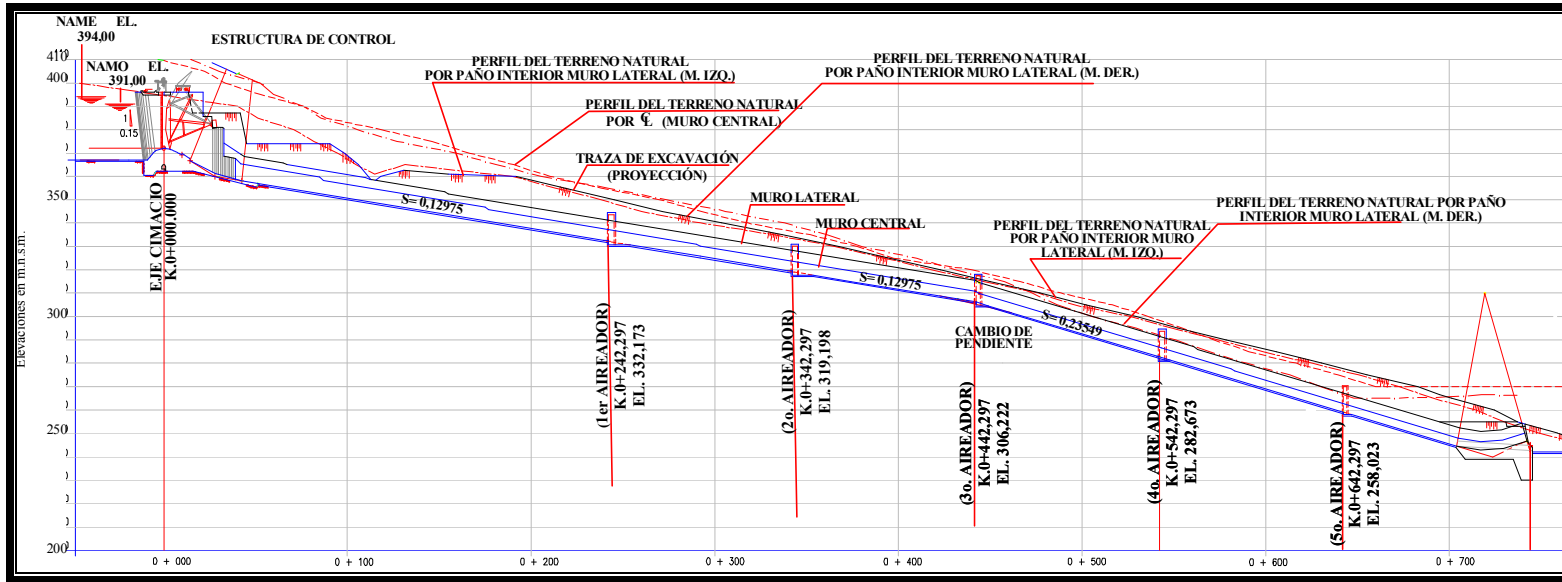


Figura 5.29. Perfil del canal de descarga.

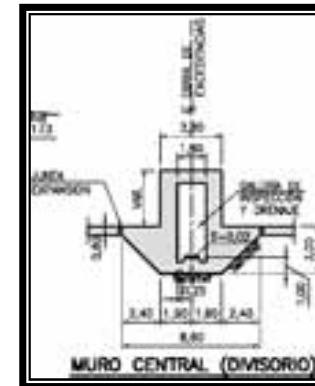
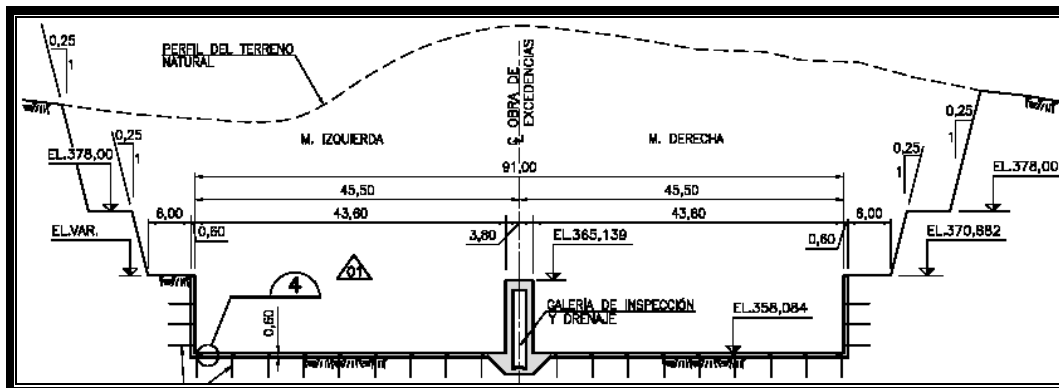


Figura 5.30. Sección del muro divisorio del cadenamiento 0+042.603 al 0+242.297 del vertedor.
Figura opuesta, detalle geométrico del muro central o divisorio.



Fotografías 33 y 34. Avance en la construcción del muro divisorio (galería de inspección y drenaje) y muros laterales, vistos desde aguas abajo y aguas arriba.

En la siguiente imagen se observa el vertedor vista aguas abajo sobre el río Santiago, a la derecha del vertedor se encuentra la cortina de roca aguas abajo. Al fondo del vertedor se encuentra la estructura de control, también se observa el avance de la construcción de los canales de descarga y del muro divisorio como se muestran en las fotografías anteriores. El avance de los canales de descarga mostrado en la fotografía 35, se encuentra aproximadamente en el kilómetro $Km\ 0+425.297$ cerca del tercer aireador ubicado en el kilómetro $Km\ 0+442.297$ con una pendiente descendente y más pronunciada ($s=0.23549$) que los dos primeros aireadores (ver perfil del vertedor mostrado en la figura 5.29), hasta la cubeta deflectora que es la estructura terminal del vertedor.



Fotografía 35. Vista aguas abajo de la obra de excedencias y de la cortina de roca.

Por lo que respecta a la colocación de partes fijas metálicas se tuvo más cuidado en los trazos topográficos ya que se reducen bastante las tolerancias permitidas, por lo tanto se utilizaron equipos de precisión, sobre todo en la colocación de placas de asiento para las compuertas radiales, compuertas planas y las agujas, así como en las pistas de deslizamiento de tal forma que se verificó que conservaran un paralelismo y verticalidad prácticamente perfecto.

Capítulo

6

**OBRAS
ASOCIADAS
[CAMINOS]**

CAPÍTULO VI

OBRAS ASOCIADAS - CAMINOS

6.1 Vialidades

En cuanto a los trabajos topográficos que se requieren para construir un camino los podemos dividir en dos etapas: la primera etapa donde se hacen recorridos para el reconocimiento de la topografía de terreno para poder definir por donde realizar el trazo preliminar tomando en cuenta muchos factores por ejemplo; el tipo de camino, movimiento de materiales en cortes y terraplenes, buscar la ruta más rápida y económica para el acceso a la zona por construir.

La segunda etapa comprende todos los trabajos topográficos necesarios durante la construcción como son: el replanteo del trazo de proyecto, la verificación de las referencias tanto de la planta como para el perfil, la marcación de cerros, cortes, terraplenes, cadenamientos, levantamientos periódicos de secciones transversales para cubicar los avances cada 20 metros del camino en terracería o por pavimentar.

Además durante los trabajos de revestimiento del camino se requiere más constantemente de la participación del control topográfico ya que se presentan varios detalles a la vez como es; el alineamiento vertical o pendientes, sobreanchos, sobreelevaciones, transiciones, sobre todo en la carpeta asfáltica donde se reducen las tolerancias permitidas.

Para el caso del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, la construcción de las vialidades se planearon en dos etapas tanto las de margen izquierda como las de margen derecha; en la primera etapa se construyó a nivel terracerías que comprendió el desmonte, obras de drenaje, cortes y terraplenes hasta dejar la subrasante de proyecto de tal manera que se pudiera transitar con equipo pesado en el acarreo de materiales para la cortina y dar acceso al personal de la obra (jefes de obra, cabos de obra, supervisores, ingenieros, cadeneros, obreros, carpinteros, etc.) a todos los frentes de trabajo durante la etapa de construcción. La segunda etapa sobre todo en las vialidades definitivas consistió en la construcción del revestimiento de los caminos con capas de sub-base y base de 15 cm de espesor cada una, riego de impregnación, carpeta asfáltica y riego de sello (ver figura 6.1).

El estudio y proyecto para los caminos se realizó de acuerdo con las normas y especificaciones vigentes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes salvo algunas adecuaciones en los grados de curvatura, pendientes y aperlamientos mejor dicho sobreelevaciones, todo esto previendo el traslado de piezas y equipos electromecánicos de gran volumen y peso. Cabe mencionar que durante la construcción de las vialidades en el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón hubo modificaciones de los proyectos originales tomando en cuenta el tiempo de ejecución, volúmenes de obra y costos.

6.2 Elementos de una sección transversal de un camino

Los caminos constan de una faja central llamada calzada, que se destina al tránsito de vehículos y de dos fajas laterales más estrechas denominadas paseos o acotamientos destinados al tránsito de peatones y animales de carga y que sirven a su vez para depositar los materiales de conservación o reparación; el conjunto de estas fajas recibe el nombre de corona. Si el camino está en corte, la corona queda limitada por las cunetas, y si está en terraplén, después de la corona siguen los taludes del terraplén. (Figura 6.1).

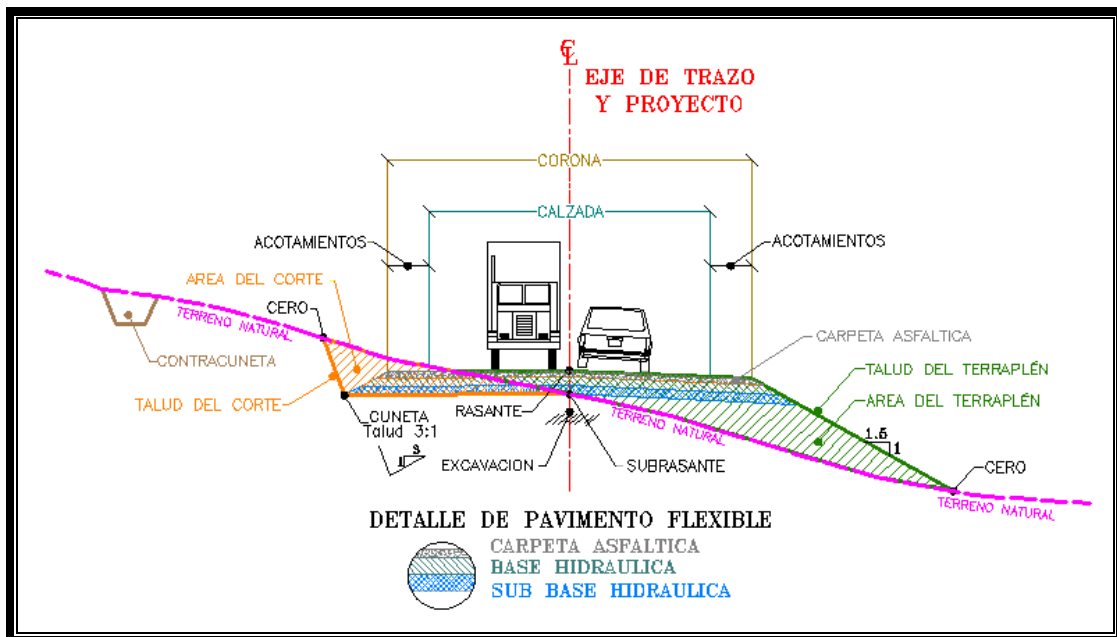


Figura 6.1. Elementos que integran la sección transversal de un camino.

La sección transversal será un corte vertical en un punto cualquiera normalmente al alineamiento horizontal, que permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la vía en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural. La sección transversal de una vialidad quedará compuesta por los siguientes elementos:

6.2.1 Corona

Es la superficie de la vialidad terminada comprendida entre los hombros del camino y/o los interiores de la cuneta. Los elementos que definen la corona serán:

- Rasante:** es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. En la sección transversal será representado por un punto.

- **Calzada:** es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles.
- **Carril de Estacionamiento:** son fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino.
- **Pendiente Transversal:** es la pendiente que se da a la corona perpendicular a su eje. Según su relación con los elementos de alineamiento horizontal se presentan tres casos; bombeo, sobreelevación y transición de bombeo a la sobreelevación.

Se entenderá por **bombeo** a la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia ambos lados de la rasante, para evitar la acumulación del agua sobre la vialidad. El bombeo deberá permitir un drenaje adecuado de la corona con una pendiente mínima, y que no genere sensación de incomodidad e inseguridad a los usuarios. El bombeo para las superficies de concreto hidráulico o asfáltico será de 3% en zonas planas y del 2% en zonas montañosas o con lomerío, para superficies de tierra será de 3% a 4%; sin embargo, estas pendientes podrán variar a juicio de la autoridad correspondiente en aquellos casos que presenten situaciones particulares como remates a pavimentos existentes, instalaciones existentes, sobreelevaciones, intersecciones, etc. El bombeo depende de la precipitación pluvial y de la clase de superficie del camino, ya que una superficie dura y tersa requiere menos bombeo que una rugosa y falta de compactación.

La **sobreelevación** será la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal. Sin embargo algunos problemas relacionados con la construcción, operación y conservación de la vialidad han demostrado la necesidad de fijar una sobreelevación máxima, admitiendo cuatro valores. Siendo el valor máximo para las zonas urbanas de 6%.

Velocidad de proyecto	Coeficiente de fricción lateral	VALORES PARA PROYECTO							
		S=0.12		S=0.10		S=0.08		S=0.06	
		G	R	G	R	G	R	G	R
30	0.280	65	17.63	62	18.48	58	19.76	55	20.83
45	0.210	32	35.81	30	38.20	28	40.93	26	44.07
55	0.177	18	63.66	17	67.41	16	71.62	15	76.39
65	0.157	12	95.49	11	104.17	10	114.59	9	127.32
70	0.150	8	143.24	7.5	152.79	7	163.70	6.5	183.34
80	0.140	6	190.99	5.5	208.35	5	229.18	4.5	254.65
90	0.135	4.5	259.65	4.25	246.10	4	286.48	3.5	327.40
100	0.130	3.5	327.40	3.25	352.59	3	381.97	2.75	416.69
110	0.125	3	381.97	2.75	416.89	2.5	458.37	2.25	509.29

Tabla 6.1. Establece para cada valor de sobreelevación "S", los grados "G" y radios "R" máximos para las curvas, en donde "VP" es la velocidad de proyecto en kilómetros por hora, y "CFL" es el coeficiente de fricción lateral.

Se entenderá por *transición del bombeo a la sobreelevación*, al efecto de pasar de una sección en tangente a otra situada en la curva del alineamiento horizontal, será necesario efectuar un cambio de la pendiente transversal de la corona, desde el bombeo hasta la sobreelevación requerida en la curva. Este cambio se hará gradualmente en toda la longitud de la espiral de transición.

Cuando la curva circular no tiene espirales de transición el cambio puede realizarse de la siguiente manera: Una parte en una tangente contigua a la curva y la otra sobre la curva circular. Se puede tomar hasta el 50% de la longitud de transición dentro de la curva circular, siempre que por lo menos la tercera parte de la longitud de la curva quede con la sobreelevación completa.

La consideración anterior limita la longitud mínima de las tangentes entre dos curvas circulares de sentido contrario y que no tengan espirales de transición. Esa longitud deberá ser igual a la semisuma de las dos longitudes de transición correspondientes a cada curva. Esa longitud de transición puede calcularse de la misma manera que las espirales de transición y numéricamente son iguales.

6.2.2 Subcorona

Es la superficie que limita las terracerías y sobre la que se apoyan las capas del pavimento. En la sección transversal será una línea. Los elementos que definen la subcorona y que son básicos para el proyecto de las secciones de construcción de la vialidad son; la subrasante, la pendiente transversal y el ancho.

- **Sub-rasante:** es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona.
- **Pendiente Transversal:** es la pendiente que se da a la subcorona perpendicular a su eje.
- **Ancho:** es la distancia horizontal comprendida entre los puntos de intersección de la subcorona con los taludes del terraplén, cuneta o corte.

6.2.3 Cuneta

Es una zanja construida en los tramos en corte a uno o a ambos lados de la corona, contiguas a los hombros, generalmente de sección triangular, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes del corte. Normalmente su sección triangular es de un ancho de 1 m, medido horizontalmente del hombro de la corona al fondo de la cuneta; y su talud de 3:1, el fondo de la cuneta parte el talud del corte. Deberán cumplir con los siguientes lineamientos:

- La capacidad hidráulica debe ser acorde con la precipitación pluvial de la zona y el área drenada.
- La longitud de una cuneta está limitada por su capacidad hidráulica, pues no debe permitirse que el agua rebase su sección y se extienda por el acontecimiento; por lo que deberá limitarse esta longitud colocando alcantarillas de alivio o proyectando las canalizaciones convenientes.
- Cuando la velocidad de agua es fuerte puede causar erosiones en la cuneta, para evitarlas habrá que disminuir esa velocidad o proteger las cunetas con materiales resistentes a la erosión.

También se pueden construir de forma trapezoidal y cuadrada. La forma triangular es preferible porque facilita su limpieza por medios mecánicos. El área hidráulica de la cuneta debe estar en el rango $0.18 - 0.20 \text{ m}^2$ y las dimensiones recomendadas, según el tipo de cuneta, son las que aparecen en la siguiente ilustración:

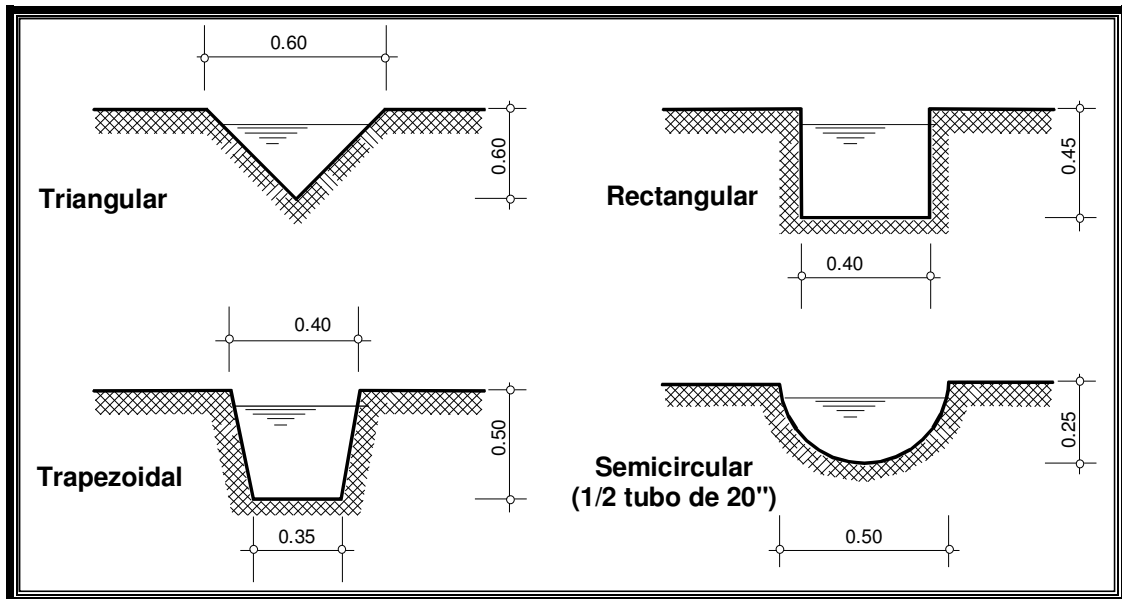


Figura 6.2. Distintas formas o diseño de las cunetas.

La función principal de las cunetas es servir de canal para evacuar el agua de la lluvia proveniente del camino. Es conveniente que su profundidad sea mayor que el nivel de la sub-rasante para que las aguas provenientes de la base y sub-base escurran libremente.

6.2.4 Contracuneta

Es una zanja de sección trapezoidal, que se excavan arriba de la línea de ceros de un corte y en dirección normal a la pendiente máxima del terreno, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural y evitar deslaves en los cortes. Se construyen perpendiculares a la pendiente máxima del terreno con el fin de lograr una interceptación del escurrimiento laminar.

Sus dimensiones y localización están determinada por el escurrimiento posible, por la configuración del terreno y características geotécnicas de los materiales que lo forman, pues a veces las contracunetas son perjudiciales si en su longitud ocurren filtraciones que redunden en la inestabilidad de los taludes del corte; en estos casos debe estudiarse la conveniencia de impermeabilizarlas, sustituirlas por bordos o buscar otra solución.

Las contracunetas tienen la función de evitar que las aguas superficiales se desplacen por el talud de corte, erosionando y recargando a su vez la capacidad de la cuneta.

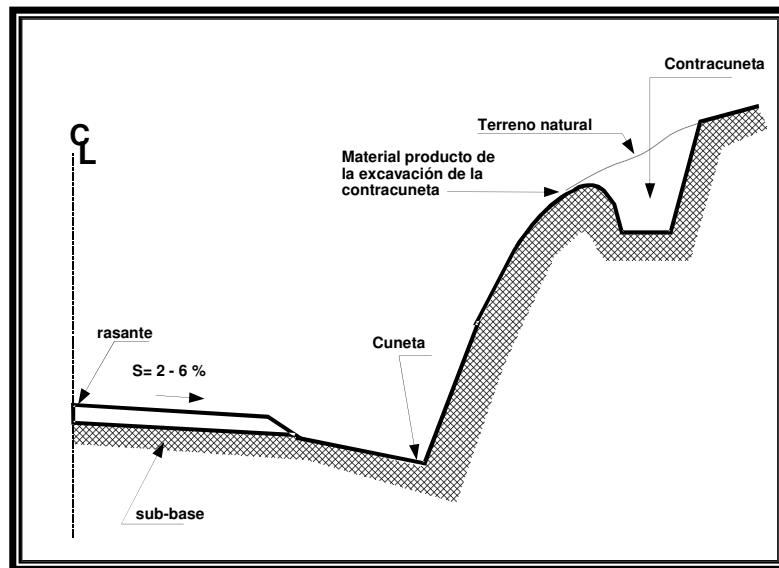


Figura 6.3. Cuneta y contracuneta.

6.2.5 Talud

Es la superficie comprendida, en cortes entre la línea de ceros y el fondo de la cuneta; y en terraplenes, entre la línea de ceros y el hombro correspondiente. Los taludes en cortes y terraplenes se fijan de acuerdo con su altura y la naturaleza del material que los forma. También se refiere a la inclinación del parámetro de los cortes o de los terraplenes, expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente

6.2.5.1 Protección de taludes

- Un talud falla cuando la resistencia del corte del suelo es superada por el peso propio, por el del agua que contiene.
- Al vencerse la resistencia al corte aparecen los derrumbes y los deslizamientos. (deslaves).
- El objetivo principal de un adecuado drenaje de caminos es reducir o eliminar la energía generada por la corriente de agua.
- No deberá permitirse que el agua alcance volúmenes o velocidades tales que puedan dañar la superficie de rodadura, los taludes de corte o relleno, las cunetas o la parte inferior de las alcantarillas.
- La presencia de agua o humedad excesivas en la calzada repercutirá negativamente en las propiedades mecánicas de los materiales que la componen, provocando saturación.

Para que un sistema de drenaje de caminos sea eficaz durante su vida útil, deberá satisfacer dos criterios principales:

- Debe alterar lo menos posible la red de drenaje natural.
- Debe drenar el agua superficial y subterránea de la calzada y drenarla en forma tal que impida acumulación excesiva en zonas inestables y la erosión ulterior.

Para satisfacer estos criterios, es importante tener presente que los factores hidrológicos y geotécnicos de las laderas inciden en la velocidad, volumen, dispersión o niveles de concentración de las aguas superficiales y sub-superficiales. La forma (morfología) de la ladera influye en el drenaje del camino y en última instancia, en su estabilidad. En el caso de las laderas convexas y cóncavas, aún no existe un sistema de drenaje natural, mientras que en las laderas rectas, por lo general ya se han producido deslizamientos y por tanto el patrón de drenaje está mejor definido. El técnico de caminos debe considerar estos criterios, de manera que las estructuras de drenaje sean ubicadas en el sitio correcto.

6.2.6 Acotamientos

Son las fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino. Protegen la calzada contra la humedad y la erosión, mejoran la visibilidad en los tramos en curva, facilitan los trabajos de conservación del camino y mejoran la apariencia del mismo.

6.2.7 Pendiente Máxima

Es la mayor pendiente del eje de un camino que se podrá usar en una longitud determinada.

6.2.8 Partes Complementarias

Aquellos elementos de la sección transversal que concurren ocasionalmente y con los cuales se trata de mejorar la operación y conservación de la vialidad. Tales elementos serán, las guarniciones, banquetas, fajas separadoras y camellones.

6.2.8.1 Guarniciones

Son elementos enterrados, con concreto hidráulico utilizados para limitar banquetas, camellones, isletas, delinear la orilla del pavimento y canalizar los escurrimientos superficiales hacia las instalaciones de drenaje pluvial. Las guarniciones pueden ser de dos tipos:

- Tipo L: parte saliente vertical ligeramente inclinada, el patín de la guarnición sigue el bombeo de la rasante y conduce las aguas pluviales que escurren superficialmente.
- Tipo I: parte saliente vertical ligeramente inclinada, se utilizan para confinar áreas definidas de tercerías en camellones, banquetas, en zonas donde no se requiere conducir escurrimientos superficiales.

6.2.8.2 Banquetas

Son franjas destinadas a la circulación de peatones, ubicadas a un nivel superior al de la corona y a uno o ambos lados de ella. El diseño de banquetas estará sujeto a los siguientes lineamientos:

- *Anchura*: La acera deberá abarcar desde la guarnición hasta el límite de derecho de vía o límite de la propiedad adyacente. La anchura mínima deberá ser la estipulada en el Manual de Proyecto Geométrico de Caminos publicado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para los distintos tipos de vías. En caso de zonas de intenso tráfico peatonal, los anchos mínimos especificados deberán verificarse considerando que por cada 55 centímetros de anchura se obtiene una capacidad máxima de 1,100 al 1,600 peatones por hora.

- *Ubicación:* Las banquetas deberán estar ubicadas en forma tal que presenten al peatón una continuidad y claridad de la ruta, evitando la ubicación incorrecta de elementos que obstruyan el paso peatonal tales como postes, señales de tránsito, puestos de periódicos u otro tipo mobiliario urbano. En el caso de arterias donde se permita el estacionamiento en batería, no deberá obstaculizarse el flujo peatonal por la presencia de los vehículos estacionados, ya sea remetiéndolo al área de estacionamiento dentro del límite de propiedad, para dejar libre el ancho mínimo requerido para la banqueta o bien desviando el trazo de la banqueta hacia la parte frontal del estacionamiento, en cuyo caso esta superficie, aún cuando quedará dentro del límite de propiedad, se considerará de uso público;
- *Pendientes:* Para el caso de que una banqueta forme parte de una vía vehicular la pendiente máxima que deberá tener será del 8 por ciento y tratándose de andadores exclusivos para peatones la pendiente máxima será del 5 por ciento;
- *Rampas:* Para el ingreso y salida de vehículos se deberán construir rampas que liguen la acera con la superficie de rodamiento, las cuales deberán tener una pendiente máxima de 10 por ciento y llevar lados inclinados y no verticales. Para el caso de rampas de uso peatonal y de personas con discapacidad, se seguirán los lineamientos señalados en el Manual de Proyecto Geométrico de la S.C.T.

6.2.8.3 Fajas separadoras y camellones

Aquellas fajas que se utilizan para dividir carriles de tránsito de un sentido o de otros de sentido opuesto, o bien para dividir carriles del mismo sentido pero de diferente naturaleza. A las primeras se les llamará fajas separadoras centrales y a las segundas fajas separadoras laterales. Cuando a estas fajas se le construyan guarniciones laterales y entre ellas se coloque material para obtener un nivel superior al de la calzada, se les llamará camellones, que igualmente pueden ser centrales o laterales, su anchura será variable dependiendo del derecho de vía y de las necesidades del tránsito. El ancho mínimo será de 1.20 metros.

6.3 Estándar de proyecto

Se entiende por estándar de proyecto el nivel de calidad geométrica al cual se construye una carretera. Su selección se efectúa durante la etapa de planeación. Entre mayor es el estándar geométrico, mejor es la seguridad vial. El mayor estándar geométrico para una carretera es aquél que corresponde a una velocidad de proyecto elevada, control total de acceso de las propiedades aledañas, zonas laterales benignas, entradas y salidas en intersecciones a desnivel y sentidos opuestos separados por una mediana. El estándar anterior corresponde a las autopistas.

Algunos de los factores específicos más importantes en la selección del estándar geométrico, son: la clasificación funcional de la carretera, el volumen de tránsito al final del horizonte o período económico de la misma (20 años), el tipo de terreno y la velocidad de proyecto. Aunque también deben influir consideraciones de capacidad, eficiencia económica, seguridad e impacto ambiental.

6.4 Clasificación de los caminos

6.4.1 Clasificación de los caminos de acuerdo con el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

La clasificación para fines de proyecto geométrico en la normativa mexicana más reciente (Referencia 1) es básicamente en función del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) esperado al final del horizonte de proyecto. Así, las carreteras se clasifican en:

- A₄, para un TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos.
- A₂, para un TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos.
- B, para un TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos.
- C, para un TDPA de 500 a 1,500 vehículos.
- D, para un TDPA de 100 a 500 vehículos.
- E, para un TDPA de hasta 100 vehículos.

Cabe señalar que en el Reglamento de Pesos y Dimensiones vigente (Referencia 8 de la Norma Oficial Mexicana sobre Pesos y Dimensiones de Vehículos), las carreteras se clasifican en los Tipos ET, A, B, C y D, donde:

- **Carreteras Tipo ET.** Son aquéllas que forman parte de los ejes de transporte establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, así como de otros que por interés general autorice la SCT, y que su tránsito se confine a este tipo de caminos.
- **Carreteras Tipo A.** Son las que por sus características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, excepto aquellos que por sus dimensiones y peso sólo se permitan en las carreteras tipo ET.
- **Carreteras Tipo B.** Se refiere a las que conforman la red primaria y que atendiendo sus características geométricas y estructurales prestan un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.

- **Carreteras Tipo C.** Red secundaria.- Son vías que atendiendo a sus características geométricas y estructurales, principalmente prestan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.
- **Carreteras Tipo D.** Red alimentadora.- Son las que atendiendo sus características geométricas y estructurales, principalmente prestan servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.

En la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-1995, Sobre el Peso y Dimensiones Máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 07 de enero de 1997, no se establecen los pesos y dimensiones máximas para las carreteras Tipo ET. Sin embargo, en el Reglamento de Pesos y Dimensiones (Referencia 7) se menciona que para esas carreteras, se permite la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso.

Por tanto, para las Tipo ET, los vehículos deberán cumplir con lo especificado para las carreteras Tipo A, indicadas en la Norma, con la consideración de que se permite la circulación de los vehículos Extralargos, es decir, aquellos que tienen una configuración de tractocamión-semirremolque, de longitud máxima de 23.00 m, tractocamiónsemirremolque-semirremolque y camión-remolque, de longitud máxima de 31.00 m.

6.4.2 Clasificación de los caminos en cuanto a su finalidad y la zona en que se ubicarán

Las normativas mundiales de vanguardia antepone una clasificación funcional a cualquier otra, con el fin de definir en primer lugar la función deseada para la vía en el contexto de la red nacional de carreteras. En ese sentido, se propone la siguiente clasificación funcional de las carreteras mexicanas para fines de proyecto geométrico:

- **Troncales o primarias.** Son parte de corredores de transporte que unen centros de población importantes, generalmente de más de 50,000 habitantes, cuyas actividades generan o atraen viajes de largo itinerario. A su vez, se subdividen en:
 - **Autopistas (AP).** Carreteras de sentidos separados físicamente por una faja central o mediana, control total de acceso, dos o más carriles por sentido de circulación y velocidad de proyecto en el rango de 80 km/h a 110 km/h. Sus índices de TDPA son mayores a 5000 vehículos.

- **Vías rápidas (VR).** Carreteras de sentidos separados físicamente por una faja central o mediana, y velocidad de proyecto en el rango de ochenta 80 km/h a 110 km/h; y que en relación con uno o varios de los demás elementos (control de acceso, número de carriles por sentido, etc) no cumple con los estándares de las autopistas. Sus índices de TDPA van de 3000 a 5000 vehículos.
- **Arterias o secundarias.** Son vías que unen poblaciones medianas o pequeñas con los nodos de la red troncal, que aportan gran proporción de los viajes de mediano y corto itinerario. Tienen un sólo cuerpo, control parcial de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de 70 km/h a 110 km/h. Sus índices de TDPA van de 1500 a 3000 vehículos.
- **Alimentadoras.** Son aquéllas utilizadas por viajes de muy corto itinerario. Se subdividen en:
 - **Colectoras (C).** Carreteras de un sólo cuerpo, control parcial de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de 60 km/h a 100 km/h. Sus índices de TDPA van de 500 a 1500 vehículos.
 - **Locales (L).** Carreteras de un sólo cuerpo, sin control de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de 50 km/h a 80 km/h. Sus índices de TDPA van de 100 a 500 vehículos.
 - **Brechas (Br).** Carreteras de un sólo cuerpo, sin control de acceso, un carril de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de 30 km/h a 70 km/h. Sus índices de TDPA son menores a 100 vehículos.

La clasificación anterior tiene además la ventaja de que sus tres grandes categorías (troncales, arterias y alimentadoras) pueden homologarse con las tres categorías (primarias, secundarias y alimentadoras) de una propuesta reciente de clasificación de caminos y puentes para el Reglamento de Pesos y Dimensiones (Referencia 7).

6.4.3 Clasificación de los caminos desde el punto de vista administrativo

- **Caminos federales,** cuyo costo de construcción y conservación está a cargo de la Federación. Son los caminos principales y constituyen la base de la red de caminos del país.

- *Caminos estatales*, comprendidos en el plan llamado de cooperación, costeados 50% por la Federación y 50% por el Gobierno del Estado correspondiente. La conservación de estos caminos queda a cargo del Gobierno del Estado.
- *Caminos vecinales*, construidos en forma tripartita por la Federación, el Gobierno del Estado correspondiente y los particulares. La conservación queda a cargo del Gobierno del Estado.
- *Caminos de cuota*, a cargo de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos. La inversión es recuperable a través de las cuotas de los usuarios.
- *Caminos concesionadas*; la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT) concede a empresas privadas la construcción, operación, explotación y mantenimiento de algunas carreteras en el país.

Los caminos vecinales son los que van de un poblado a otro; los que unen un poblado con un punto cualquiera de una vía de comunicación y los que ligan dos puntos situados en sendas vías de comunicación. Los caminos vecinales son complemento de la red de caminos federales y estatales y son también afluentes y ramales de los ferrocarriles, de las rutas aéreas, de las marítimas y de las fluviales.

6.4.4 Clasificación de los caminos en cuanto al tipo de pavimento

- *Caminos de terracería*, la estructura del pavimento es a nivel de capa subrasante y que son transitables en condiciones óptimas en tiempo de sequía.
- *Caminos revestidos*, se tienen cuando sobre la capa subrasante se coloca una o varias capas de material granular compactado; a diferencia de las anteriores, estos caminos son transitables prácticamente todo el año.
- *Caminos pavimentados*, son aquellos que presentan una superficie de rodamiento a base de una carpeta de concreto ya sea hidráulica o asfáltica, es decir, una estructura completa de pavimento que cubre el cuerpo del terraplén y/o capa subrasante, la subbase y la base.

6.5 Velocidad de proyecto

Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad en un camino y se utiliza para determinar los elementos geométricos del mismo. Velocidad supuesta técnicamente que sirve como dato base para diseñar o calcular las características físicas y geométricas de una vía como pendientes, radios, anchos de carriles, tipo de pavimento, dispositivos para el control de tránsito, etc.

La normativa mexicana más reciente define velocidad de proyecto como la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un tramo carretero y que se utiliza para su diseño geométrico.

La velocidad de proyecto es la mínima velocidad a lo largo de un tramo para la que quedarán preparados los segmentos diseñados con los estándares más restrictivos permitidos para esa velocidad (radio mínimo de curvatura, pendiente máxima, etc). En otras palabras, la velocidad de proyecto es una elección, la cual deberá ser congruente con el tipo de carretera, y sirve para determinar los diferentes elementos de diseño geométrico. Este concepto se establece a partir de dos principios básicos: primero que todas las curvas de un tramo se proyecten para la misma velocidad; y segundo que la velocidad de proyecto refleje la velocidad a la que un porcentaje elevado de los conductores desea circular. El concepto de velocidad de proyecto se creó, por tanto, con el propósito de asegurar la homogeneidad o consistencia del trazo.

La normativa mexicana más reciente permite rangos de velocidad de proyecto muy amplios para cada tipo de carretera; esto es:

- De 60 a 110 km/h para caminos tipo A,
- De 50 a 110 km/h para caminos tipo B,
- De 40 a 100 km/h para caminos tipo C, y
- De 30 a 70 km/h para caminos tipo D y E.

Las disposiciones más avanzadas consideran rangos más reducidos para cada categoría, con el fin de evitar variaciones muy fuertes de velocidad de proyecto a lo largo de una carretera, las cuales suelen ser fuente importante de accidentes.

Por esa razón, en la clasificación funcional de carreteras propuesta, se incluyen los siguientes rangos de velocidad de proyecto más reducidos:

- De 80 a 110 km/h para autopistas y vías rápidas,
- De 70 a 110 km/h para arterias,
- De 60 a 100 km/h para colectoras,
- De 50 a 80 km/h para locales, y
- De 30 a 70 km/h para brechas.

También se recomienda generar las velocidades de proyecto de los diferentes tramos de una carretera a partir de un análisis económico de sensibilidad realizado como parte del estudio de planeación, considerando varias opciones de velocidad dentro del rango correspondiente, haciendo intervenir en dicho análisis los costos de construcción y conservación de la vía y los costos de operación del transporte en términos de la magnitud y composición del tránsito, así como la seguridad y los aspectos ambientales.

CARACTERÍSTICAS	VEHÍCULO DE PROYECTO							
	DE 335	DE 620	DE 750	DE 760	DE 1890	DE 1980	DE 2545	DE 2970
Longitud total del vehículo (L), cm	580	1200	1360	1209	2088	2241	2740	3166
Distancia entre ejes externos del vehículo (DE), cm	335	620	749	762	1890	1982	2545	2971
Vuelo delantero (VD), cm	92	236	240	127	122	122	119	119
Vuelo trasero (VT), cm	153	344	371	320	76	137	76	76
Ancho total del vehículo (A), cm	214	255	260	244	259	259	259	259
Entrevía del vehículo (EV), cm	183	230	230	244	244	244	244	244
Longitud del remolque (Lr), cm	-	-	-	-	1463	1615	1006	1219
Altura total del vehículo (Ht), cm	167	354	380	410	410	410	410	410
Altura de los ojos del conductor (Hc), cm	107	212	232	250	250	250	250	250
Altura de los faros delanteros (Hf), cm	61	81	110	112	112	112	112	112
Altura de las luces posteriores (HI), cm	61	154	140	100	100	100	100	100
Ángulo de la desviación del haz de los faros	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°
Radio de giro mínimo, cm	732	1267	1359	1572	1372	1372	1372	1572
Relación Peso/Potencia, Kg/HP	15	180	210	210	210	210	210	210
Vehículos representados por el proyecto	Vehículos ligeros	Autobuses	Camión unitario de carga	Combinación de tractor con semiremolque	Combinación de tractor con dos remolques			

Tabla 6.2. Propuesta de vehículos de proyecto.

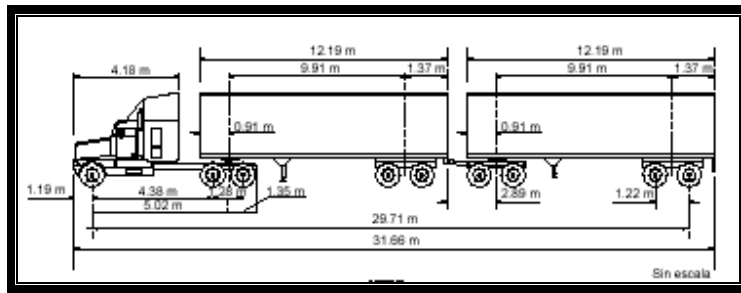


Figura 6.4. Características del vehículo de proyecto.

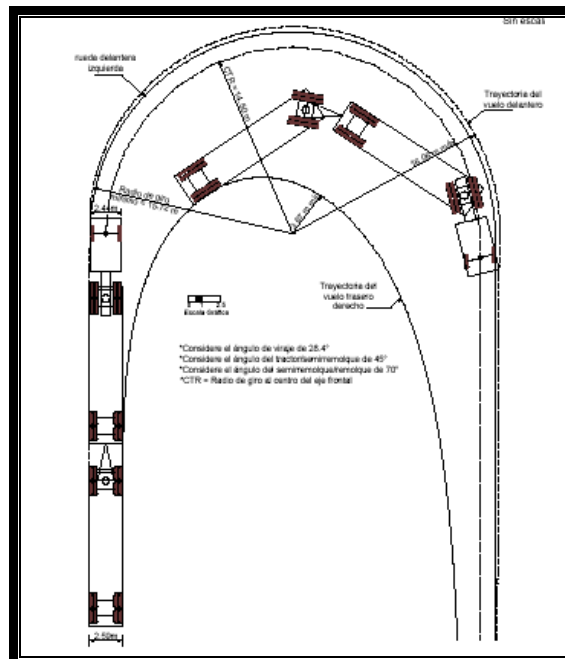


Figura 6.5. Trayectoria de giro para el vehículo de proyecto DE-2970.

6.5.1 Velocidad de operación

Velocidad que desarrolla un vehículo contando desde la salida del cierre de circuito A, a la llegada del cierre del circuito B, bajo las condiciones prevalecientes de tránsito y condiciones atmosféricas favorables.

6.5.2 Velocidad de marcha

Máxima velocidad que desarrolla la unidad de transporte en un tramo determinado sin interrupciones, proporcionada por los mecanismos y la fuerza tractiva en contra de la resistencia del camino y de la propia carga de la unidad.

6.5.3 Velocidad de punto

Es la velocidad de un vehículo a su paso por un punto del camino. Los valores usuales para estimarla son: el promedio de las velocidades en un punto de todos los vehículos o de una clase dada de vehículos.

6.5.4 Grado máximo de curvatura

Es el límite superior del grado de curvatura que se podrá usar en el alineamiento horizontal de un camino o tramo del mismo, dentro de la velocidad de proyecto dada.

6.6 Distancia de visibilidad

Es la longitud de camino que un conductor ve continuamente delante de él, cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables.

6.6.1 Distancia de Visibilidad de Parada (DVP)

Es la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo desplazándose a la velocidad de proyecto, pueda detenerse antes de llegar a un objeto fijo colocado en su línea de circulación. La distancia de visibilidad no debe ser menor a la de parada en ningún punto de una carretera. A distancias de visibilidad menores a 200 m (correspondientes a velocidades de proyecto menores a 100 km/h) son más peligrosas, particularmente en curvas y de noche. La gran diferencia en el cálculo de la distancia de visibilidad de parada entre la normativa mexicana más reciente y la de los países más avanzados reside en que en la primera dicha distancia se calcula para la velocidad de marcha (asumiéndose que en promedio es 0.875 de la velocidad de proyecto), en tanto que en las de vanguardia se estima para la velocidad de proyecto.

Si se calculan las distancias de visibilidad de parada para la velocidad de proyecto (conservando los demás supuestos de cálculo de la normativa mexicana más reciente), se obtienen los valores en la tercera columna de la Tabla 2.2, la cual las compara contra los valores en la normativa mexicana vigente (en la segunda columna), calculados a partir de la velocidad de marcha. Dada la significativa diferencia entre los valores en las columnas 2 y 3 (más de 30% para velocidades de proyecto de 100 km/h o mayores), se recomienda actualizar las distancias de visibilidad de parada a los valores en la tercera columna.

Otro aspecto en el que la normativa mexicana vigente es diferente a las normativas más reconocidas es que en la mexicana las alturas del ojo del conductor y del objeto utilizadas para medir las distancias de visibilidad de parada son 1.14 m y 0.15 m respectivamente, en tanto que en las más avanzadas la altura del ojo del conductor ya se ha modificado considerando los vehículos modernos y la altura del objeto se ha incrementado de acuerdo con la experiencia sobre accidentalidad y para reducir los costos de obra no justificados derivados de tener un valor más pequeño.

Por lo anterior, se propone actualizar la altura del ojo del conductor a 1.08 m considerando la altura de los vehículos actuales, así como la altura del objeto a 0.60 m, la cual prácticamente corresponde a la altura de las luces traseras o de los faros de los vehículos ligeros (automóviles, camionetas, etc).

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	DVP en la normativa mexicana vigente (m)	DVP recomendados (m)	Valores requeridos por los vehículos de carga con frenos convencionales (m)
30	30	30	40
40	40	45	65
50	55	65	90
60	75	85	125
70	95	110	160
80	115	140	205
90	135	170	245
100	155	205	290
110	175	240	340

Tabla 6.3. Comparativa de las distancias de visibilidad de parada (DVP) en la normativa mexicana vigente contra los valores recomendados.

La última columna de la Tabla 6.3 contiene una serie de valores de distancias de visibilidad de parada, recomendados para camiones de carga con frenos convencionales. Aunque los valores en esa columna son mucho mayores a los de la columna 3, en la práctica su efecto se compensa en diversas situaciones con la mayor altura del ojo del conductor utilizada para vehículos de carga (2.33 m) en las normativas más avanzadas.

También es importante destacar que las distancias de visibilidad de parada requeridas por los camiones de carga con frenos antibloqueo, que cada vez ocupan una mayor proporción del parque vehicular nacional de carga, son prácticamente iguales que para los vehículos ligeros (mostradas en la columna 3). Es importante verificar que se cuente con la distancia de visibilidad de parada horizontal así como vertical.

6.6.2 Distancia de Visibilidad de Rebase (DVR)

Es la distancia suficiente para que el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra.

La gran diferencia en el cálculo de esta distancia de visibilidad entre la normativa mexicana y la de los países considerados como más avanzados reside en que en la primera, dicha distancia se calcula como 4.5 veces la velocidad de proyecto, en tanto en las otras se estima a partir del modelo de maniobra de rebase de la AASHTO (Referencia 3), resultando casi siete veces la velocidad de proyecto. La Referencia 2 explica que en México no se utiliza el modelo de la AASHTO porque los conductores nacionales efectúan sus maniobras de rebase en forma poco conservadora. En aras de la seguridad operativa, así como de los costos de operación de los flujos vehiculares, se sugiere modificar las distancias de visibilidad de rebase a los valores obtenidos con el modelo de la AASHTO.

La tercera columna de la Tabla 6.4 presenta los valores que resultan de este criterio, comparándolos contra los que se especifican en la normativa actual (en la segunda columna). Como es evidente a partir de la tabla, los valores en la columna 3 son significativamente mayores que los de la columna 2 (alrededor de 50% mayores).

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	DVR en la normativa mexicana vigente (m)	DVR recomendados (m)
30	135	200
40	180	270
50	225	345
60	270	410
70	315	485
80	360	540
90	405	615
100	450	670
110	495	730

Tabla 6.4. Comparativa de las distancias de visibilidad de rebase (DVR) en la normativa mexicana vigente contra los valores recomendados según el modelo de maniobra de rebase de la AASHTO.

También se considera pertinente la sugerencia en las normativas más avanzadas sobre proporcionar visibilidad de rebase, preferentemente en el cuarenta por ciento (40%) de la longitud de cada sentido de circulación y lo más uniformemente repartido posible. Otro aspecto que es diferente entre la normativa mexicana y las de vanguardia es que en la mexicana las alturas del ojo del conductor y del objeto utilizadas para medir las distancias de visibilidad de rebase son 1.14 y 1.30 m, respectivamente, correspondiendo a los vehículos ligeros; en tanto que en las otras, dichas alturas ya se ha actualizado considerando los vehículos modernos. Por lo anterior, se propone modificar ambas alturas anteriores a 1.08 m, considerando la altura de los vehículos actuales.

Las limitaciones de rebasar en carreteras de dos carriles, con la presencia de vehículos lentos, pueden generar congestión y accidentes en el rebase. En estas circunstancias, los carriles de rebase pueden mejorar las operaciones (ayudando a disolver los pelotones y disminuyendo los retrasos). Su ubicación juiciosa en alrededor de 10% de la longitud carretera, puede proporcionar la mayoría de los beneficios de la duplicación del cuerpo existente. En pendientes ascendentes de 3 a 4%, se puede esperar una reducción en los accidentes en 10 a 20%; mientras que en pendientes más pronunciadas, ésta puede ser de 20 a 40%.

La disminución de accidentes generalmente se extiende más adelante de la zona del carril al relajarse la presión por rebasar. Por la misma razón, también puede extenderse hacia atrás proporcionando señalamiento informativo de 2 a 5 km antes del inicio de la zona del carril.

También se usan secciones cortas de cuatro carriles, como parte de la eventual duplicación completa del cuerpo existente. Es más conveniente proporcionar un número frecuente de carriles cortos a lo largo de la carretera, que unos cuantos carriles largos aislados. En vías de dos carriles se recomienda una longitud mínima de carril de rebase de 600 m (incluyendo transiciones inicial y final de 125 m cada una) y una longitud máxima de 1,200 m.

Se aconseja su implementación cuando la oportunidad de rebase en un recorrido sea de menos de 30% del tiempo. En carreteras de tránsito moderado, se sugieren espaciamientos típicos de secciones con carril de rebase de 10 a 15 km. Ubicaciones adecuadas para carriles de rebase incluyen: cuellos de botella (pendientes pronunciadas, sitios con generación de tráfico al pie de una colina); sitios con una alta incidencia de accidentes por rebase; ubicaciones donde la construcción es de bajo costo (p ej, no requieren de cortes y terraplenes pronunciados, puentes, etc); y sitios con distancia de visibilidad adecuada en las transiciones de divergencia y convergencia.

Debe evitarse su instalación en zonas cercanas a poblaciones o en sitios que incluyan intersecciones o con un gran número de accesos. El señalamiento horizontal y vertical de los carriles de rebase es importante para maximizar su efectividad.

6.6.3 Distancia de visibilidad en curvas horizontales

La distancia de visibilidad horizontal puede verse restringida en el interior de las curvas horizontales por objetos tales como pilas de puentes, edificios, barreras de concreto o metálicas, cortes, etc. Por tal razón, debe verificarse que se cuente con una distancia libre de obstáculos mínima **m** del eje del carril interior a obstáculos en el interior de curvas horizontales, para dar la distancia de visibilidad de parada o de rebase, según se desee satisfacer una u otra en la curva.

El valor de **m** depende del grado de curvatura, pero también de la distancia de visibilidad (sea de parada o de rebase), por lo cual, al actualizar las distancias mexicanas de visibilidad, también deben modificarse los correspondientes valores de **m** tanto para parada como para rebase. A manera de ejemplo de la magnitud de la modificación en este caso, la Tabla 2.4 compara los valores de **m** en la normativa mexicana vigente para satisfacer la distancia de visibilidad de parada (columna 2), contra sus correspondientes valores recomendados (columna 3) para un radio de curvatura (del eje del carril interior) de 300 m. Como es evidente, para la mayor velocidad de proyecto considerada en la tabla (110 km/h), el valor de **m** en la columna 3 es 88% mayor que el de la columna 2.

Una recomendación en las regulaciones más avanzadas que parece adecuada se refiere a que el ancho de acotamiento en el lado interno de las curvas no debe ser mayor de 3.6 m, pues de serlo los conductores pueden utilizarlo como carril adicional de viaje o para rebasar. Otra observación interesante es que **m** también se requiere para el carril izquierdo (de alta velocidad) en curvas izquierdas de carreteras divididas.

Con objeto de ilustrar lo anterior se presenta la fotografía 1, en la que se muestra una curva horizontal izquierda con distancia de visibilidad deficiente por no cumplir con la distancia libre de obstáculos mínima. La Referencia 5 menciona que la remoción de vegetación u otros obstáculos en el interior de curvas horizontales, es rentable como medida para mejorar la visibilidad en todos los tipos de carreteras.

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	“m” en la normativa mexicana vigente (m)	“m” recomendados (m)
30	0.38	0.38
40	0.67	0.84
50	1.26	1.76
60	2.34	3.01
70	3.76	5.04
80	5.51	8.17
90	7.59	12.04
100	10.01	17.51
110	12.76	24.00

Tabla 6.5. Comparativa de los valores de “m” en la normativa mexicana vigente para satisfacer la distancia de visibilidad de parada contra sus correspondientes valores recomendados para un radio de curvatura (del eje del carril interior) de 300 m.



Fotografía 1. Curva horizontal izquierda, con distancia de visibilidad deficiente por no cumplir con la distancia libre de obstáculos mínima.

6.6.4 Distancia de visibilidad en curvas verticales

La distancia de visibilidad vertical puede verse restringida por la presencia de curvas verticales en el perfil de la carretera. El principio para calcular las longitudes mínimas de curva vertical en cresta o en columpio, es que garanticen la distancia de visibilidad de parada o de rebase, según se desee satisfacer una u otra en la curva.

Al actualizarse el cálculo de las distancias de visibilidad de parada o de rebase para las velocidades de proyecto en vez de las de marcha, así como las alturas del ojo del conductor, del objeto y de los faros, también deben modificarse los valores mínimos del parámetro **K** (cociente de la longitud de la curva entre la diferencia algebraica de pendientes), tanto para curvas verticales en cresta como en columpio.

Por lo anterior, para las curvas verticales en cresta el criterio debe ser que **K** sea suficientemente grande para permitir que el conductor perciba el objeto de 0.60 m de altura sin interferencia de la superficie del pavimento, siendo la altura del ojo del conductor de 1.08 m. En el caso de las curvas verticales en columpio, el criterio debe ser que **K** permita que el conductor, para la condición de visibilidad nocturna, vea la superficie del pavimento al ser iluminada por los faros delanteros del vehículo, asumiéndose una altura para los faros de 0.60 m, una altura del objeto de 0 m y un ángulo de divergencia del cono luminoso de los faros de un grado.

La Tabla 6.6 compara, tanto para curvas verticales en cresta como en columpio, los valores mínimos de **K** en la normativa mexicana vigente contra sus correspondientes valores recomendados (columnas 2 y 4, contra columnas 3 y 5, respectivamente). Como es evidente, para la mayor velocidad de proyecto considerada en la tabla (110 km/h), los valores en las columnas 3 y 5 son significativamente más altos que los de las columnas 2 y 4 (20 y 40% respectivamente).

Se reitera que la altura del objeto asumida en el caso de curvas verticales en cresta es de 0.60 m, en tanto que para curvas verticales en columpio es de 0 m. La Referencia 5 señala que conviene alargar las curvas verticales en cresta, con el fin de aumentar su distancia de visibilidad, cuando la velocidad de proyecto está más de 33 km/h por debajo del percentil 85 de la velocidad de los vehículos que arriban a la curva, el flujo excede 1,500 vehículos por día y hay un riesgo mayor en las inmediaciones (p ej, una intersección transitada, una curva pronunciada, una pendiente fuerte de bajada o una interrupción de carril).

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	PARÁMETRO DE CURVATURA VERTICAL "K" (m/%)			
	Cresta		Columpio	
	Normativa vigente	Valores recomendados	Normativa vigente	Valores recomendados
30	3	2	4	4
40	4	3	7	8
50	8	6	10	12
60	14	11	15	17
70	20	18	20	24
80	31	29	25	32
90	43	43	31	40
100	57	62	37	50
110	72	87	43	60

Tabla 6.6. Comparativa de los valores mínimos del parámetro "K" para proporcionar la distancia de visibilidad de parada en curvas verticales, en la normativa mexicana vigente contra sus correspondientes valores recomendados.

6.6.5 Distancia de visibilidad de encuentro

Esta distancia de visibilidad, que es igual a dos veces la distancia de visibilidad de parada, se utiliza en el proyecto de carreteras Tipo E de un sólo carril (brechas, de la clasificación funcional), con el fin de que dos conductores que se encuentran al circular en sentidos opuestos detengan sus vehículos con seguridad y puedan realizar la maniobra necesaria para que ambos continúen su viaje. Por lo anterior, todas las recomendaciones de actualización para las distancias de visibilidad de parada son aplicables a esta distancia de visibilidad, resultando en un incremento máximo del 14% en ella para una velocidad de proyecto máxima en brechas de 70 km/h. Para la medición de la distancia de visibilidad de encuentro, la altura del ojo de ambos conductores debe ser igual a 1.08 m, con objeto de enfatizar la importancia de que ambos puedan verse entre sí.

6.6.6 Distancia de visibilidad de decisión

Esta distancia de visibilidad es la distancia mínima necesaria para que un conductor, circulando a la velocidad de proyecto, pueda maniobrar con anticipación ante la presencia de una situación cuya complejidad demanda tiempos de percepción-reacción t más grande que los requeridos usualmente.

Se calcula y se mide utilizando los mismos criterios que la distancia de visibilidad de parada (altura del ojo del conductor de 1.08 m y altura del objeto de 0.60 m).

Las normativas más avanzadas incluyen este tipo de distancia de visibilidad, el cual no es considerado por la mexicana. Por tanto, se sugiere incluirlo según los valores en la Tabla 6.7, que considera cinco diferentes grados de complejidad de maniobra.

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE DECISION (m)				
	MANIOBRA ANTICIPADA				
	A	B	C	D	E
30	34	85	89	104	119
40	50	118	119	139	158
50	69	154	149	174	198
60	92	193	178	208	238
70	118	236	208	243	277
80	148	284	238	278	317
90	180	332	268	313	356
100	215	384	297	347	396
110	253	440	327	382	435

Tabla 6.7. Distancias de visibilidad de decisión.

6.7 Alineamiento horizontal

Tanto la normativa mexicana vigente como las de vanguardia contienen especificaciones similares para las longitudes mínimas y máximas de las tangentes del alineamiento horizontal. Asimismo, para las curvas horizontales, la relación entre la sobreelevación máxima, el coeficiente máximo de fricción lateral, la velocidad de proyecto y el radio mínimo de diseño, se basa en la misma fórmula, especificándose además valores comparables para la sobreelevación máxima (12% en EEUU; 8% en España; y 10% en México) y el coeficiente máximo de fricción lateral. Por esta razón, los radios mínimos señalados para los diferentes casos, son bastante similares.

Por lo anterior, las únicas modificaciones pertinentes son las que se derivan de los menores rangos de velocidad de proyecto y los nuevos vehículos de proyecto recomendados para cada tipo de carretera de la clasificación funcional (véanse las Secciones 2.4 y 2.6, respectivamente).

Los elementos anteriores definen las ampliaciones y sobreelevaciones, así como la longitud y tipo de las transiciones (mixta o espiral) de las curvas horizontales, siendo las ampliaciones las que experimentan las mayores modificaciones, derivadas básicamente de las mayores distancias entre huellas externas de los vehículos de proyecto para cada tipo de carretera.

Con el fin de ilustrar la magnitud de la actualización introducida en este sentido, se menciona que el valor modificado de la ampliación por sentido (de dos carriles cada sentido) para la calzada y la corona de autopistas para una curva horizontal de radio mínimo (455 m), correspondiente a la velocidad de proyecto de 110 km/h, es 33% más grande que su respectivo valor en la normativa vigente (80 cm contra 60 cm, respectivamente).

La Referencia 5 establece que el alineamiento horizontal es el principal factor que afecta la velocidad de los vehículos, particularmente a velocidades menores a 100 km/h. Asimismo, reporta una mayor probabilidad de que los accidentes ocurran en curvas que en tangentes (3 a 1 para los accidentes en general, y 4 a 1 para las salidas del camino). Además, las curvas tienen mayores frecuencias de condiciones climáticas adversas (lluvia, neblina, hielo, etc). El radio es el principal factor que afecta la seguridad en curvas, seguido por el ancho de acotamiento, ancho de circulación y longitud de curva. Curvas con radio menor a 500 m están asociadas con un súbito aumento del riesgo. Aparentemente, radios mayores a 3,300 m también representan riesgos más altos pues induce a operaciones de rebase peligrosas.

Considerando la clasificación funcional de carreteras y sus rangos de velocidad de proyecto, para una autopista se propone de 80 a 110 km/h; mientras que en la normativa actual permite una velocidad de proyecto de 60 a 110 km/h; esa diferencia de 20 km/h en el valor mínimo del rango (de 60 a 80 km/h), representa un incremento de 104 m, quedando el radio mínimo en 208 m. En el caso de carreteras existentes, conviene *tender* (aumentar el radio) las curvas horizontales cuando la velocidad de proyecto está más de 25 km/h por debajo del percentil 85 de la velocidad de los vehículos que arriban a la curva y el flujo excede 750 vehículos por día.

Lo anterior considera beneficios en seguridad, costos de operación vehicular y tiempos de viaje. Algunas alternativas al *tendido*, de costo significativo, son: la remoción de riesgos en las zonas laterales (postes, árboles, etc) y la reducción de sus pendientes laterales; mejorar la resistencia al derrapamiento; aumentar la sobreelevación; pavimentar los acotamientos; eliminar escalones longitudinales; etc. En cuanto a medidas de menor costo están: remarcar las líneas centrales y de borde, añadir botones retrorreflejantes (p ej, vialetas), delineadores en las curvas, mejorar el señalamiento preventivo, etc.

Las especificaciones para las espirales de transición entre la normativa mexicana vigente y las de avanzada son comparables, por lo cual se considera que no se requieren actualizaciones en este sentido. La Referencia 5 establece que las espirales reducen los accidentes de 2 a 9%, dependiendo del radio y la deflexión. Su ausencia es particularmente crítica para los vehículos con mayor centro de gravedad y menor rigidez torsional, como son los camiones de carga articulados, aumentando su probabilidad de invasión de otros carriles o el acotamiento.

6.8 Alineamiento vertical

6.8.1 Pendientes

Los valores de pendiente gobernadora y de pendiente máxima, establecidos para diferentes combinaciones de tipo de carretera, tipo de terreno y rango de velocidades de proyecto, son muy similares entre la normativa mexicana vigente y las de vanguardia. La especificación mexicana de pendiente mínima también es similar a la de las más avanzadas. Se presenta la Figura 2.6, obtenida de la Referencia 10, la cual muestra el efecto que tienen diversas inclinaciones y longitudes de las pendientes, en los vehículos de carga que transitan usualmente en la red nacional de carreteras. La relación peso-potencia que se ha encontrado para los vehículos de carga en México, es de 210 kg/HP, misma que contrasta con la relación peso-potencia de 136 kg/HP correspondiente a los vehículos que circulan en carreteras de Estados Unidos de América.

A partir de la figura es posible determinar los valores de “longitud crítica de pendiente” para un proyecto. Ésta, para una pendiente dada, es la longitud máxima sobre la cual puede operar un camión cargado sin que experimente una reducción riesgosa de su velocidad. En cuanto a una pendiente específica, las longitudes menores a la crítica, conducen a condiciones de operación aceptables en el rango de velocidades usuales. Si se desean mejores condiciones de operación en longitudes superiores a la crítica, será necesario hacer ajustes de localización al proyecto para reducir las pendientes, o en su defecto incorporar carriles adicionales para el ascenso. La longitud crítica para una pendiente dada puede estimarse a partir de la figura, como la distancia correspondiente a una reducción de velocidad de 15 km/h.

Para esta aplicación, debe entrarse a la figura con la velocidad al inicio de la pendiente (cuando ésta sea mayor que 82 km/h, que es la velocidad máxima al inicio de la pendiente para todas las curvas en la gráfica, deberá utilizarse 82 km/h como valor de dicha velocidad). La longitud crítica para una pendiente determinada puede obtenerse como la diferencia de distancias en la figura entre la correspondiente a la velocidad al inicio de la pendiente menos 15 km/h, y la correspondiente a la velocidad al inicio de la pendiente.

La Referencia 5 establece que las pendientes pronunciadas generalmente se asocian con mayores frecuencias de accidentes. Señala, asimismo, que la frecuencia y la severidad de los accidentes aumentan con la pendiente, tanto en el sentido ascendente como en el descendente, indicando que el sentido descendente es más problemático, debido principalmente a los accidentes de camiones de carga, aunque se reconoce que el comportamiento y capacidad de frenado de estos últimos ha mejorado en los últimos años.

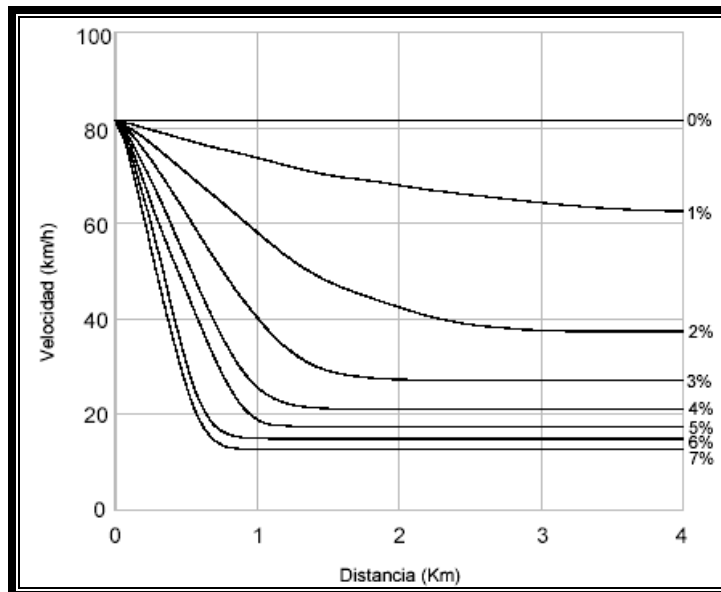


Figura 6.6. Efecto de las pendientes en los vehículos con relación peso/potencia de 210 kg/HP, México (Referencia 10).

Concluye que las pendientes pronunciadas de más de 6% frecuentemente se identifican con una mayor frecuencia de siniestros. Esta misma referencia indica que en Suecia, cualquier pendiente se considera potencialmente un problema, siendo las de 2.5 y 4% las que tienen frecuencias de accidentes mayores a 10 y 20%, respectivamente, en relación con segmentos horizontales adyacentes. Esto puede ser un reflejo de las condiciones climáticas de Suecia. Asimismo, sugiere que curvas y pendientes deben considerarse conjuntamente en relación con la ocurrencia de accidentes.

6.8.2 Rampas de escape para camiones

Son instalaciones de seguridad específicamente para vehículos pesados, con el fin de reducir el riesgo de camiones fuera de control en pendientes descendentes. Tienen por objeto segregarse de la corriente de tránsito a los vehículos fuera de control por sobrecalentamiento, falla de los frenos o fallas mecánicas, deteniéndolos con seguridad en lugares apropiados fuera de la carretera. Funcionan por gravedad o mediante algún material que incrementa la fricción de rodado de las llantas del camión. Hay seis tipos (Ref. 5):

- Montículo de arena;
- Rampa de gravedad;
- Cama de fricción con pendiente ascendente;
- Cama de fricción horizontal;
- Cama de fricción con pendiente descendente; y
- Cama de fricción en las zonas laterales.

Una medida efectiva para prevenir el descontrol de los camiones de carga es el uso de señales de mensaje variable en la cima de las pendientes descendentes, que recomiendan determinadas velocidades a los vehículos pesados dentro de diferentes rangos de peso bruto vehicular. La Figura 6.7 muestra configuraciones representativas de rampas de emergencia, mientras que la 6.8, el diseño de una rampa de emergencia típica.

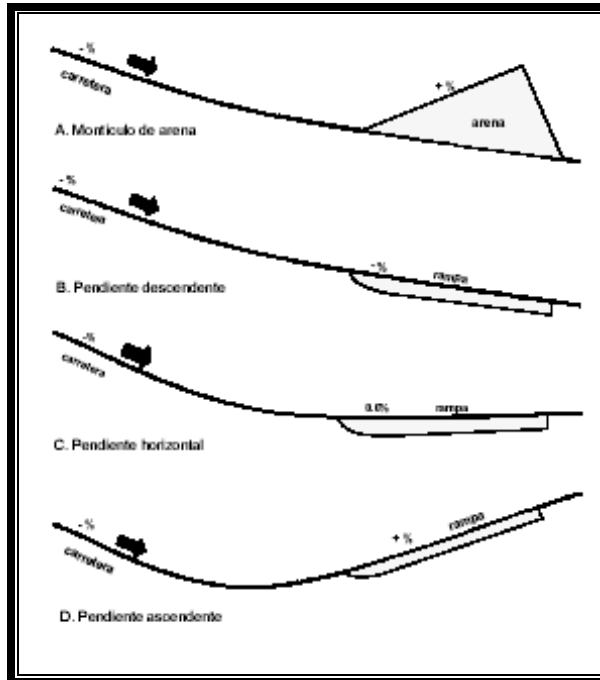


Figura 6.7. Configuración de rampas de emergencia.

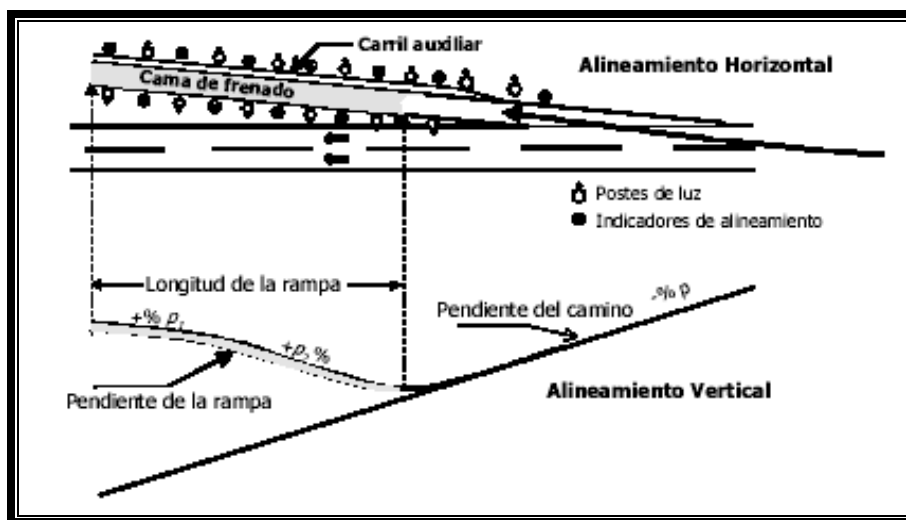


Figura 6.8. Diseño de una rampa típica de emergencia.

6.9 Diseño y procedimiento de construcción del camino El Cajón – Ayotita.

6.9.1 Generalidades

Para la ejecución del Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón” es necesario, construir un conjunto de obras viales dentro de las cuales están los caminos principales y secundarios localizados en ambas márgenes, pero también es necesario construir obras asociadas para beneficio social de los pueblos en zonas ejidatarias que se encuentran alrededor del límite de construcción de la obra y del límite de la zona federal. En el caso de la construcción del camino El Cajón – Ayotita los pueblos involucrados son los siguientes: Igualdad, El Carricito, Ayotita y Los Llanitos.

Las vialidades principales son todos los caminos definitivos que se encuentran actualmente en la obra y algunos por definir al término de la obra como el camino que pasa por la corona de la cortina de concreto. Dichos caminos comprenden también aquellos accesos a los diferentes bancos de materiales; camino margen izquierda del río Santiago que llega a las oficinas, campamentos y al helipuerto de la CFE; camino margen izquierda para acceso a la subestación eléctrica 1 y a las oficinas de la empresa contratista CIISA; camino margen derecha para acceso al puente de maniobras del vertedor hacia las casetas de control del vertedor y para acceso a la subestación eléctrica 2; túnel de acceso a casa de máquinas y galería de oscilación.

Las vialidades secundarias o provisionales son todas aquellas que fueron desapareciendo conforme fue avanzando la construcción de las obras entre éstas podemos mencionar las siguientes: los accesos a los túneles de desvío por los portales de entrada y de salida, los accesos a las lumbreras de cierre provisional y cierre final, acceso a las bermas de la margen derecha así como en los canales de descarga y la zona de estructura de control del vertedor. en la cortina predominó más este tipo de vialidades por el intenso tráfico de maquinaria pesada para el acarreo de diferentes materiales en la zonificación de la cortina.

En el diseño de este camino se aplicaron las características de tipo “D” según las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con pendiente máxima del 10%, ancho de corona de 8 m, calzada de 6 m, talud cuneta de 3:1, bombeo de 2% y velocidad de proyecto 40-70 km/h. Considerando lo anterior y dadas las condiciones topográficas de la zona, este camino se construirá realizando cortes en el terreno de hasta 13 m y algunos terraplenes de hasta 7 m.

6.9.2 Geología

De acuerdo con el “Informe geológico en la etapa de preconstrucción del camino “El Cajón – Ayotita”, en Nayarit, emitido por la CFE y visitas de campo realizadas, en la margen izquierda se tienen los siguientes tipos de roca:

Los depósitos de talud están constituidos por acumulación de material granular, pequeños fragmentos y grandes bloques de roca con tamaños que llegan a alcanzar varios metros de diámetro contenidos en una matriz arcillo-arenosa; los espesores de estos depósitos son muy variables.

Las rocas vulcanosedimentarias (Tvs), son en la zona baja del macizo, masivas, bien compactadas y de dureza moderada a alta, pero la naturaleza de la matriz permite que sean fácilmente intemperizadas y alteradas a arcillas, produciendo materiales de mala calidad. La zona alta del macizo posee una litología de dureza media a baja, lo que origina una roca poco compacta y deleznable. La parte superior de los cortes se caracteriza por una alternancia de materiales piroclásticos claramente pseudoestratificados con variación de laminar a gruesa, conformados por materiales limolíticos, arenosos finos y fragmentos subangulosos y subredondeados de pórfidos andesíticos y riolíticos, clastos de ignimbritas y basaltos.

Por último, se encuentra la roca de tipo granito (Tg), la cual, debido a su grado de silicificación, es muy compacta, competente y de alta dureza, por lo que le confiere una excelente calidad cuando está inalterada y sin fracturas. Los minerales que la conforman son relativamente débiles al intemperismo por lo que se alteran con cierta facilidad, a excepción del cuarzo. Generalmente forma un suelo de grano grueso conocido como “tucuruquay”, con grandes bloques esferoidales aislados.

6.9.3 Análisis de estabilidad

El análisis de cuñas se aplicó para todos los tramos, utilizando para ello el programa de cómputo denominado “SWEDGE” desarrollado por la empresa Rocscience Inc., el cual requiere ser alimentado de los principales sistemas de fracturamiento, las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y la geometría del talud para la detección y tratamiento de cuñas.

El abatimiento de los taludes en roca de 0.25:1 a 0.5:1 contribuirá a mejorar la estabilidad del mismo, dado que la probabilidad de formación de cuñas disminuye porque la pendiente es más inclinada; el abatimiento de los taludes en depósito de talud de 0.25:1 a 1:1 contribuirá igualmente a mejorar la estabilidad del mismo, previniendo fallas de tipo rotacional o por el contacto con la roca; el drenaje largo tiene como finalidad aliviar la presión hidrostática generada en el interior del macizo rocoso del talud; en los cortes de más de 15 m de altura se dejarán bermas cuyo objetivo es que se depositen los fragmentos de material que caigan de la parte superior del corte y evitar que invadan al camino, lo mismo que la malla metálica evitará que los fragmentos de roca tengan caída libre y alcancen el camino; para drenaje superficial se construirán cunetas de concreto con la pendiente igual a la del camino, para desalojar el agua de lluvia y evitar su filtración al interior del talud y por último, se colocará anclaje de tipo fricción y concreto lanzado en zonas definidas en campo, para evitar el deslizamiento de cuñas potencialmente inestables.

6.9.4 Elementos de una curva circular simple

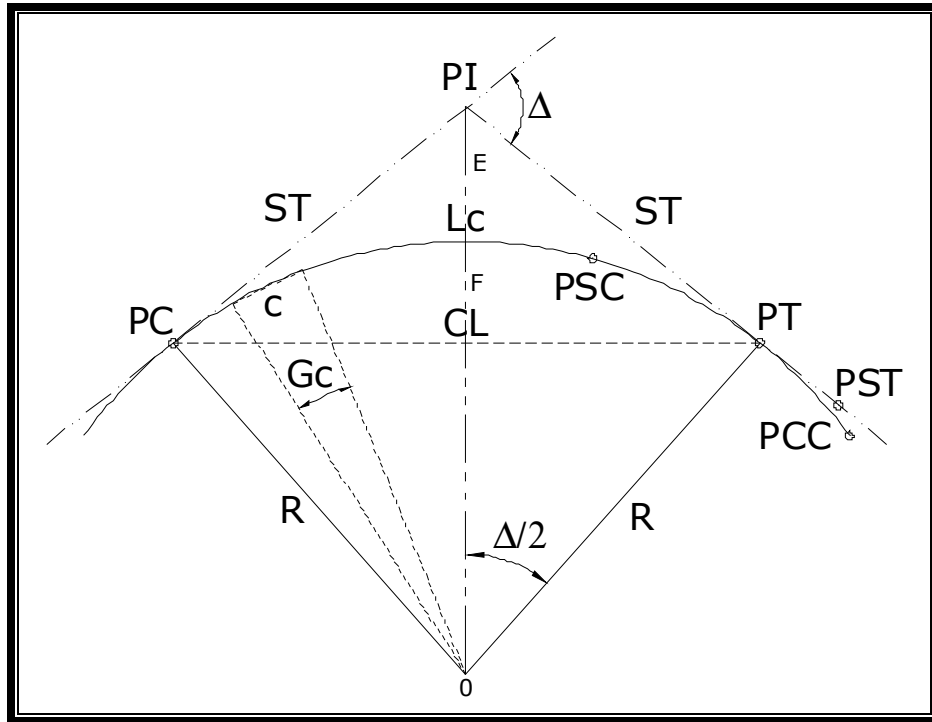


Figura 6.9. Elementos de una curva horizontal.

- PI = Punto de inflexión
- Δ = Ángulo de deflexión, formado en el PI
- ST = Subtangente, distancia del PC al PI y del PI al PT
- PC = Principio de una curva
- Lc = Longitud de la curva
- CL = Cuerda larga
- PT = Punto de tangente
- PSC = Punto sobre la curva
- PST = Punto sobre la tangente
- PCC = Punto sobre la curva compuesta, punto donde termina una curva simple
- R = Radio de la curva
- Gc = Grado de curvatura
- c = Cuerda unitaria con longitud de 5, 10 y 20 metros
- E = Externa, distancia entre PI y punto medio de Lc
- F = Flecha, distancia entre el punto medio de Lc y el punto medio de CL
- O = Centro de la curva
- g = Deflexión para subcuerda
- N = Distancia de transición
- Le = Longitud de transición

6.9.5 Tipos de secciones transversales de terracerías

Son secciones que muestran el perfil en corte transversal correspondientes a cada uno de los cadenamientos, de 10 o 20 metros de separación, y a veces también se requieren secciones en puntos intermedios especiales para zonas muy accidentadas, obtenidas del perfil longitudinal del terreno. Dichas secciones son normales al eje proyectado en planta.

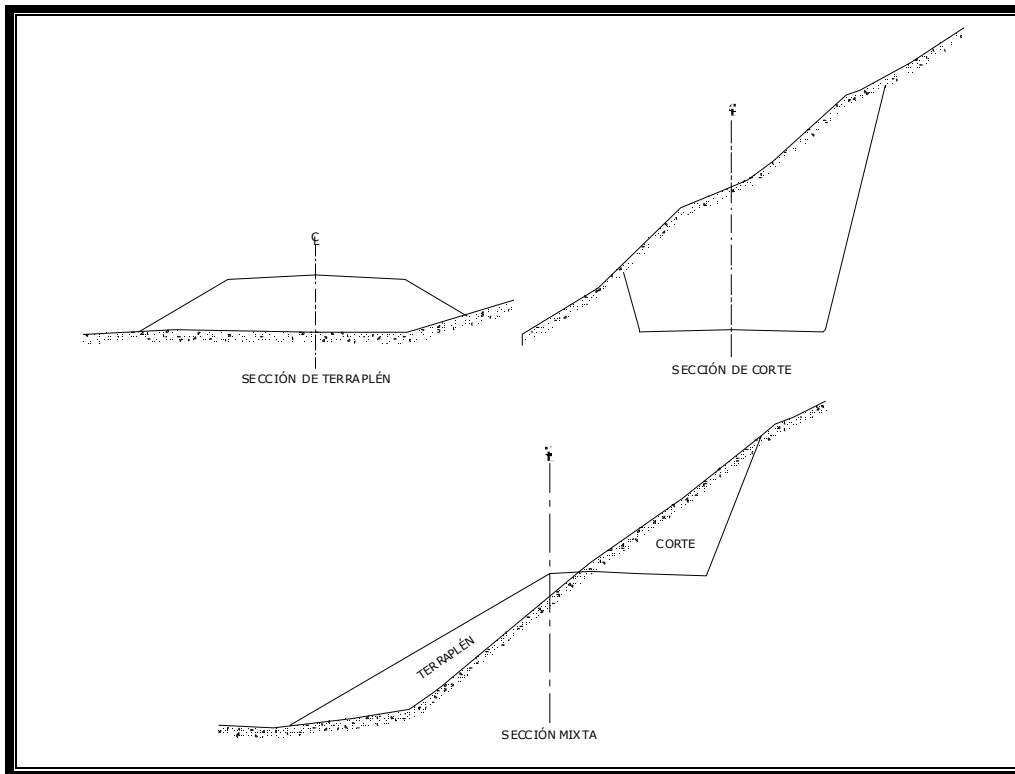
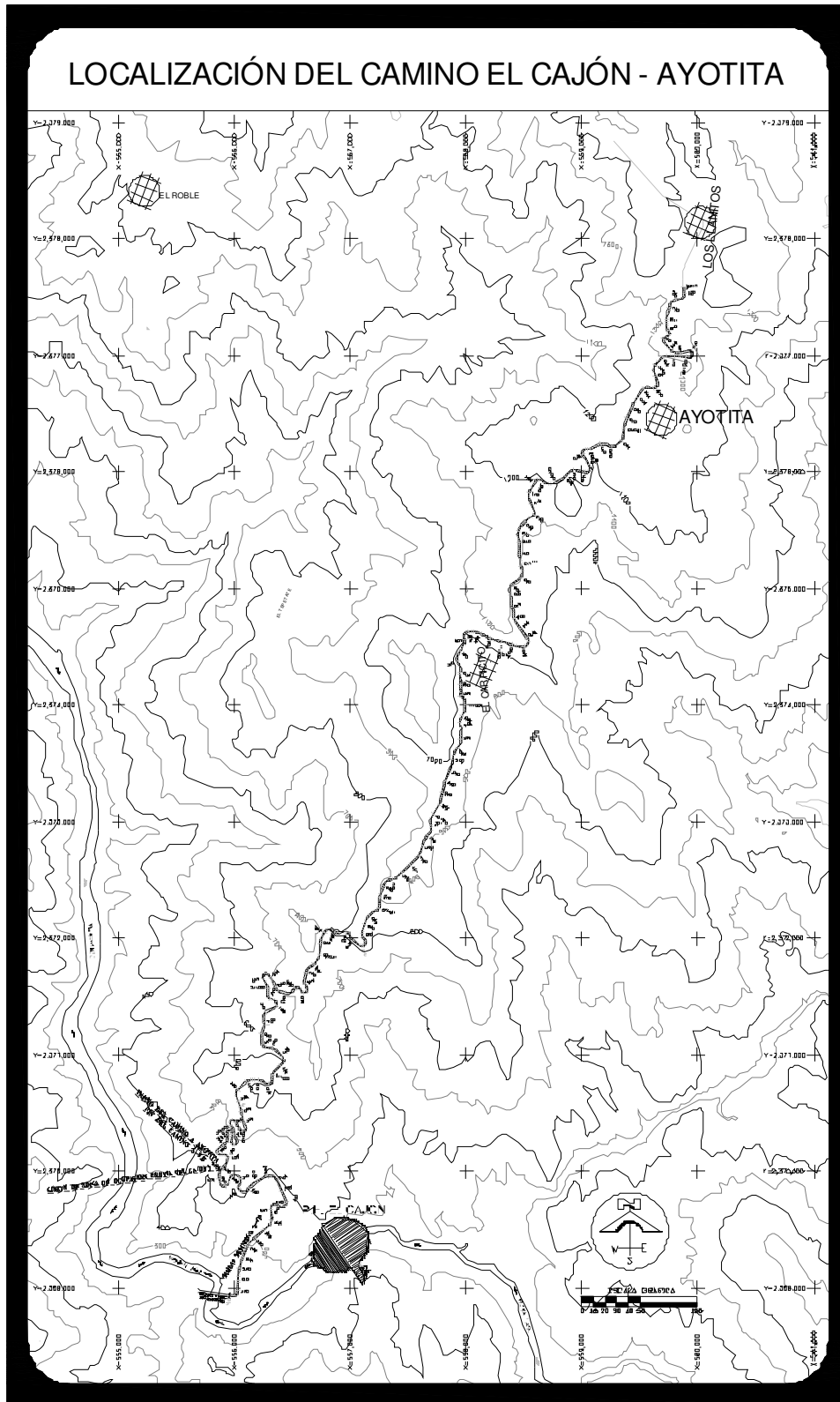


Figura 6.10. Tipos de secciones.

6.9.6 Proyecto geométrico del camino “El Cajón – Ayotita”

Para construir un camino es necesario realizar un reconocimiento aéreo de la zona en estudio realizando un levantamiento aerofotogramétrico de dicha zona para conocer la topografía del terreno y con esto se obtienen las curvas de nivel en un plano topográfico. Una vez conociendo las curvas de nivel cada 10 metros de separación, entramos a la etapa de proyecto que consiste primero en el alineamiento horizontal, se procede a buscar y trazar en el plano topográfico las posibles rutas que sigan las mejores condiciones. Cuando se presentan zonas montañosas nos apegaremos en lo posible a la pendiente media. La pendiente media entre curvas de nivel, está dentro del rango de pendientes permitidas por la SCT para determinada velocidad de proyecto y del tipo de camino.



Para el acceso de personal de trabajo y de maquinaria a la obra, se utilizaron los caminos vecinales próximos al trazo del camino. Por otra parte, fue necesario construir nuevos caminos en aquellos sitios donde no existía tal cercanía.

6.9.6.1 Trazo del eje y de las curvas horizontales del Km 52+186.38 al Km 54+200

Una vez aprobado el proyecto del camino “El Cajón – Ayotita” de tipo D, se dio por inicio a los trabajos de construcción. El primer paso para la ejecución del camino es trazar en campo el eje de trazo o del camino, que es igual al eje de proyecto. Para el trazo del eje también se requieren los cálculos de los elementos de las curvas horizontales que enlazan los tramos rectos del trazo de la carretera, tomando en cuenta los datos de proyecto como: velocidad de vehículo, grado de curvatura, ángulo de deflexión, sobreelevación, sobreancho, bombeo, etc. Con las coordenadas calculadas para el eje del camino y los cálculos de los elementos de la curva simple horizontal se obtuvieron las coordenadas de PC y PT de cada una de las curvas.

Hay varios métodos para trazar la curva horizontal; por deflexiones, por coordenadas rectangulares, por tangentes auxiliares y, por método de las abscisas y las ordenadas sobre la cuerda principal. Antes de iniciar los trabajos en campo del trazo del eje del camino, se colocaron varias mojoneras a lo largo del camino para la poligonal abierta de apoyo y llevar a cabo un control en las coordenadas de dichas mojoneras.

Para el trazo de las curvas horizontales con Estación Total se empleó el método de deflexiones que consiste en calcular el ángulo de deflexión de las cuerdas unitarias; ya sea de 5, 10 o 20 metros dependiendo del grado de curvatura (G_c) que se desea trazar la curva horizontal, como se muestra en la siguiente expresión, use cuerda de:

$$5m \quad 20^\circ < G_c \leq 40^\circ$$

$$10m \quad 10^\circ < G_c \leq 20^\circ$$

$$20m \quad G_c \leq 10^\circ$$

También se obtienen el ángulo de deflexión de las cuerdas fraccionarias, es decir, aquellas cuerdas que tienen valores menores de: 5, 10 ó 20 metros (cuerdas unitarias). Éstas cuerdas fraccionarias también tendrán diferentes valores de grado de curvatura, dependiendo de la curva horizontal que deseamos trazar.

Para cada una de las cuerdas unitarias y fraccionarias se calcularon el ángulo de deflexión tomando como origen, del trazo de la curva, en el punto PC denominado Principio de Curva (ver figura 6.9), y las coordenadas de los puntos denominados Puntos Sobre la Curva (PSC), estos puntos nos indican el desplazamiento de cada cuerda unitaria y cuerda fraccionaria, partiendo como origen el punto PC de la curva. El punto PSC es la intersección entre la cuerda y la longitud de la curva.

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	1 DE 26
CAMINO:	El Cajón – Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-1	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
70.0 Km/h	16°48'54"	IZQUIERDA	8°28'06"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
8.67 m	2.00%	13.00 m	30.00 m	3.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
135.317 m	39.712 m	20.000 m	39.570 m	1.470 m	1.454 m

PC	PI	PT	g para c=20
52+205.258	52+225.258	52+244.970	4°14'03"

PI	Coord. X PI	Coord. Y PI
52+225.258	555918.795	2370045.475

DATOS DE TRAZO - CURVA 1

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	52+205.258	0°00'00"	0.000 m	555905.937	2370030.157	40°00'32"
PSC-1	52+220.000	3°07'16"	14.735 m	555914.781	2370041.942	36°53'16"
PSC-2	52+240.000	7°21'19"	34.647 m	555924.631	2370059.327	32°39'13"
PT	52+244.970	8°24'27"	39.570 m	555926.672	2370063.859	31°36'05"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	2 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-2	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	116°08'59"	IZQUIERDA	39°11'34"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.78 m	2.00%	16.00 m	150.00 m	6.70%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
29.238 m	59.271 m	46.927 m	49.631 m	26.052 m	13.777 m

PC	PI	PT	g para c=5
52+284.838	52+331.765	52+344.109	4°53'57"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
52+331.765	555960.855	2370143.639

DATOS DE TRAZO - CURVA 2

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	52+284.838	0°00'00"	0.000 m	555942.373	2370100.504	23°11'38"
PSC-1	52+285.000	0°09'32"	0.160 m	555942.437	2370100.654	23°02'06"
PSC-2	52+290.000	5°03'29"	5.160 m	555943.978	2370105.404	18°08'09"
PSC-3	52+295.000	9°57'26"	10.110 m	555944.688	2370110.347	13°14'12"
PSC-4	52+300.000	14°51'22"	14.990 m	555944.547	2370115.339	8°20'16"
PSC-5	52+305.000	19°45'19"	19.770 m	555943.559	2370120.234	3°26'19"
PSC-6	52+310.000	24°39'16"	24.390 m	555941.751	2370124.889	357°27'38"
PSC-7	52+315.000	29°33'12"	28.840 m	555939.178	2370129.169	352°21'35"
PSC-8	52+320.000	34°27'09"	33.080 m	555935.914	2370132.949	347°15'31"
PSC-9	52+325.000	39°21'06"	37.080 m	555932.055	2370136.118	342°09'28"
PSC-10	52+330.000	44°15'03"	40.800 m	555927.712	2370138.584	337°03'25"
PSC-11	52+335.000	49°08'59"	44.230 m	555923.013	2370140.275	333°57'22"
PSC-12	52+340.000	54°02'56"	47.340 m	555918.095	2370141.142	328°51'18"
PT	52+344.109	58°04'29"	49.630 m	555913.991	2370141.219	324°52'52"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	3 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-3	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	143°06'49"	DERECHA	39°18'19"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.78 m	2.00%	16.00 m	150.00 m	6.70%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
29.154 m	72.822 m	87.421 m	55.314 m	63.000 m	19.931 m

PC	PI	PT	g para c=5
52+374.703	52+462.124	52+447.524	4°54'48"

PI	Coord. X PI	Coord. Y PI
52+462.124	555796.133	2370135.133

DATOS DE TRAZO - CURVA 3

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	52+374.703	0°00'00"	0.000 m	555883.437	2370139.641	267°02'39"
PSC-1	52+375.000	0°17'32"	0.297 m	555883.140	2370139.627	267°20'11"
PSC-2	52+380.000	5°12'19"	5.290 m	555878.151	2370139.849	272°14'58"
PSC-3	52+385.000	10°07'06"	10.244 m	555873.273	2370140.918	277°09'45"
PSC-4	52+390.000	15°01'54"	15.122 m	555868.650	2370142.805	282°04'33"
PSC-5	52+395.000	19°56'41"	19.890 m	555864.415	2370145.453	286°59'20"
PSC-6	52+400.000	24°51'29"	24.511 m	555860.695	2370148.784	291°54'07"
PSC-7	52+405.000	29°46'16"	28.952 m	555857.598	2370152.702	296°48'55"
PSC-8	52+410.000	34°41'03"	33.181 m	555855.215	2370157.091	301°43'42"
PSC-9	52+415.000	39°35'51"	37.165 m	555853.616	2370161.822	306°38'30"
PSC-10	52+420.000	44°30'38"	40.877 m	555852.848	2370166.756	311°33'17"
PSC-11	52+425.000	49°25'25"	44.288 m	555852.934	2370171.749	316°28'04"
PSC-12	52+430.000	54°20'13"	47.373 m	555853.870	2370176.655	321°22'52"
PSC-13	52+435.000	59°15'00"	50.111 m	555855.629	2370181.328	326°17'39"
PSC-14	52+440.001	64°09'48"	52.480 m	555858.161	2370185.633	331°12'26"
PSC-15	52+445.000	69°04'35"	54.464 m	555861.390	2370189.443	336°07'14"
PT	52+447.524	71°33'24"	55.314 m	555863.255	2370191.142	338°36'03"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	4 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-4	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
70.0 Km/h	3°50'47"	DERECHA	3°50'52"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
8.67 m	2.00%	12.000 m	40.00 m	3.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
297.805 m	19.992 m	10.000 m	19.989 m	0.168 m	0.168 m

PC	PI	PT	g para c=20
52+475.426	52+485.426	52+495.418	1°55'26"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
52+485.426	555892.357	2370215.425

DATOS DE TRAZO - CURVA 4

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	52+475.426	0°00'00"	0.000 m	555884.679	2370209.018	50°09'28"
PSC-1	52+480.000	0°26'24"	4.574 m	555888.213	2370211.921	50°35'52"
PT	52+495.418	1°55'24"	19.989 m	555900.447	2370221.302	52°04'51"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	5 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-5	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	43°01'04"	IZQUIERDA	24°30'26"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
6.43 m	2.00%	27.00 m	125.00 m	8.40%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
46.758 m	35.106 m	18.427 m	34.288 m	3.500 m	3.256 m

PC	PI	PT	g para c=5
52+523.103	52+541.530	52+558.209	3°03'48"

PI	Coord. X PI	Coord. Y PI
52+541.530	555937.755	2370248.403

DATOS DE TRAZO - CURVA 5

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	52+523.103	0°00'00"	0.000 m	555922.846	2370237.573	54°00'15"
PSC-1	52+525.000	1°09'44"	1.897 m	555924.358	2370238.718	52°50'31"
PSC-2	52+530.000	4°13'32"	6.891 m	555928.107	2370242.022	49°46'43"
PSC-3	52+535.000	7°17'20"	11.865 m	555931.483	2370245.708	46°42'55"
PSC-4	52+540.000	10°21'08"	16.805 m	555934.446	2370249.732	43°39'07"
PSC-5	52+545.000	13°24'57"	21.697 m	555936.963	2370254.050	40°35'18"
PSC-6	52+550.000	16°28'45"	26.528 m	555939.004	2370258.612	37°31'30"
PSC-7	52+555.000	19°32'33"	31.282 m	555940.547	2370263.365	34°27'42"
PT	52+558.209	21°30'32"	34.288 m	555941.266	2370266.492	32°29'43"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	6 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-6	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	40°33'01"	IZQUIERDA	29°39'32"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.80 m	2.00%	12.00 m	110.00 m	5.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
38.637 m	27.344 m	14.273 m	26.777 m	2.552 m	2.394 m

PC	PI	PT	g para c=5
52+568.793	52+583.066	52+596.137	3°42'27"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
52+583.066	555946.004	2370290.893

DATOS DE TRAZO - CURVA 6

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	52+568.793	0°00'00"	0.000 m	555943.283	2370276.882	10°59'11"
PSC-1	52+570.000	0°53'42"	1.207 m	555943.495	2370278.070	10°05'29"
PSC-2	52+575.000	4°36'08"	6.200 m	555943.973	2370283.044	6°23'03"
PSC-3	52+580.000	8°18'35"	11.168 m	555943.805	2370288.037	2°40'36"
PSC-4	52+585.000	12°01'01"	16.088 m	555942.994	2370292.968	357°01'50"
PSC-5	52+590.000	15°43'28"	20.942 m	555941.554	2370297.752	354°44'17"
PSC-6	52+595.000	19°25'54"	25.708 m	555939.508	2370302.311	350°26'43"
PT	52+596.137	20°16'30"	26.777 m	555938.961	2370303.308	349°17'19"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	7 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-7	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	106°11'47"	DERECHA	46°42'15"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.84 m	2.00%	19.00 m	175.00 m	7.85%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
24.536 m	45.476 m	32.676 m	39.241 m	16.327 m	9.803 m

PC	PI	PCC	g para c=5
52+606.264	52+638.941	52+651.740	5°50'17"

DATOS DE TRAZO - CURVA 7

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	52+606.264	0°00'00"	0.000 m	555933.965	2370312.117	330°26'10"
PSC-1	52+610.000	4°21'42"	3.732 m	555932.376	2370315.493	334°47'53"
PSC-2	52+615.000	10°11'59"	8.690 m	555931.084	2370320.315	340°38'10"
PSC-3	52+620.000	16°02'16"	13.557 m	555930.794	2370325.298	346°28'27"
PSC-4	52+625.000	21°52'33"	18.284 m	555931.519	2370330.236	352°18'44"
PSC-5	52+630.000	27°42'50"	22.821 m	555933.228	2370334.926	358°09'01"
PSC-6	52+635.000	33°33'07"	27.121 m	555935.851	2370339.172	363°59'17"
PSC-7	52+640.000	39°23'24"	31.140 m	555939.279	2370342.800	369°49'34"
PSC-8	52+645.000	45°13'41"	34.836 m	555943.371	2370345.659	375°39'51"
PSC-9	52+650.000	51°03'58"	38.171 m	555947.956	2370347.631	381°30'08"
PCC	52+651.740	53°05'54"	39.241 m	555949.634	2370348.093	383°32'04"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	8 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-8	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	106°11'47"	DERECHA	46°42'15"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.84 m	2.00%	19.00 m	175.00 m	7.85%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
24.536 m	45.476 m	32.676 m	39.241 m	16.327 m	9.803 m

PCC	PI	PT	g para c=5
52+651.740	52+684.417	52+697.217	5°50'17"

PI	Coord. X PI	Coord. Y PI
52+684.417	555981.425	2370355.648

DATOS DE TRAZO - CURVA 8

	Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut
PCC	52+651.740	0°00'00"	0.000 m	555949.634	2370348.093	356°14'50"
PSC-1	52+655.000	3°48'21"	3.257 m	555952.845	2370348.634	80°26'19"
PSC-2	52+660.000	9°38'38"	8.221 m	555957.837	2370348.627	80°16'35"
PSC-3	52+665.000	15°28'55"	13.099 m	555962.723	2370347.610	92°06'52"
PSC-4	52+670.000	21°19'12"	17.841 m	555967.303	2370345.625	97°57'09"
PSC-5	52+675.000	27°09'29"	22.398 m	555971.386	2370342.754	103°47'26"
PSC-6	52+680.000	32°59'46"	26.723 m	555974.804	2370339.116	109°47'43"
PSC-7	52+685.000	38°50'03"	30.771 m	555977.415	2370334.862	115°28'00"
PSC-8	52+690.000	44°40'19"	34.499 m	555979.110	2370330.168	121°18'17"
PSC-9	52+695.000	50°30'36"	37.870 m	555979.821	2370325.227	127°08'34"
PT	52+697.217	53°05'54"	39.241 m	555979.812	2370323.011	129°43'51"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	9 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-9	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	104°38'44"	IZQUIERDA	46°27'28"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.68 m	2.00%	18.00 m	170.00 m	7.70%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
24.666 m	45.050 m	31.940 m	39.044 m	15.690 m	9.590 m

PC	PI	PCC	g para c=5
52+765.874	52+797.814	52+810.924	5°48'26"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
52+797.814	555974.847	2370222.536

DATOS DE TRAZO - CURVA 9

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	52+765.874	0°00'00"	0.000 m	555976.423	2370254.437	182°49'45"
PSC-1	52+770.000	4°47'31"	4.121 m	555976.564	2370250.319	178°02'14"
PSC-2	52+775.000	10°35'57"	9.074 m	555977.650	2370245.447	172°13'48"
PSC-3	52+780.000	16°24'23"	13.934 m	555979.694	2370240.893	166°25'22"
PSC-4	52+785.000	22°12'49"	18.650 m	555982.613	2370236.844	160°36'56"
PSC-5	52+790.000	28°01'14"	23.176 m	555986.288	2370233.466	154°48'30"
PSC-6	52+795.000	33°49'40"	27.463 m	555990.567	2370230.897	149°00'04"
PSC-7	52+800.000	39°38'06"	31.469 m	555995.276	2370229.241	143°11'38"
PSC-8	52+805.000	45°26'32"	35.151 m	556000.222	2370228.568	137°23'12"
PSC-9	52+810.000	51°14'58"	38.473 m	556005.202	2370228.904	131°34'46"
PCC	52+810.924	52°19'22"	39.044 m	556006.110	2370229.077	130°30'23"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	10 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-10	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	102°09'02"	IZQUIERDA	46°27'28"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.68 m	2.00%	18.00 m	170.00 m	7.70%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
24.666 m	43.976 m	30.542 m	38.379 m	14.592 m	9.168 m

PCC	PI	PT	g para c=5
52+810.924	52+841.466	52+854.900	5°48'26"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
52+841.466	556036.005	2370235.331

DATOS DE TRAZO - CURVA 10

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PCC	52+810.924	0°00'00"	0.000 m	556006.110	2370229.077	78°11'01"
PSC-1	52+815.000	4°44'01"	4.071 m	556010.013	2370230.236	73°27'01"
PSC-2	52+820.000	10°32'27"	9.024 m	556014.456	2370232.509	67°38'35"
PSC-3	52+825.000	16°20'53"	13.885 m	556018.352	2370235.631	61°50'09"
PSC-4	52+830.000	22°09'19"	18.604 m	556021.539	2370239.472	56°01'43"
PSC-5	52+835.000	27°57'45"	23.131 m	556023.887	2370243.877	50°13'17"
PSC-6	52+840.000	33°46'11"	27.421 m	556025.301	2370248.664	44°24'50"
PSC-7	52+845.000	39°34'37"	31.430 m	556025.722	2370253.637	38°36'24"
PSC-8	52+850.000	45°23'03"	35.116 m	556025.133	2370258.594	32°47'58"
PT	52+854.900	51°04'31"	38.379 m	556023.598	2370263.239	27°06'30"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	11 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-11	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
70.0 Km/h	9°56'59"	DERECHA	6°38'59.7"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
8.67 m	2.00%	13.000 m	50.00 m	3.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
172.321 m	29.924 m	15.000 m	29.887 m	0.652 m	0.649 m

PC	PI	PT	g para c=20
52+882.581	52+897.581	52+912.506	3°19'30"

PI	Coord. X PI	Coord. Y PI
52+897.581	556006.261	2370302.241

DATOS DE TRAZO - CURVA 11

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	52+882.581	0°00'00"	0.000 m	556012.354	2370288.534	336°01'59"
PSC-1	52+900.000	2°53'45"	17.411 m	556006.094	2370304.781	338°55'44"
PT	52+912.506	4°58'30"	29.887 m	556002.628	2370316.794	341°00'29"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	12 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-12	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
60.0 Km/h	15°56'42"	IZQUIERDA	10°41'57"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
7.03 m	2.00%	13.00 m	70.00 m	3.70%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
107.104 m	29.806 m	15.000 m	29.710 m	1.045 m	1.035 m

PC	PI	PT	g para c=10
52+930.576	52+945.576	52+960.382	2°40'30"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
52+945.576	555994.618	2370348.880

DATOS DE TRAZO - CURVA 12

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	52+930.576	0°00'00"	0.000 m	555998.251	2370334.327	78°11'01"
PSC-1	52+815.000	4°44'01"	4.071 m	555995.569	2370343.357	73°27'01"
PSC-2	52+820.000	10°32'27"	9.024 m	555991.868	2370352.643	67°38'35"
PSC-3	52+825.000	16°20'53"	13.885 m	555987.317	2370361.544	61°50'09"
PT	52+960.382	51°04'31"	38.379 m	555987.126	2370361.875	27°06'30"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	13 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-13	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	97°37'51"	DERECHA	41°55'07"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.86 m	2.00%	17.00 m	160.00 m	7.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
27.337 m	46.581 m	31.244 m	41.147 m	14.178 m	9.336 m

PC	PI	PCC	g para c=5
53+003.501	53+034.744	53+050.082	5°14'23"

PI	Coord. X PI	Coord. Y PI
53+034.744	555949.988	2370426.299

DATOS DE TRAZO - CURVA 13

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	53+003.501	0°00'00"	0.000 m	555965.592	2370399.231	330°02'17"
PSC-1	53+005.000	1°34'16"	1.499 m	555964.879	2370400.550	331°36'33"
PSC-2	53+010.000	6°48'39"	6.484 m	555963.043	2370405.193	336°50'56"
PSC-3	53+015.000	12°03'03"	11.415 m	555962.081	2370410.092	342°05'19"
PSC-4	53+020.000	17°17'26"	16.250 m	555962.027	2370415.085	347°19'43"
PSC-5	53+025.000	22°31'49"	20.950 m	555962.882	2370420.005	352°34'06"
PSC-6	53+030.000	27°46'13"	25.474 m	555964.618	2370424.686	357°48'29"
PSC-7	53+035.000	33°00'36"	29.785 m	555967.176	2370428.974	363°02'53"
PSC-8	53+040.000	38°14'59"	33.848 m	555970.471	2370432.726	368°17'16"
PSC-9	53+045.000	43°29'23"	37.628 m	555974.393	2370435.815	373°31'39"
PSC-10	53+050.000	48°43'46"	41.093 m	555978.813	2370438.139	378°46'02"
PCC	53+050.082	48°48'55"	41.147 m	555978.888	2370438.170	378°51'12"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	14 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-14	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
30.0 Km/h	91°19'17"	DERECHA	41°55'07"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.86 m	2.00%	17.00 m	160.00 m	7.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
27.337 m	43.571 m	27.975 m	39.103 m	11.777 m	8.231 m

PCC	PI	PT	g para c=5
53+050.082	53+078.057	53+093.653	5°14'23"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+078.057	556004.765	2370448.800

DATOS DE TRAZO - CURVA 14

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PCC	53+050.082	0°00'00"	0.000 m	555978.889	2370438.171	67°40'07"
PSC-1	53+055.000	5°09'13"	4.911 m	555983.581	2370439.621	72°49'21"
PSC-2	53+060.000	10°23'37"	9.864 m	555988.539	2370440.211	78°03'44"
PSC-3	53+065.000	15°38'00"	14.733 m	555993.521	2370439.889	83°18'07"
PSC-4	53+070.000	20°52'23"	19.480 m	555998.362	2370438.666	88°32'31"
PSC-5	53+075.000	26°06'47"	24.064 m	556002.900	2370436.583	93°46'54"
PSC-6	53+080.000	31°21'10"	28.447 m	556006.984	2370433.710	99°01'18"
PSC-7	53+085.000	36°35'33"	32.592 m	556010.476	2370430.142	104°15'41"
PSC-8	53+090.000	41°49'57"	36.465 m	556013.262	2370425.998	109°30'04"
PT	53+093.653	45°39'39"	39.103 m	556014.795	2370422.685	113°19'46"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	15 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-15	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
60.0 Km/h	10°05'59"	IZQUIERDA	10°07'34"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
7.88 m	2.00%	13.00 m	70.00 m	3.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
113.166 m	19.948 m	10.000 m	19.922 m	0.441 m	0.439 m

PC	PI	PT	g para c=10
53+106.559	53+116.559	53+126.507	2°31'53"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+116.559	556023.007	2370401.302

DATOS DE TRAZO - CURVA 15

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	53+106.559	0°00'00"	0.000 m	556019.422	2370410.637	158°59'25"
PSC-1	52+220.000	0°52'16"	3.441 m	556020.704	2370407.444	158°07'09"
PSC-2	52+240.000	3°24'09"	13.433 m	556024.974	2370398.405	155°35'16"
PT	53+126.507	5°03'00"	19.922 m	556028.174	2370392.740	153°56'25"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	16 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-16	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
70.0 Km/h	6°55'43"	DERECHA	6°56'14"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
8.67 m	2.00%	13.00 m	50.00 m	3.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
165.185 m	19.976 m	10.000 m	19.963 m	0.302 m	0.302 m

PC	PI	PT	g para c=20
53+137.909	53+147.909	53+157.884	3°27'51.5"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+147.909	556039.232	2370374.416

DATOS DE TRAZO - CURVA 16

	Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut
PC	53+137.909	0°00'00"	0.000 m	556034.065	2370382.978	349°50'40"
PSC-1	53+140.000	0°21'46"	2.091 m	556035.134	2370381.181	149°15'11"
PT	53+157.884	3°27'52"	19.963 m	556043.328	2370365.294	152°21'17"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	17 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-17	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	86°33'37"	IZQUIERDA	40°23'31"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.78 m	2.00%	16.00 m	150.00 m	6.70%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
28.370 m	42.860 m	26.716 m	38.889 m	10.599 m	7.716 m

PC	PI	PCC	g para c=5
53+168.042	53+194.758	53+210.902	5°02'56"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+194.758	556058.432	2370331.656

DATOS DE TRAZO - CURVA 17

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	53+168.042	0°00'00"	0.000 m	556047.489	2370356.028	155°49'09"
PSC-1	53+170.000	1°58'39"	1.958 m	556048.352	2370354.270	153°50'30"
PSC-2	53+175.000	7°01'35"	6.941 m	556051.085	2370350.091	148°47'33"
PSC-3	53+180.000	12°04'32"	11.870 m	556054.508	2370346.456	143°44'37"
PSC-4	53+185.000	17°07'28"	16.707 m	556058.516	2370343.477	138°41'41"
PSC-5	53+190.000	22°10'24"	21.414 m	556062.984	2370341.247	133°38'44"
PSC-6	53+195.000	27°13'21"	25.956 m	556067.774	2370339.836	128°35'48"
PSC-7	53+200.000	32°16'17"	30.295 m	556072.737	2370339.285	123°32'52"
PSC-8	53+205.000	37°19'13"	34.400 m	556077.720	2370339.614	118°29'55"
PSC-9	53+210.000	42°22'10"	38.238 m	556082.568	2370340.811	113°26'59"
PCC	53+210.902	43°16'48"	38.899 m	556083.416	2370341.117	112°32'21"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	18 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-18	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	93°06'58"	IZQUIERDA	40°23'32"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.78 m	2.00%	16.00 m	150.00 m	6.70%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
28.370 m	46.106 m	29.956 m	38.889 m	10.599 m	7.716 m

PCC	PI	PT	g para c=5
53+210.902	53+240.858	53+257.008	5°02'56"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+240.858	556111.431	2370351.726

DATOS DE TRAZO - CURVA 18

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PCC	53+210.902	0°00'00"	0.000 m	556083.416	2370341.117	69°15'32"
PSC-1	53+215.000	4°08'18"	4.095 m	556087.131	2370342.840	65°07'14"
PSC-2	53+220.000	9°11'14"	9.059 m	556091.268	2370345.637	60°04'18"
PSC-3	53+225.000	14°14'11"	13.954 m	556094.850	2370349.116	55°01'22"
PSC-4	53+230.000	19°17'07"	18.740 m	556097.766	2370353.169	49°58'25"
PSC-5	53+235.000	24°20'04"	23.380 m	556099.927	2370357.671	44°55'29"
PSC-6	53+240.000	29°23'00"	27.839 m	556101.265	2370362.482	39°52'32"
PSC-7	53+245.000	34°25'57"	32.083 m	556101.739	2370367.453	34°49'36"
PSC-8	53+250.000	39°28'53"	36.077 m	556101.333	2370372.430	29°46'39"
PSC-9	53+255.000	44°31'50"	39.791 m	556100.062	2370377.259	24°43'43"
PT	53+257.008	46°33'29"	41.197 m	556099.315	2370379.123	22°42'03"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	19 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-19	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
70.0 Km/h	17°01'7.4"	DERECHA	8°34'21"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
8.67 m	2.00%	13.00 m	60.00 m	3.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
133.674 m	39.705 m	20.000 m	39.560 m	1.488 m	1.472 m

PC	PI	PT	g para c=20
53+309.477	53+329.477	53+349.183	4°17'11"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+329.477	556070.004	2370445.400

DATOS DE TRAZO - CURVA 19

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	53+309.477	0°00'00"	0.000 m	556078.094	2370427.109	336°08'34"
PSC-1	53+320.000	2°15'18"	10.520 m	556074.221	2370436.890	338°23'53"
PSC-2	53+340.000	6°32'29"	30.456 m	556069.029	2370456.185	342°41'03"
PT	53+349.183	8°30'34"	39.560 m	556067.623	2370465.258	344°39'08"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	20 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-20	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
70.0 Km/h	12°42'21"	IZQUIERDA	6°22'45"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
8.67 m	2.00%	13.00 m	50.00 m	3.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
179.638 m	39.836 m	20.000 m	39.754 m	1.110 m	1.103 m

PC	PI	PT	g para c=20
53+382.699	53+402.699	53+422.535	3°11'22"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+402.699	556061.251	2370518.394

DATOS DE TRAZO - CURVA 20

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	53+382.699	0°00'00"	0.000 m	556063.632	2370498.536	353°09'41"
PSC-1	53+400.000	2°45'33"	17.294 m	556060.749	2370515.588	350°24'09"
PSC-2	53+420.000	5°56'55"	37.234 m	556055.391	2370534.846	347°12'47"
PT	53+422.535	6°21'10"	39.754 m	556054.560	2370537.241	346°48'31"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	21 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-21	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	65°26'49"	DERECHA	20°27'13"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
6.27 m	2.00%	21.00 m	100.00 m	6.70%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
56.025 m	63.995 m	36.000 m	60.573 m	10.569 m	8.892 m

PC	PI	PT	g para c=5
53+534.387	53+570.387	53+598.383	2°33'24"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+570.387	556005.098	2370676.575

DATOS DE TRAZO - CURVA 21

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	53+534.387	0°00'00"	0.000 m	556017.142	2370642.649	340°27'21"
PSC-1	52+535.000	0°18'48"	0.613 m	556016.940	2370643.228	340°46'09"
PSC-2	52+540.000	2°52'12"	5.610 m	556015.532	2370648.023	343°19'33"
PSC-3	52+545.000	5°25'36"	10.597 m	556014.557	2370652.926	345°52'57"
PSC-4	52+550.000	7°59'00"	15.562 m	556014.023	2370657.896	348°26'21"
PSC-5	52+555.000	10°32'24"	20.497 m	556013.934	2370662.893	350°59'45"
PSC-6	52+560.000	13°05'48"	25.390 m	556014.291	2370667.879	353°33'09"
PSC-7	52+565.000	15°39'13"	30.233 m	556015.090	2370672.813	356°06'33"
PSC-8	52+570.000	18°12'37"	35.016 m	556016.326	2370677.656	358°39'58"
PSC-9	52+575.000	20°46'01"	39.729 m	556017.989	2370682.369	361°13'22"
PSC-10	52+580.000	23°19'25"	44.363 m	556020.066	2370686.916	363°46'46"
PSC-11	52+585.000	25°52'49"	48.909 m	556022.539	2370691.260	366°20'10"
PSC-12	52+590.000	28°26'13"	53.358 m	556025.390	2370695.365	368°53'34"
PSC-13	52+595.000	30°59'38"	57.700 m	556028.595	2370699.201	371°26'58"
PT	53+598.383	32°43'25"	60.573 m	556030.952	2370701.626	373°10'46"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	22 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-22	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
60.0 Km/h	43°09'5.6"	DERECHA	14°14'59"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
6.38 m	2.00%	15.00 m	80.00 m	4.70%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
80.417 m	60.565 m	31.800 m	59.144 m	6.059 m	5.635 m

PC	PI	PT	g para c=10
53+686.093	53+717.893	53+746.658	3°33'45"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+717.893	556116.780	2370784.791

DATOS DE TRAZO - CURVA 22

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	53+686.093	0°00'00"	0.000 m	556093.942	2370762.662	45°54'10"
PSC-1	53+690.000	1°23'31"	3.907 m	556096.813	2370765.312	47°17'41"
PSC-2	53+700.000	4°57'16"	13.890 m	556104.715	2370771.430	50°51'26"
PSC-3	53+710.000	8°31'00"	23.819 m	556113.314	2370776.521	54°25'11"
PSC-4	53+720.000	12°04'45"	33.657 m	556122.479	2370780.506	57°58'55"
PSC-5	53+730.000	15°38'30"	43.364 m	556132.067	2370783.324	61°32'40"
PSC-6	53+740.000	19°12'15"	52.904 m	556141.931	2370784.930	65°06'25"
PT	53+746.658	21°34'33"	59.144 m	556148.575	2370785.316	66°28'43"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	23 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-23	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
60.0 Km/h	40°44'53"	DERECHA	14°11'09"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
6.38 m	2.00%	15.00 m	80.00 m	4.70%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
80.780 m	57.449 m	30.000 m	56.246 m	5.391 m	5.054 m

PC	PI	PT	g para c=10
53+800.367	53+830.367	53+857.817	3°32'47"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+830.367	556232.274	2370786.697

DATOS DE TRAZO - CURVA 23

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	53+800.367	0°00'00"	0.000 m	556202.278	2370786.202	89°03'16"
PSC-1	53+810.000	3°24'58"	9.627 m	556211.896	2370785.787	92°28'14"
PSC-2	53+820.000	6°57'45"	19.584 m	556221.754	2370784.149	96°01'01"
PSC-3	53+830.000	10°30'33"	29.467 m	556231.335	2370781.306	99°33'48"
PSC-4	53+840.000	14°03'20"	39.236 m	556240.492	2370777.302	103°06'36"
PSC-5	53+850.000	17°36'07"	48.856 m	556249.084	2370772.198	106°39'23"
PT	53+857.817	20°22'27"	56.246 m	556255.321	2370767.493	109°25'42"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	24 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-24	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	125°25'47"	IZQUIERDA	32°40'13"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.910 m	2.00%	13.00 m	130.00 m	5.30%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
35.075 m	76.785 m	68.000 m	62.345 m	41.438 m	18.996 m

PC	PI	PT	g para c=5
53+872.604	53+940.604	53+949.389	4°05'02"

PI	Coor. X PI	Coor. Y PI
53+940.604	556318.923	2370714.497

DATOS DE TRAZO - CURVA 24

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	53+872.604	0°00'00"	0.000 m	556266.682	2370758.027	129°48'09"
PSC-1	53+875.000	1°57'26"	2.396 m	556268.574	2370756.557	127°50'43"
PSC-2	53+880.000	6°02'27"	7.383 m	556272.819	2370753.924	123°45'42"
PSC-3	53+885.000	10°07'29"	12.332 m	556277.396	2370751.921	119°40'40"
PSC-4	53+890.000	14°12'31"	17.219 m	556282.211	2370750.589	115°35'38"
PSC-5	53+895.000	18°17'32"	22.018 m	556287.166	2370749.954	111°30'37"
PSC-6	53+900.000	22°22'34"	26.705 m	556292.161	2370750.029	107°25'35"
PSC-7	53+905.000	26°27'36"	31.257 m	556297.095	2370750.814	103°20'33"
PSC-8	53+910.000	30°32'37"	35.650 m	556301.867	2370752.291	99°15'32"
PSC-9	53+915.000	34°37'39"	39.862 m	556306.381	2370754.431	95°10'30"
PSC-10	53+920.000	38°42'41"	43.872 m	556310.546	2370757.191	91°05'28"
PSC-11	53+925.000	42°47'42"	47.659 m	556314.275	2370760.515	87°00'27"
PSC-12	53+930.000	46°52'44"	51.204 m	556317.495	2370764.335	82°55'25"
PSC-13	53+935.000	50°57'46"	54.488 m	556320.140	2370768.573	78°50'23"
PSC-14	53+940.000	55°02'47"	57.496 m	556322.155	2370773.144	74°45'22"
PSC-15	53+945.000	59°07'49"	60.213 m	556323.501	2370777.956	70°40'20"
PT	53+949.389	62°42'53"	62.345 m	556324.108	2370782.299	67°05'16"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	25 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-25	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	40°36'28"	DERECHA	21°11'56"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
6.29 m	2.00%	22.00 m	105.00 m	7.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
54.056 m	38.311 m	20.000 m	37.515 m	3.581 m	3.359 m

PC	PI	PT	g para c=5
53+987.279	54+007.279	54+025.590	2°38'59"

PI	Coord. X PI	Coord. Y PI
54+007.279	556328.522	2370840.021

DATOS DE TRAZO - CURVA 25

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PCC	53+987.279	0°00'00"	0.000 m	556326.997	2370820.079	4°22'22"
PSC-1	53+990.000	1°26'31"	2.721 m	556327.273	2370822.786	5°48'54"
PSC-2	53+995.000	4°05'31"	7.714 m	556328.133	2370827.710	8°27'53"
PSC-3	54+000.000	6°44'30"	12.692 m	556329.444	2370832.533	11°06'53"
PSC-4	54+005.000	9°23'30"	17.642 m	556331.194	2370837.214	13°45'52"
PSC-5	54+010.000	12°02'29"	22.554 m	556333.370	2370841.714	16°24'52"
PSC-6	54+015.000	14°41'29"	27.418 m	556335.952	2370845.994	19°03'51"
PSC-7	54+020.000	17°20'28"	32.224 m	556338.919	2370850.017	21°42'51"
PSC-8	54+025.000	19°59'28"	36.960 m	556342.244	2370853.748	24°21'50"
PT	54+025.590	20°18'14"	37.515 m	556342.659	2370854.168	24°40'37"

FECHA:	AGOSTO DE 2005	HOJA:	26 DE 26
CAMINO:	El Cajón - Ayotita	CALCULÓ:	
TIPO:	D	REVISÓ:	
CURVA:	C-26	APROBÓ:	

CALCULO DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES

DATOS DE PROYECTO

Vel.	Δ	Dir.	Gc	Corona	Calzada	Corte	Terraplén
40.0 Km/h	88°41'5.1"	IZQUIERDA	29°59'59.70"	8.00 m	6.00 m	0.25:1	1.5:1

N	Bombeo	Le	Ac	Sc	Pavimento
4.80 m	2.00%	12.00 m	120.00 m	5.00%	0.20 m

CÁLCULO GEOMÉTRICO

Rc	Lc	ST	CL	E	F
38.197 m	59.123 m	37.331 m	53.396 m	15.212 m	10.880 m

PC	PI	PT	g para c=5
54+127.582	54+164.913	54+186.706	3°45'00"

PI	Coord. X PI	Coord. Y PI
54+164.913	556441.142	2370952.717

DATOS DE TRAZO - CURVA 26

Estación	Deflexión	Cuerda	Coord. X	Coord. Y	Azimut	
PC	54+127.582	0°00'00"	0.000 m	556414.754	2370926.311	44°58'51"
PSC-1	54+130.000	1°48'48"	2.417 m	556416.408	2370928.074	43°10'03"
PSC-2	54+135.000	5°33'48"	7.406 m	556419.457	2370932.033	39°25'03"
PSC-3	54+140.000	9°18'48"	12.363 m	556421.963	2370936.355	35°40'03"
PSC-4	54+145.000	13°03'48"	17.267 m	556423.883	2370940.968	31°55'03"
PSC-5	54+150.000	16°48'48"	22.098 m	556425.185	2370945.792	28°10'03"
PSC-6	54+155.000	20°33'48"	26.833 m	556425.847	2370950.744	24°25'03"
PSC-7	54+160.000	24°18'48"	31.454 m	556425.856	2370955.741	20°40'03"
PSC-8	54+165.000	28°03'48"	35.940 m	556425.212	2370960.696	16°55'03"
PSC-9	54+170.000	31°48'48"	40.272 m	556423.928	2370965.524	13°10'03"
PSC-10	54+175.000	35°33'48"	44.431 m	556422.024	2370970.144	9°25'03"
PSC-11	54+180.000	39°18'48"	48.401 m	556419.534	2370974.475	5°40'03"
PSC-12	54+185.000	43°03'48"	52.163 m	556416.500	2370978.445	1°55'03"
PT	54+186.706	44°20'33"	53.396 m	556415.349	2370979.704	0°38'18"

Los primeros pasos para el trazo de la curva horizontal es necesario tener en la libreta las coordenadas de los puntos PC, PT y del punto de inflexión PI en caso de que sea necesario y cuando dicho punto es accesible. También se calcularon los ángulos de deflexión y las coordenadas de los puntos PSC así como los valores de las distancias de las cuerdas unitarias y cuerdas fraccionarias.

Se estaciona la Estación Total en el punto PC como origen y orientado a un punto o mojonera, de coordenadas conocida. En la Estación Total se introduce las coordenadas de la primera cuerda considerando el eje de trazo el norte con ángulo de deflexión de $0^{\circ}00'00''$, se gira el aparato hacia la derecha o hacia la izquierda dependiendo de la dirección del trazo de la curva de proyecto indicada en el plano topográfico. Al girar el aparato y visando hacia un prisma, podemos observar en la pantalla el ángulo de deflexión y la distancia de la cuerda.

Con los datos del primer punto (PSC-1) le decimos al cadenero que coloque el bastón con prisma, mas o menos, la posición del punto PSC-1 y moviendo el prisma hacia atrás o adelante y hacia la derecha o a la izquierda, una vez que se localizó dicho punto se clava una estaca de madera en la tierra con el cadenamiento correspondiente a este punto.

Después se trazan los ángulos de deflexión calculados y las cuerdas de los demás puntos (PSC) hasta donde la visual del aparato alcance a trazar, en caso de que la curva es muy cerrada. Si la visual del aparato ya no alcanza a llegar al final de la curva y en donde PI es inaccesible, se coloca el aparato a la mitad de la curva denominándole **punto de la curva circular (PCC)**.

A partir de este punto se procede a realizar los cálculos de los ángulos de deflexión y de las cuerdas unitarias o fraccionarias poniendo el círculo horizontal en $0^{\circ}00'00''$ como origen. Para facilitar el trabajo del trazo de las curvas horizontales se calcularon las coordenadas UTM de los puntos sobre la curva (PSC) para cada cuerda unitaria y cuerda fraccionaria.

Con las coordenadas introducidas del punto (PCC) y orientando la Estación Total al punto PC y conociendo las coordenadas de los demás puntos para cerrar la curva, le decimos al cadenero que coloque el bastón con prisma mas o menos a la posición del punto PSC-5, suponiendo que nos quedamos en este punto, moviendo el prisma hacia atrás o adelante y hacia la derecha o a la izquierda. Una vez que se localizó dicho punto se clava con estaca de madera en la tierra, marcando con pintura el cadenamiento correspondiente a este punto y el número de punto de la curva hasta llegar al punto de tangencia PT de la curva, como se muestra en la fotografía 3.



Fotografía 2. Mojonera en coords. UTM.

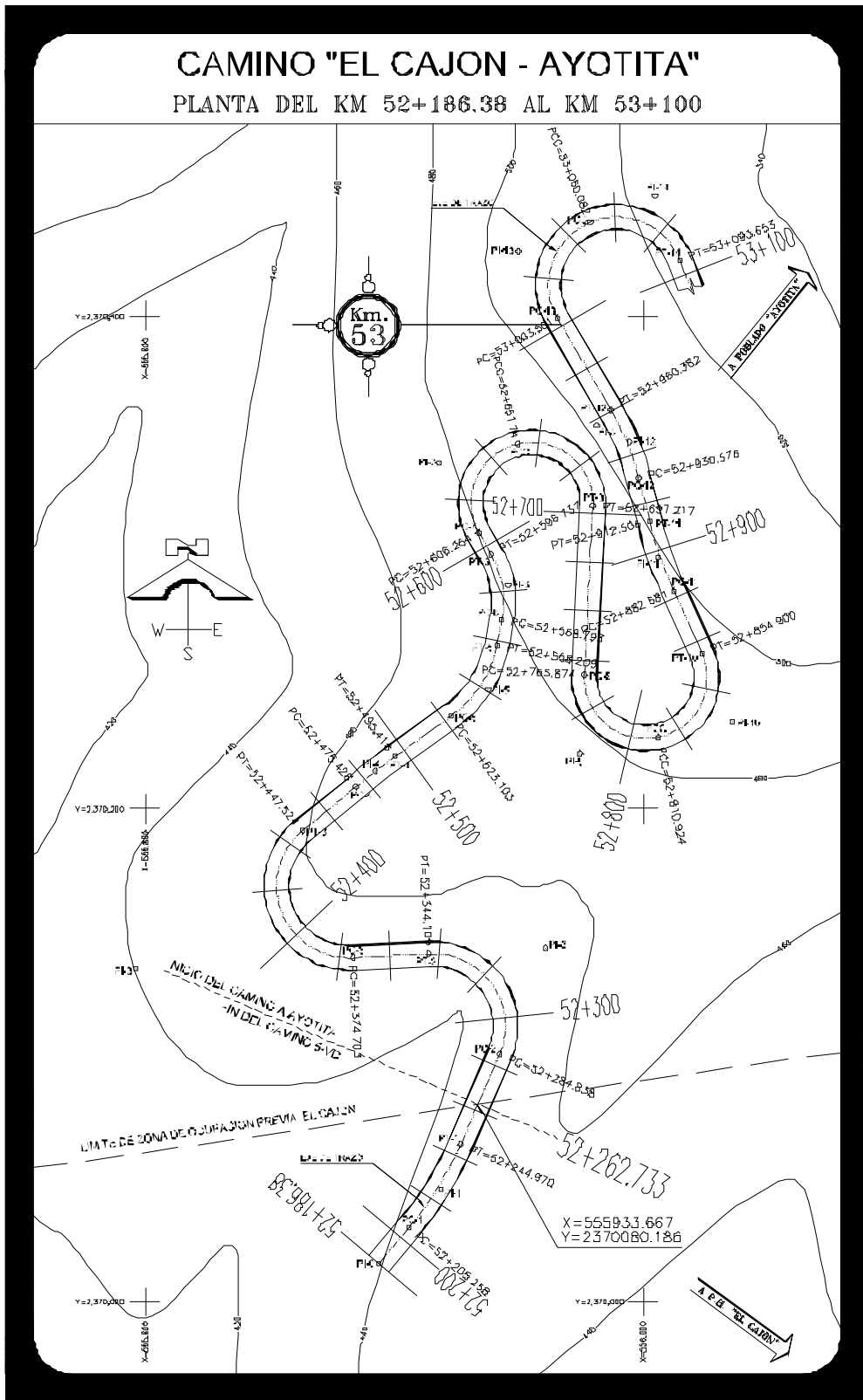


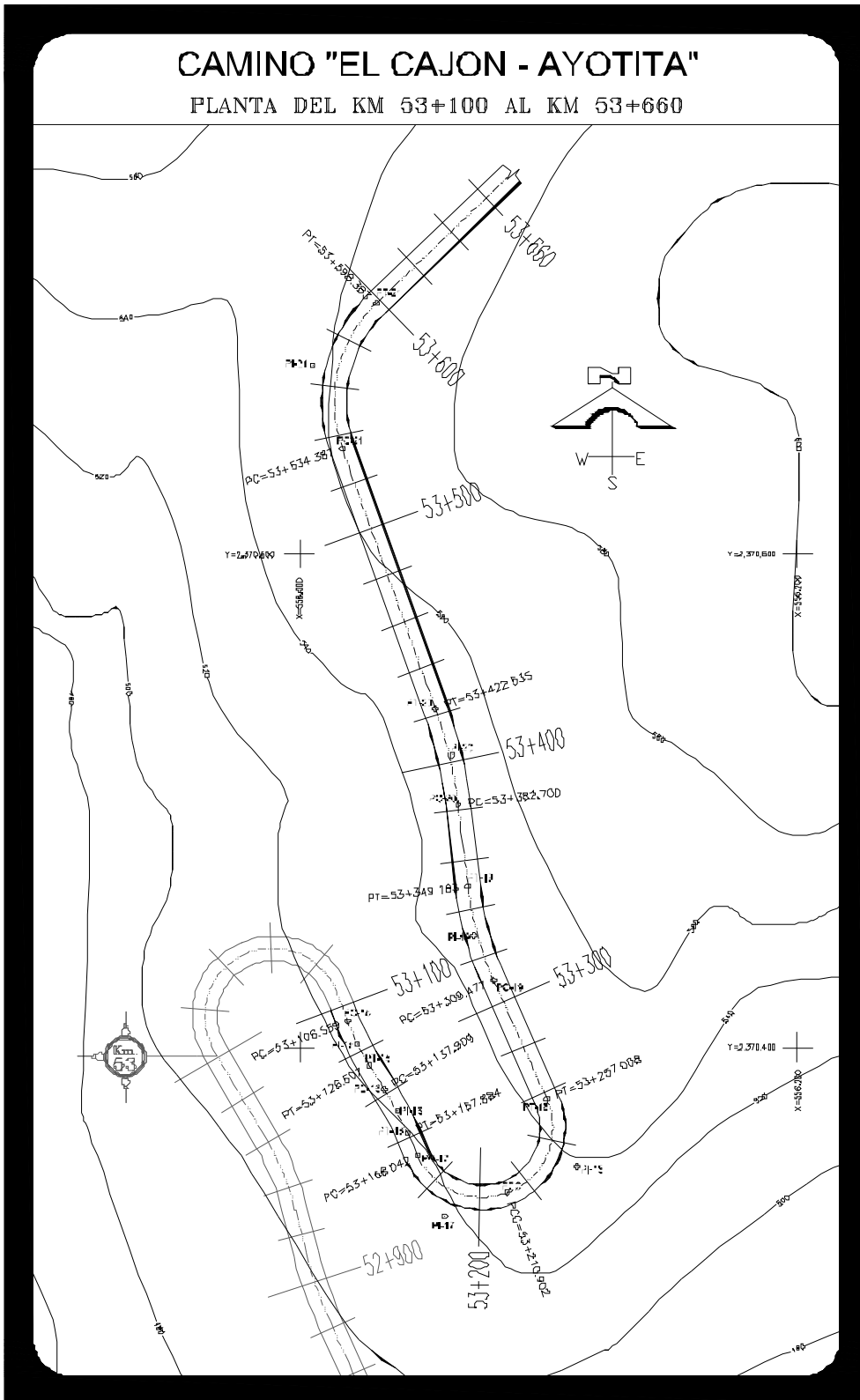
Fotografía 3. Talud y corte del punto PT de la curva horizontal.

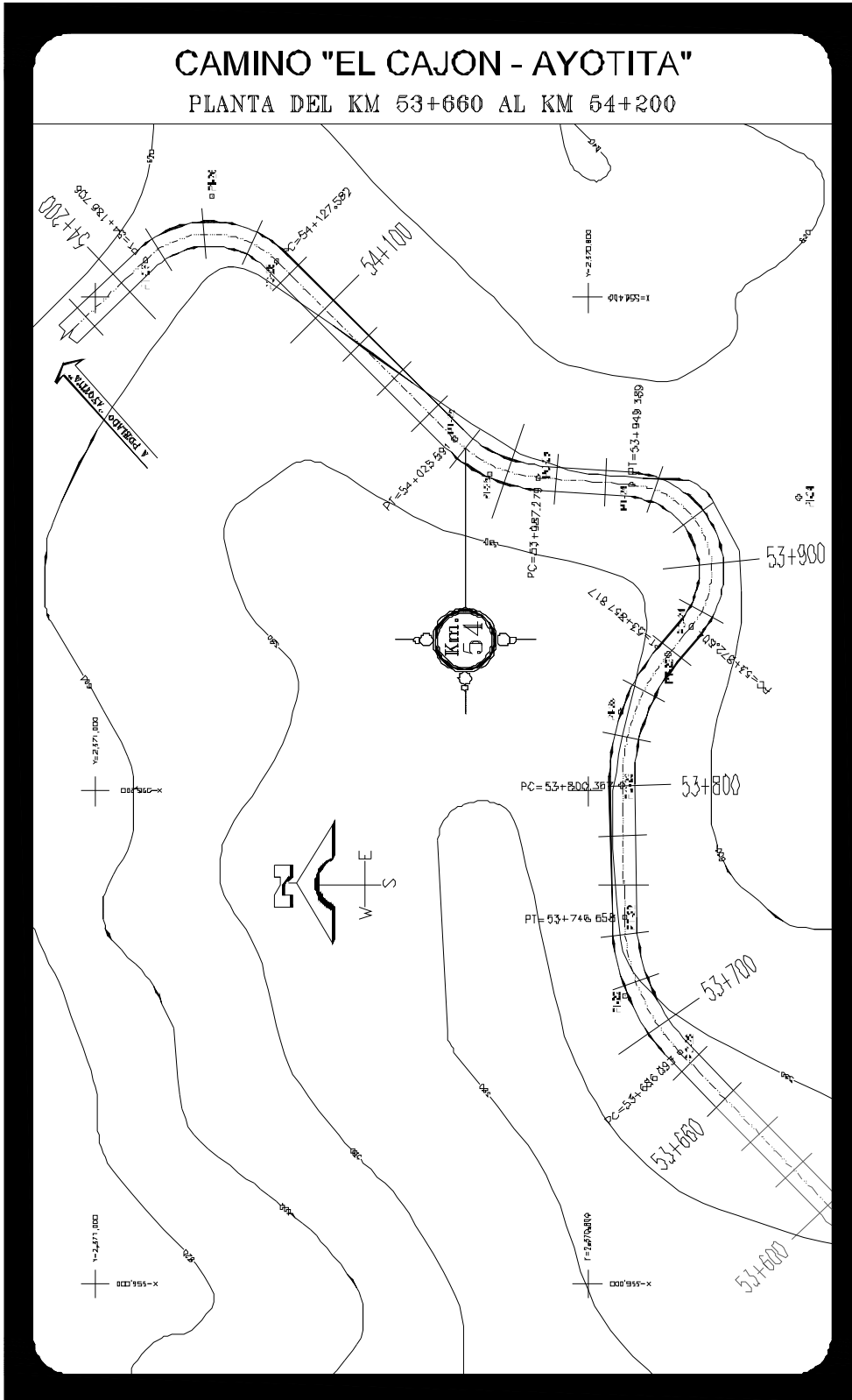
Al mismo tiempo que se van trazando las curvas horizontales y el eje del camino con las coordenadas calculadas, se colocan con estacas cada 20 metros el ancho de la corona que es de 8 m; también se colocan estacas a 4 m, en ambos lados, del eje del camino.

CUADRO DE CURVAS						
CURVA	DELTA	RADIO	ARCO	STAN	CUERDA	AREA BAJO CUERDA
C1	1 8°48'54"	135.517	39.713	20.000	39.570	38.404
C2	1 16°8'59"	29.238	59.271	45.927	49.531	482.506
C3	143°6'49"	29.154	72.822	87.421	55.314	806.446
C4	03°50'47"	297.808	19.982	10.000	19.989	2.235
C5	43°1'4"	46.758	35.107	16.427	34.288	74.868
C6	40°33'0.44"	38.637	27.345	14.273	26.777	438.000
C7	212°23'34.24"	24.536	90.953	84.472	47.124	1,277.043
C8	104°38'43.63"	24.886	45.050	31.940	39.045	261.282
C9	102°9'2.04"	24.686	45.976	30.542	38.379	244.967
C10	08°56'58.44"	172.321	28.925	15.000	28.887	12.840
C11	15°56'42.14"	107.104	29.806	15.000	29.710	20.524
C12	97°37'50.88"	27.336	46.581	31.243	41.146	266.345
C13	9°19'17.40"	27.337	45.571	27.974	39.103	221.991
C14	10°5'58.70"	113.166	19.948	10.000	19.922	5.836
C15	06°55'42.73"	185.185	19.975	10.000	19.963	4.018
C16	86°33'36.50"	28.369	42.859	26.715	38.898	206.262
C17	93°6'58.25"	28.370	46.106	29.956	41.197	252.178
C18	17°17'59"	133.674	39.708	20.000	39.560	38.852
C19	12°42'20.85"	179.638	39.836	20.000	39.755	29.254
C20	65°26'49.56"	56.025	63.995	36.000	60.673	365.182
C21	4°39'5.63"	80.417	60.565	31.800	59.144	223.775
C22	40°44'53.19"	80.780	57.450	30.000	56.247	180.716
C23	125°29'46.80"	36.075	76.785	68.000	82.345	845.389
C24	40°36'28.50"	54.056	38.312	20.000	37.515	84.539
C25	88°41'5.13"	38.197	59.123	37.330	53.385	399.846
C26	36°29'8.42"	60.677	38.638	20.000	37.889	77.635

En las siguientes figuras se muestran el plano, en planta, del trazo del eje definitivo y de las curvas horizontales del camino “El Cajón – Ayotita” del Km 52+186.38 al Km 54+200, cuyos datos de cada curva aparecen en la tabla de arriba.



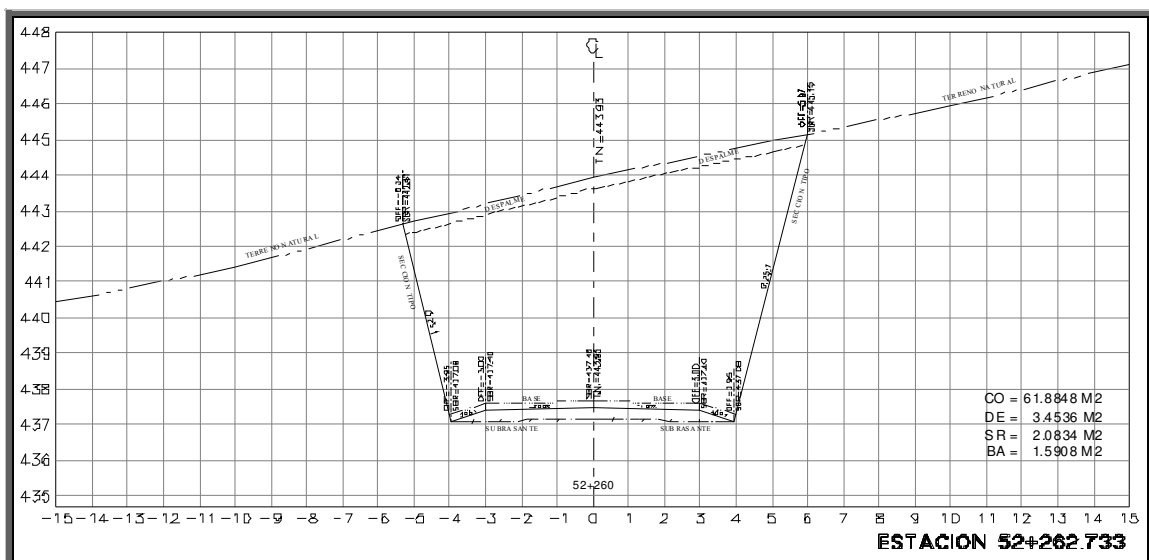
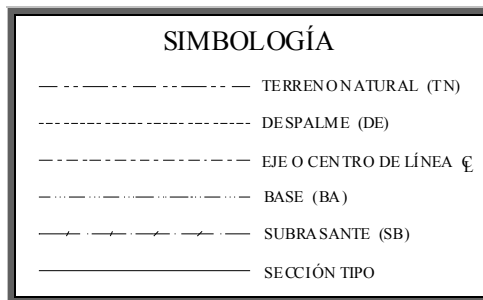


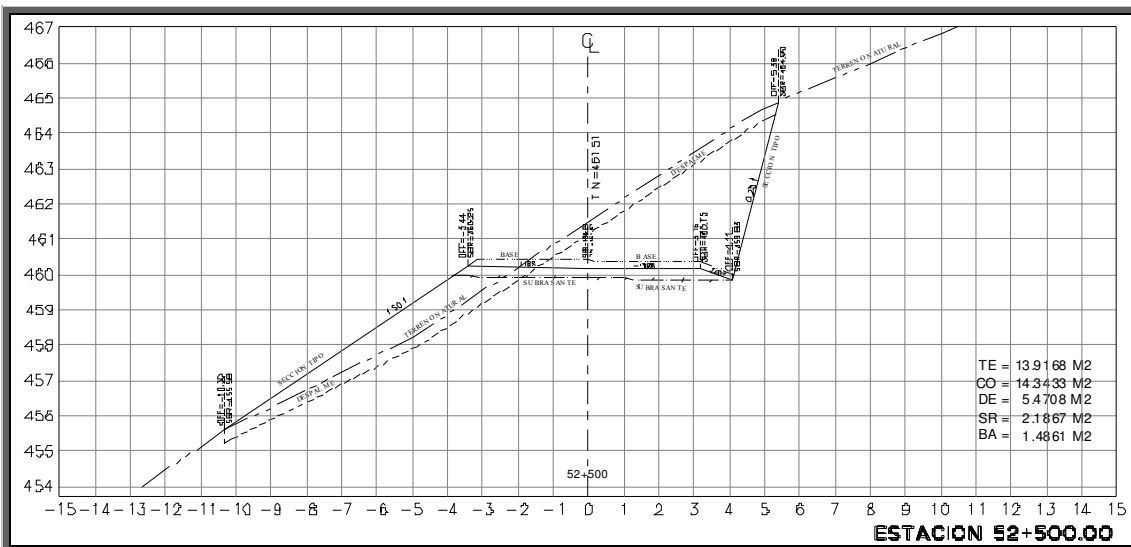
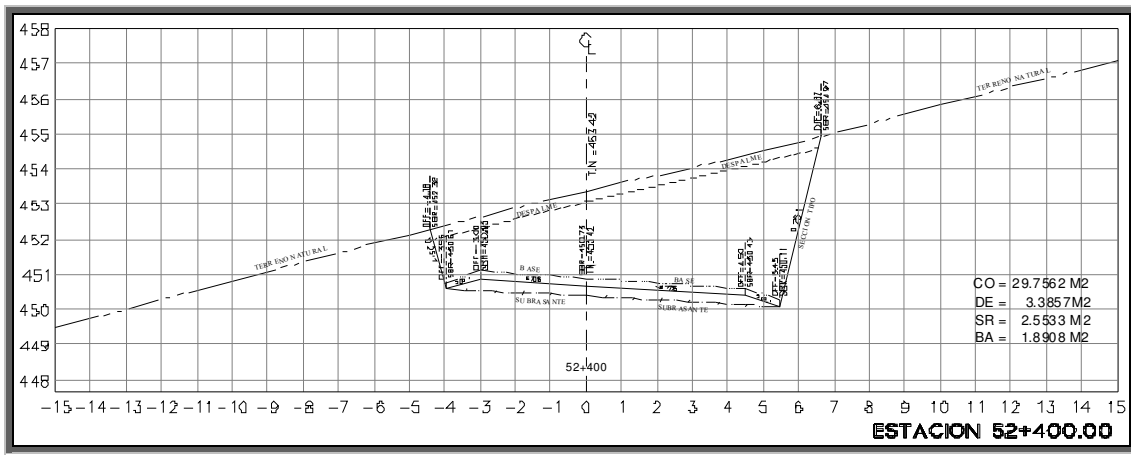
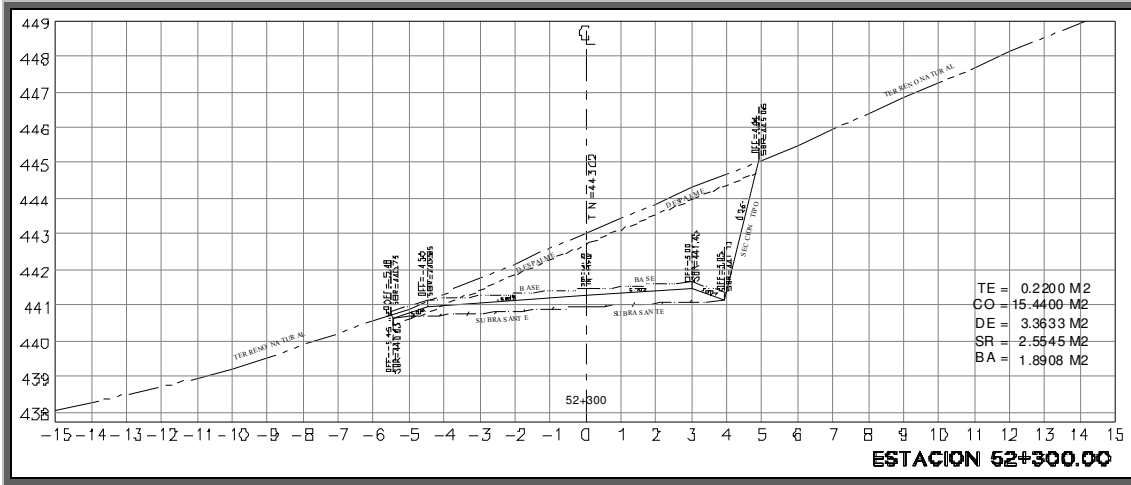


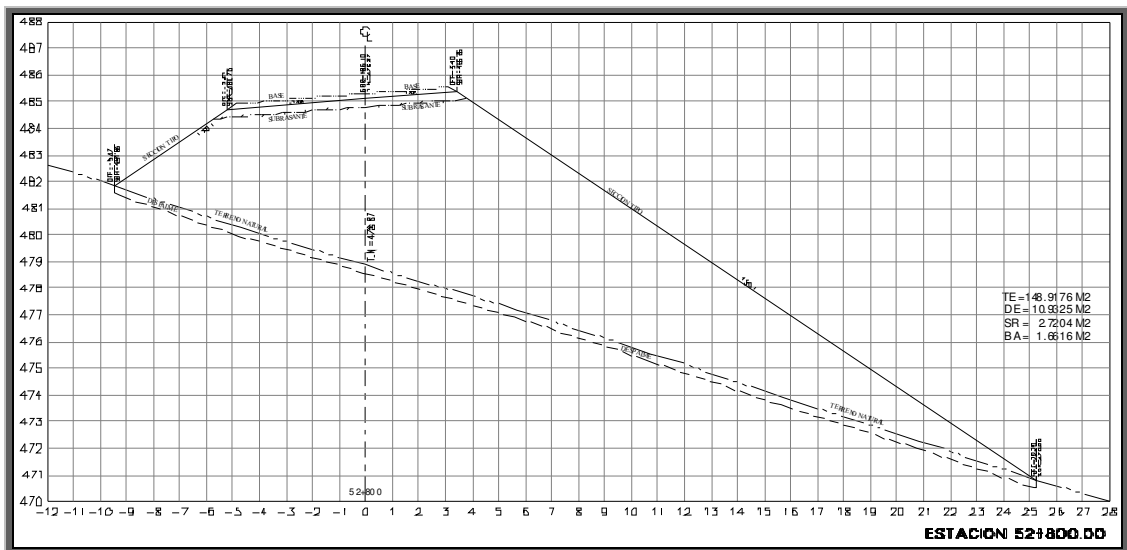
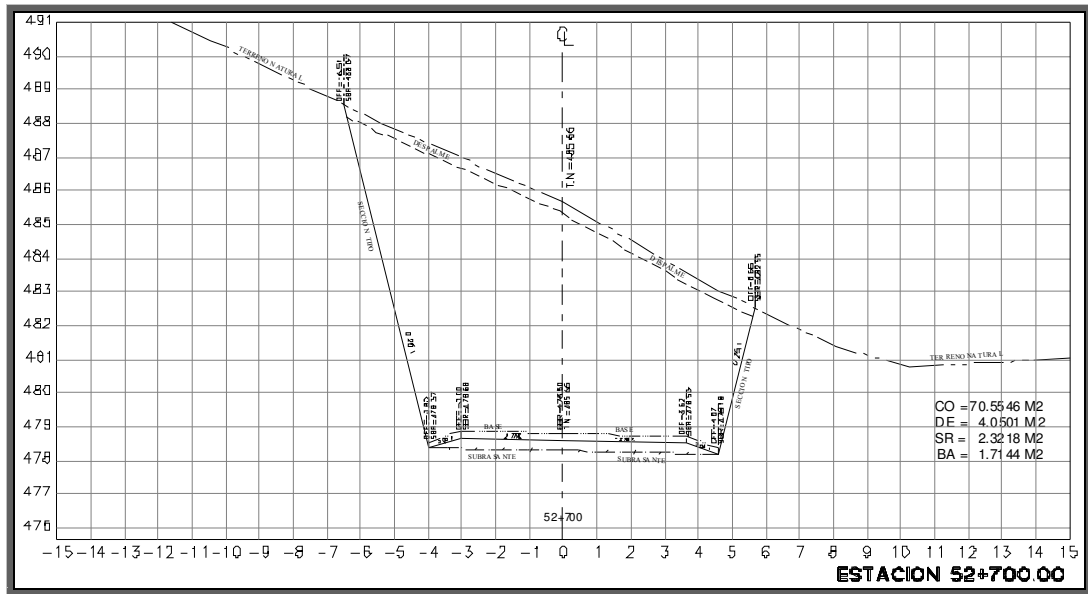
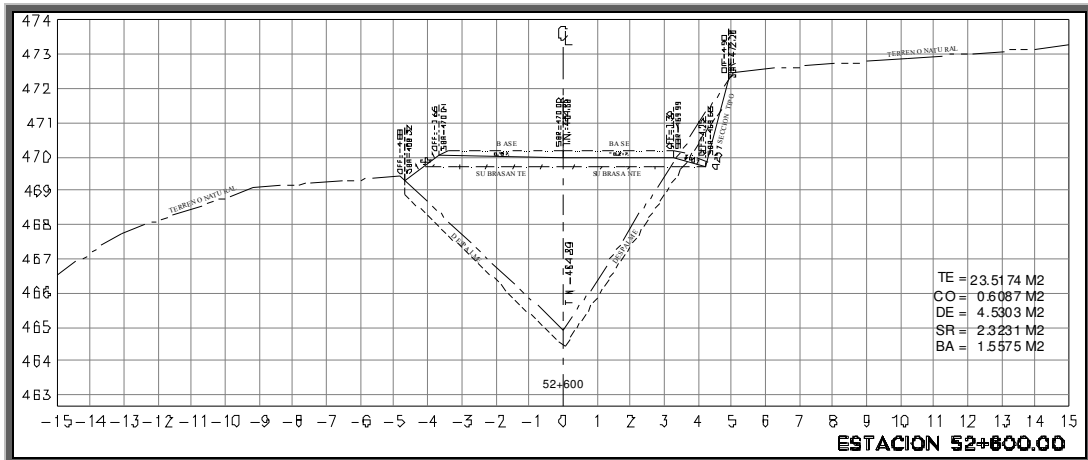
6.9.6.2 Secciones transversales del Km 52+262.733 al Km 54+200

Otra etapa importante del proyecto para definir la capa subrasante del camino por construir, es el alineamiento vertical, en donde se obtienen las cotas de cada uno de los cadenamientos del camino, ya sea del plano topográfico de configuración donde se trazó el eje definitivo, o directamente al seccionar el terreno.

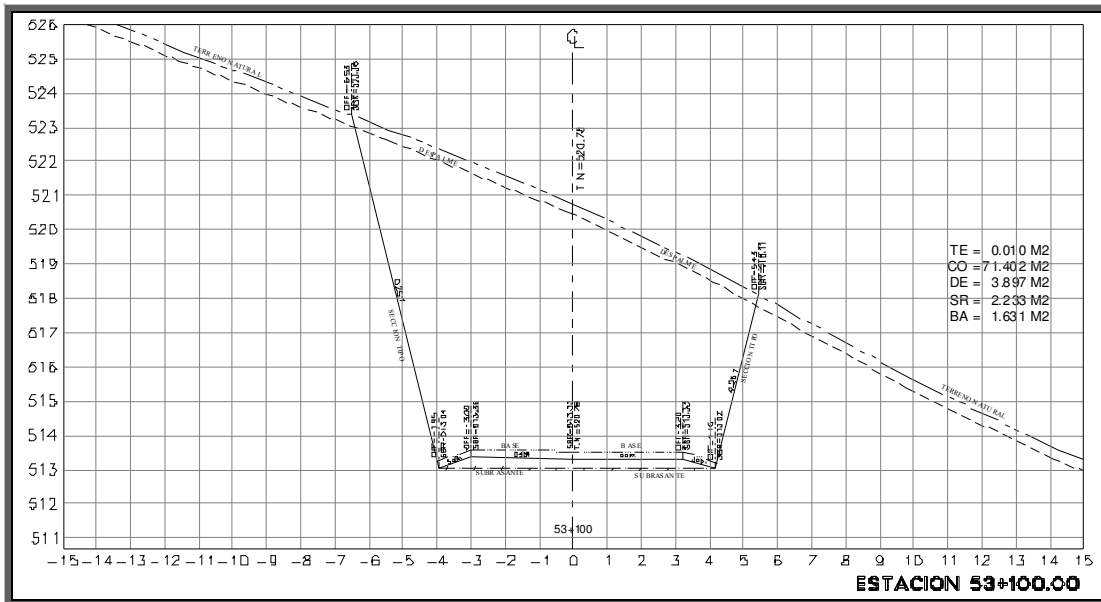
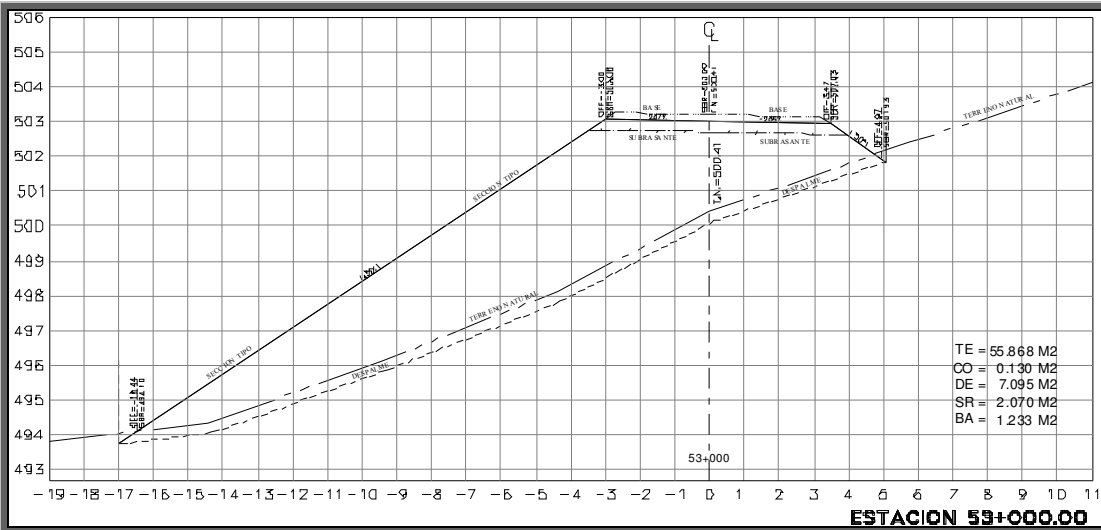
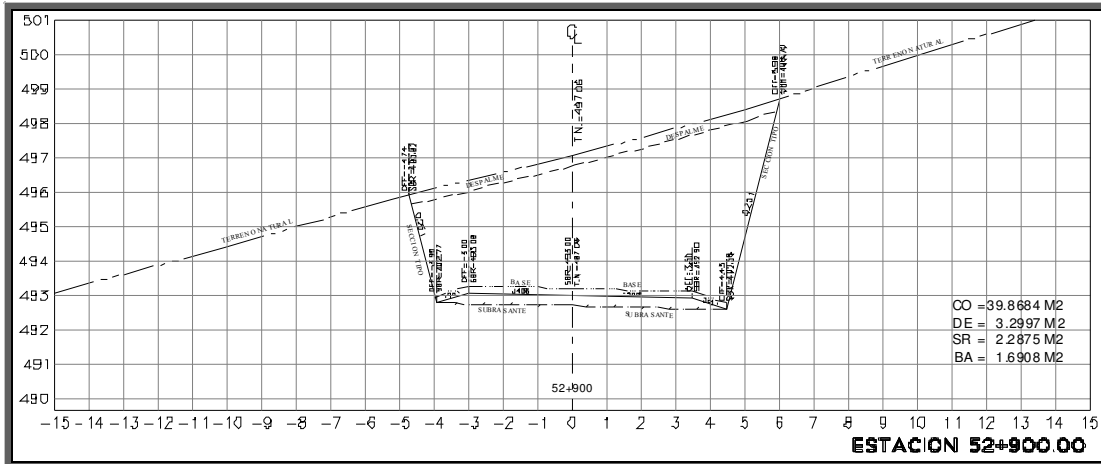
Es importante calcular y dibujar las curvas verticales parabólicas que enlazan las pendientes de la subrasante, y para definir las variaciones de las pendientes a lo largo de la capa subrasante, de tal manera que cumpla con las pendientes medias especificadas. También se hace una nivelación de perfil sobre el eje del camino en campo para conocer la forma del terreno a lo largo de la línea de proyecto, antes y después de la excavación, para llevar un control en el avance de las excavaciones. En la figura de abajo, se muestra la simbología de los elementos de las secciones transversales de terracerías, con sus respectivos cadenamientos, que se muestran más adelante, como son: terreno natural, despalme, eje o centro de línea, base, subrasante y sección tipo. También en las secciones transversales, mostradas en las siguientes figuras, aparecen las áreas de cada una de las capas de terracería que incluye el cuerpo de terraplén.

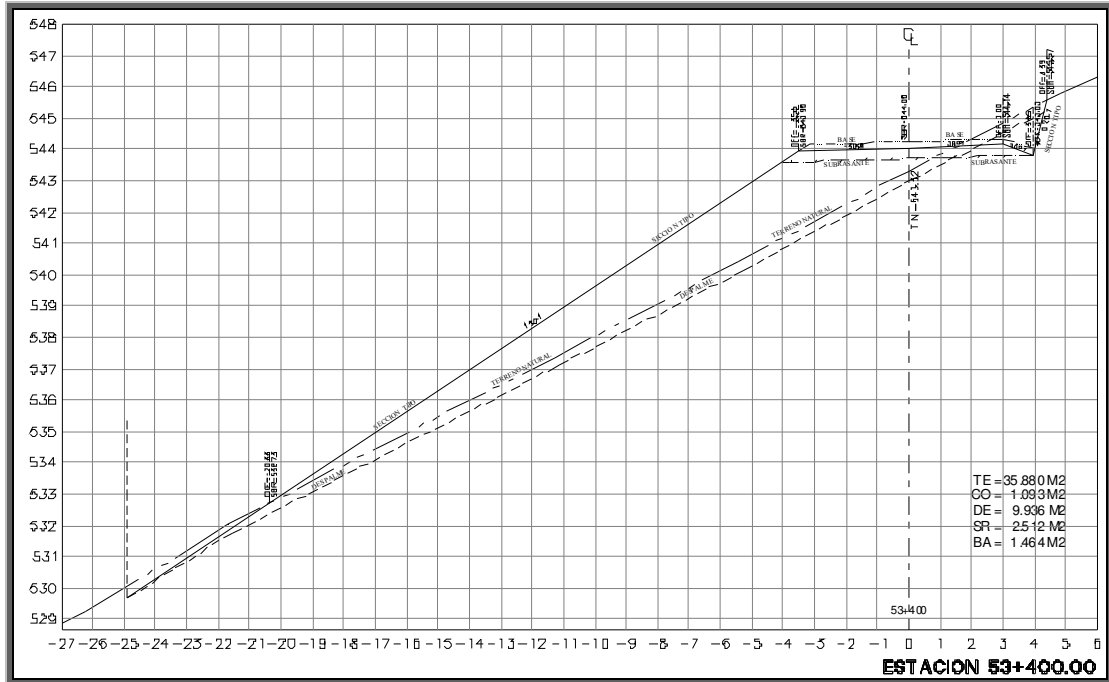
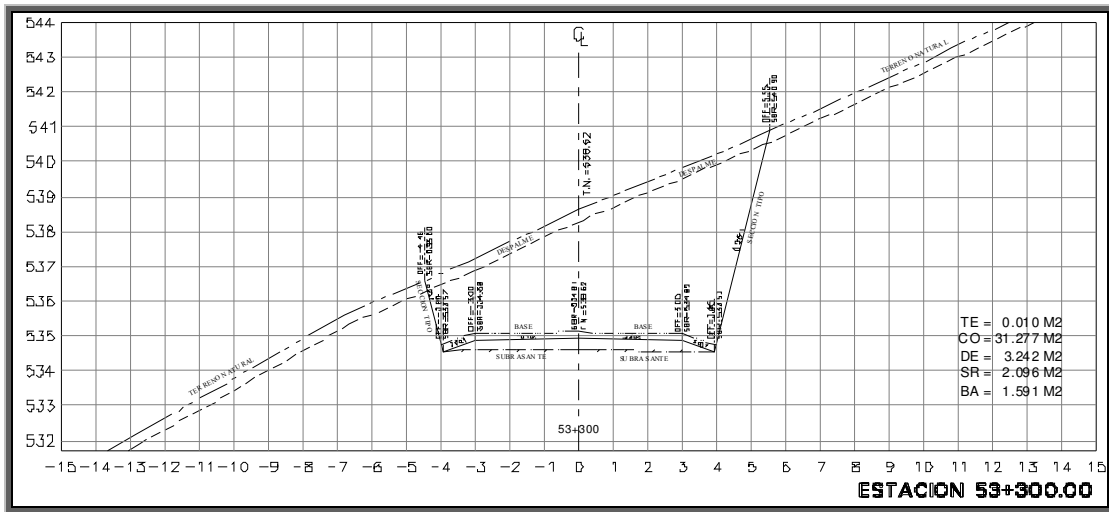
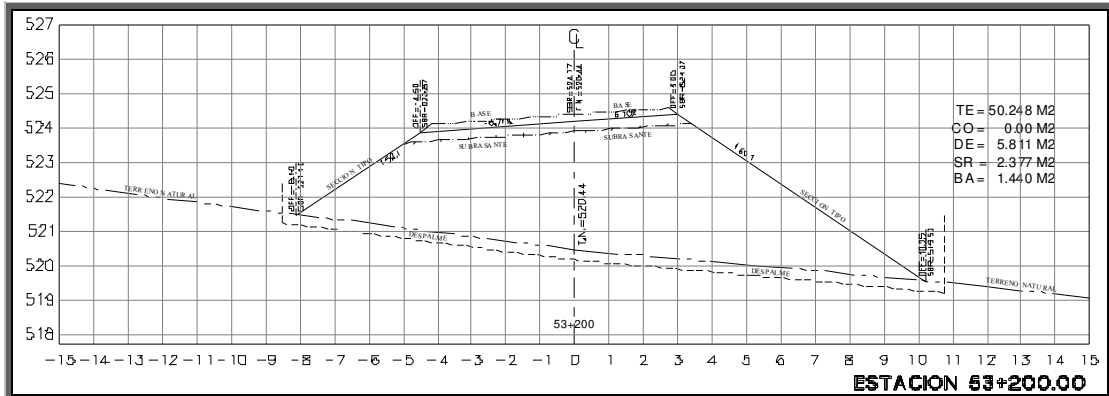




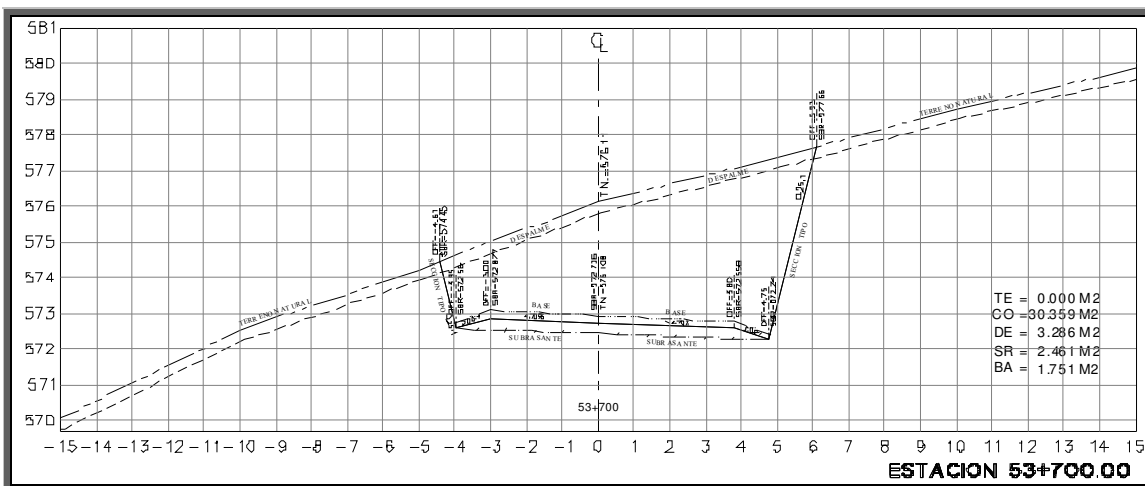
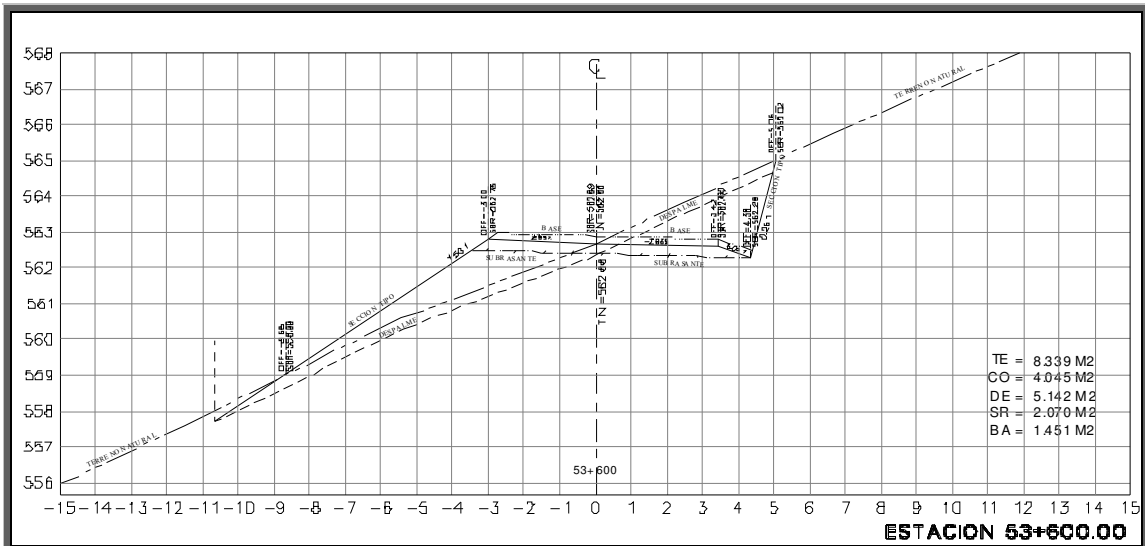
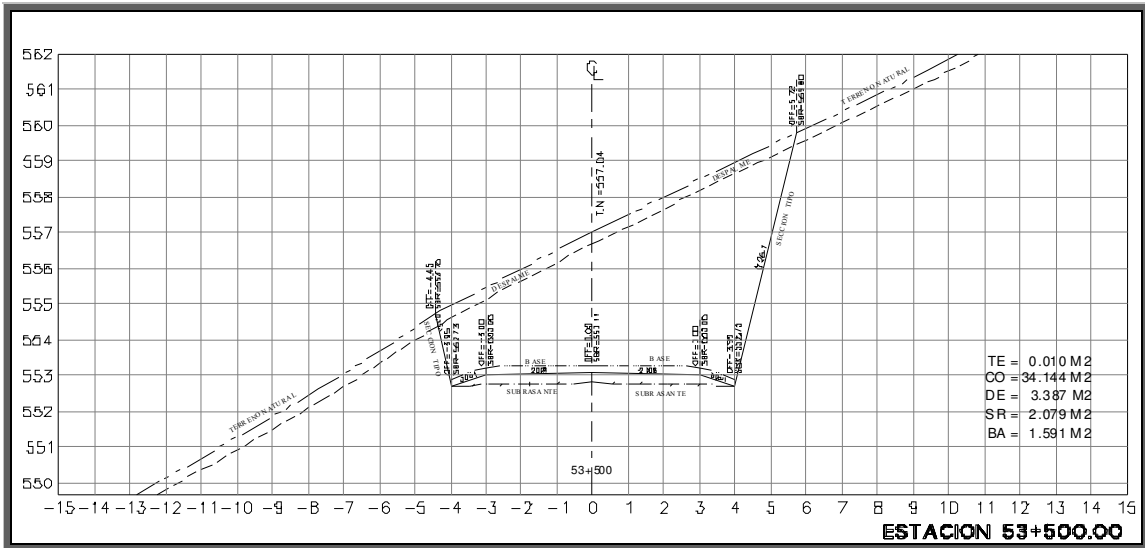


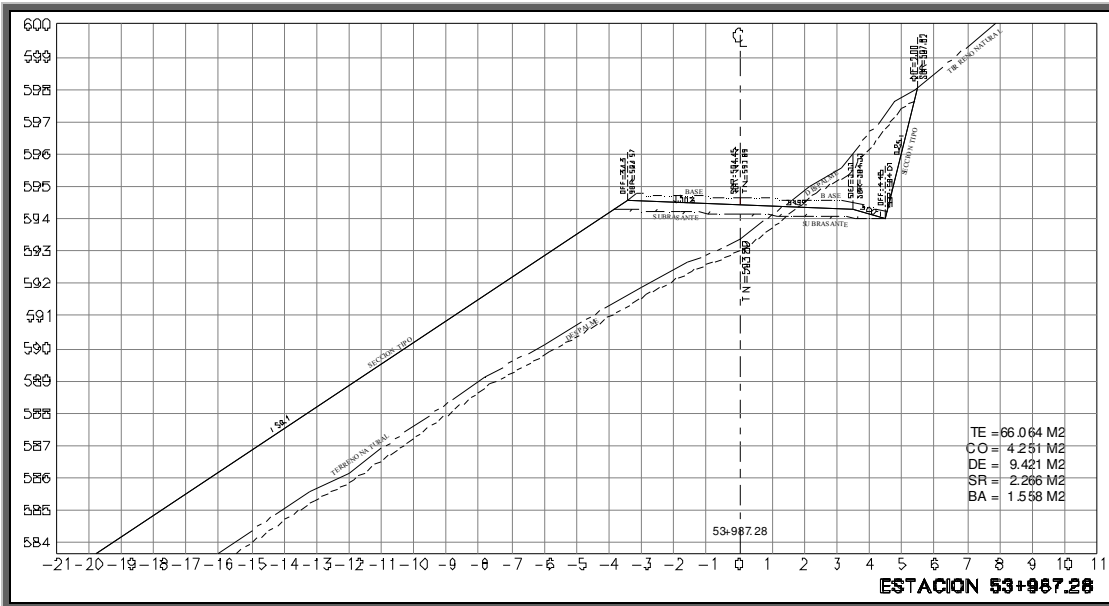
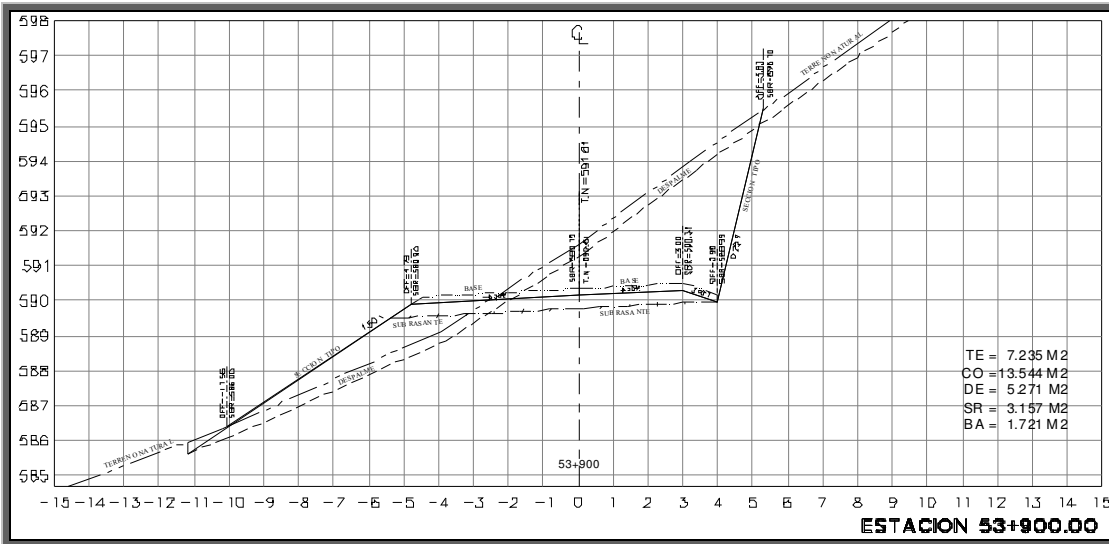
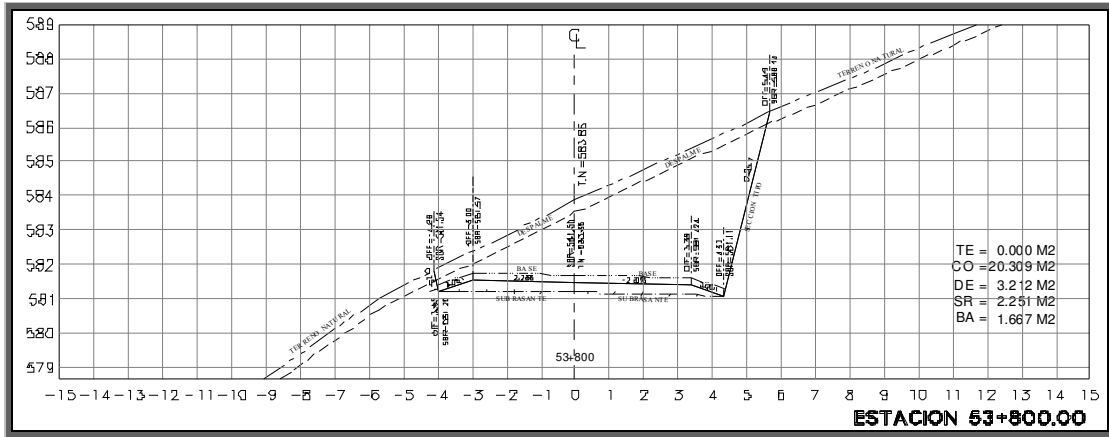
CAPÍTULO VI OBRAS ASOCIADAS-CAMINOS

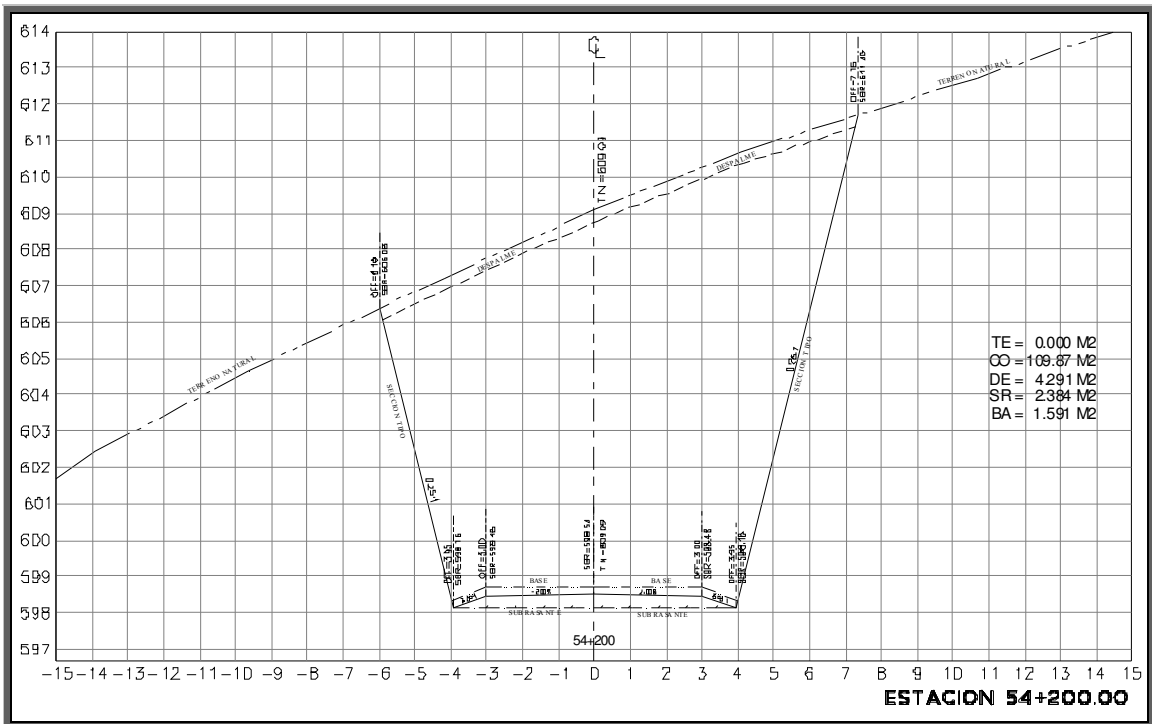
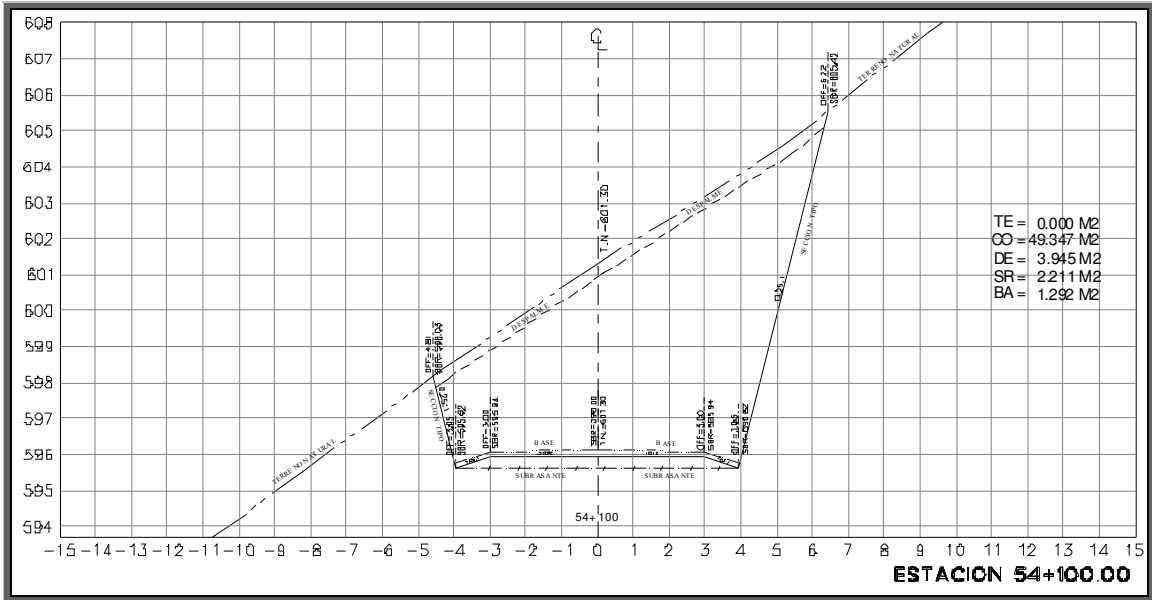




CAPÍTULO VI OBRAS ASOCIADAS-CAMINOS







6.9.6.3 Cálculo de la línea subrasante, perfil del terreno natural y de la capa subrasante del Km 52+170 al Km 54+100, y cálculo de volúmenes de obra

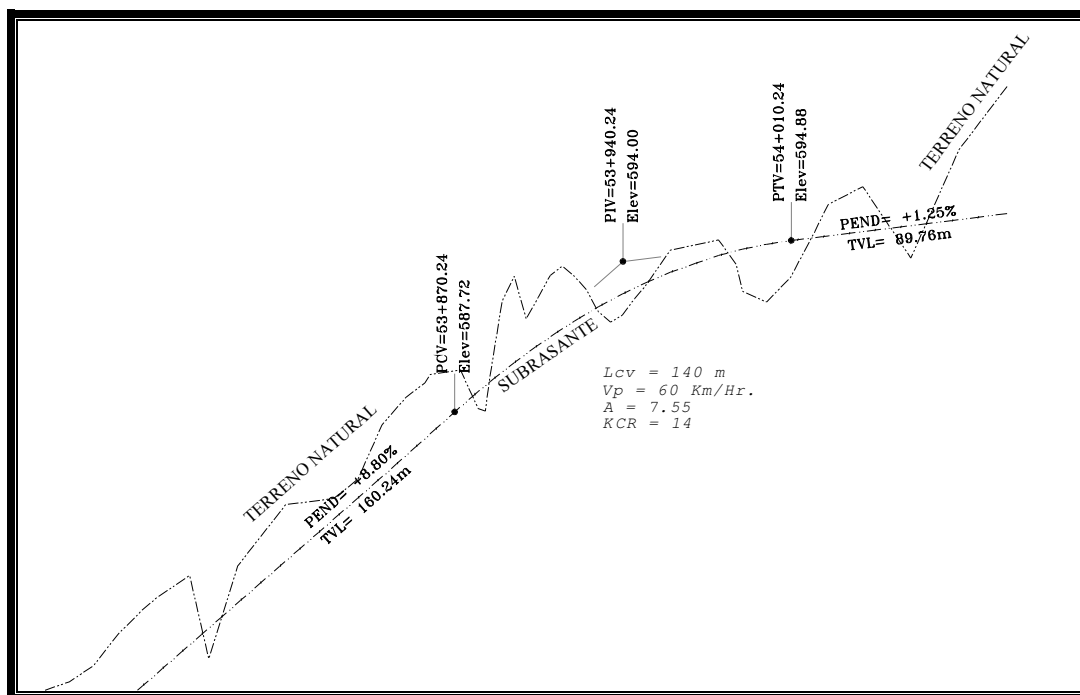


Figura 6.11. Datos geométricos de la curva vertical en cresta.

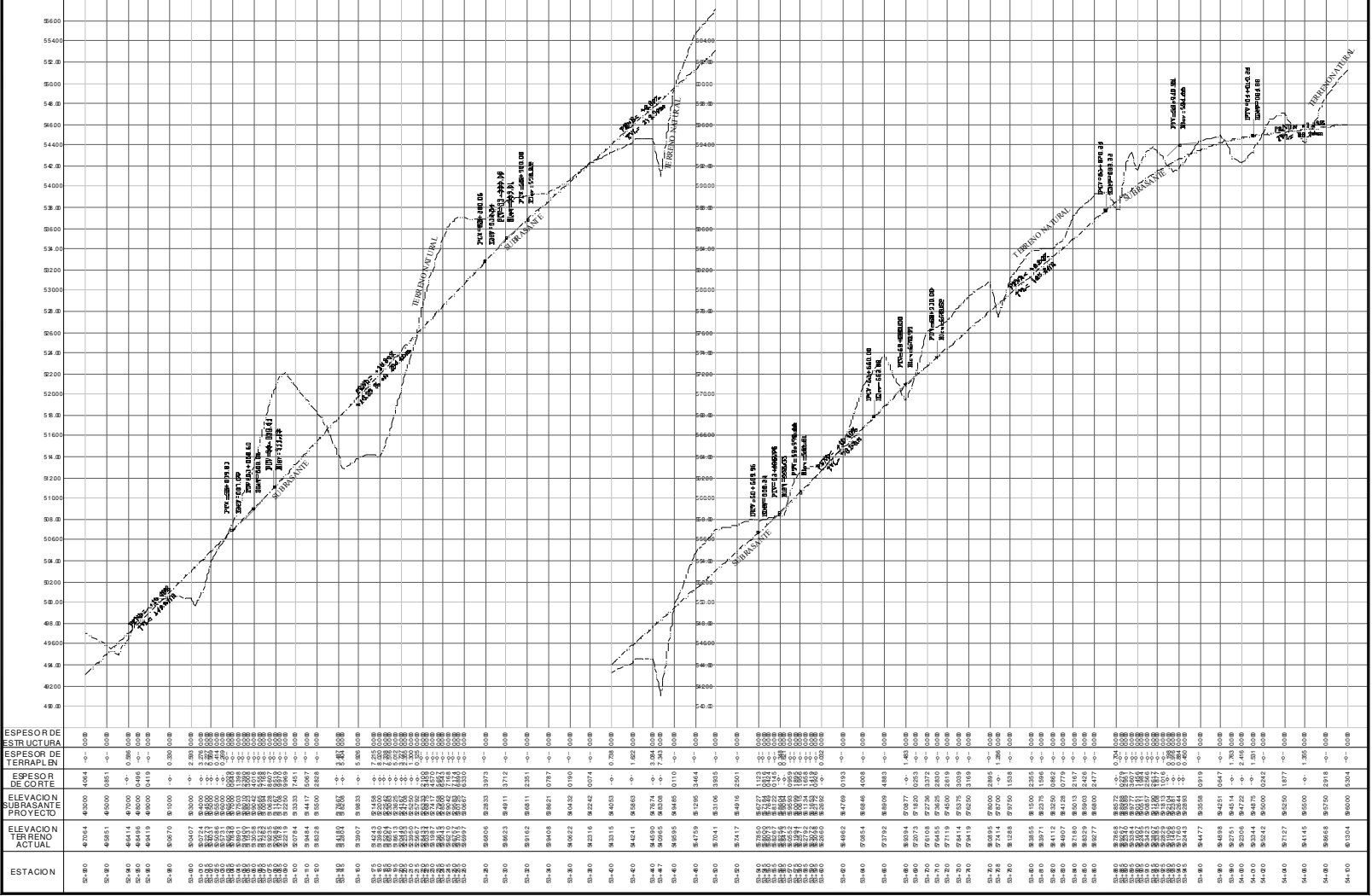
Una vez calculadas las curvas verticales, se dibuja la curva masa que es una gráfica en ejes cartesianos, cuyas abscisas representan los cadenamientos o estaciones y cuyas ordenadas representan las elevaciones del terreno natural y de la subrasante. La subrasante, además de reunir las condiciones de pendiente media, se traza procurando compensar los cortes con los terraplenes. Con la curva masa se obtiene el área y el volumen por estación en corte y terraplén.

El objetivo de la curva masa, es encontrar la línea horizontal compensadora más económica, que corta el perfil (terreno natural – subrasante), y se obtienen los volúmenes, en metros cúbicos, de préstamo y relleno. Como el perfil del terreno y el trazo del eje es igual al eje de proyecto y con las secciones obtenidas del eje conocemos las elevaciones de los cerros, del terreno natural, de la capa subrasante, etc, y sabemos en que estación hay cortes y terraplén, según el perfil del terreno natural y de la subrasante.

La ejecución de cortes se lleva a cabo cuando el perfil longitudinal del eje del camino llamado subrasante, atraviesa por debajo del nivel del terreno natural (ver las siguientes dos figuras de la curva masa, del Km 52+170 al Km 54+100, correspondiente al camino “El Cajón – Ayotita”).

DATOS GEOMETRICOS DEL CAMINO "EL CAJON - AYOTITA"

Estación	Taludes Izquierdo	Fondo Cuneta		Hombro Izq.		Ensanches Izquierdo	Ampliación Izquierdo	Sobreelevación Izquierdo	Eje		Sobreelevación Derecho	Ampliación Derecho	Ensanches Derecho	Hombro Der.		Fondo Cuneta		Taludes Derecho
		Dist.	Elev.	Dist.	Elev.				T.N.	Subrasante				Dist.	Elev.	Dist.	Elev.	
54+155.000	1.50	0.000	0.000	4.686	596.617	0.486	120.000	-5.000	595.119	596.852	5.000	0.000	0.783	3.000	597.002	3.954	596.684	0.25
54+160.000	1.50	0.000	0.000	4.686	596.752	0.486	120.000	-5.000	595.747	596.986	5.000	0.000	0.783	3.000	597.136	3.954	596.819	0.25
54+165.000	1.50	0.000	0.000	4.686	596.900	0.486	120.000	-5.000	0.000	597.134	5.000	0.000	0.783	3.000	597.284	3.954	596.966	0.25
54+170.000	0.25	5.154	596.767	4.200	597.085	0.996	120.000	-5.000	599.266	597.295	5.000	0.000	0.783	3.000	597.445	3.954	597.127	0.25
54+175.000	0.25	5.154	596.941	4.200	597.259	0.996	120.000	-5.000	0.000	597.469	5.000	0.000	0.783	3.000	597.619	3.954	597.301	0.25
54+180.000	0.25	5.154	597.129	4.200	597.446	0.996	120.000	-5.000	600.686	597.656	5.000	0.000	0.783	3.000	597.806	3.954	597.489	0.25
Le 54+180.706	0.25	5.154	597.129	4.200	597.446	0.996	120.000	-5.000	600.686	597.656	5.000	0.000	0.783	3.000	597.806	3.954	597.489	0.25
54+185.000	0.25	4.724	597.418	3.771	597.736	1.000	77.056	-3.211	0.000	597.857	3.211	0.000	0.822	3.000	597.953	3.954	597.635	0.25
PT 54+186.706	0.25	4.554	597.520	3.600	597.838	0.974	60.000	-2.500	603.511	597.928	2.500	0.000	0.838	3.000	598.003	3.954	597.685	0.25
Le-N 54+187.906	0.25	4.434	597.541	3.480	597.858	0.958	48.000	-2.000	603.511	597.928	2.000	0.000	0.850	3.000	597.988	3.954	597.670	0.25
Le 54+192.706	0.25	3.954	597.550	3.000	597.868	0.958	0.000	-2.000	603.511	597.928	0.000	0.000	0.901	3.000	597.928	3.954	597.610	0.25
Le+N 54+197.506	0.25	3.954	597.550	3.000	597.868	0.958	0.000	-2.000	603.511	597.928	-2.000	0.000	0.958	3.000	597.868	3.954	597.550	0.25
54+200.000	0.25	3.954	598.159	3.000	598.476	0.958	0.000	-2.000	609.093	598.536	-2.000	0.000	0.958	3.000	598.476	3.954	598.159	0.25
54+220.000	0.25	3.954	599.249	3.000	599.566	0.958	0.000	-2.000	608.825	599.626	-2.000	0.000	0.958	3.000	599.566	3.954	599.249	0.25
54+230.000	0.25	3.954	599.872	3.000	600.190	0.958	0.000	-2.000	0.000	600.250	-2.000	0.000	0.958	3.000	600.190	3.954	599.872	0.25
54+240.000	0.25	3.954	600.522	3.000	600.840	0.958	0.000	-2.000	603.718	600.900	-2.000	0.000	0.958	3.000	600.840	3.954	600.522	0.25



CAMINO:	EL CAJÓN - AYOTITA	CALCULO:	
TRAMO:	DEL KM 52+262.73 - AL KM 54+200	REVISO:	
ORIGEN:		APROBO:	
TIPO:	D	FECHA:	AGOSTO DE 2005

CALCULO DE VOLUMENES DE TERRACERIAS

EST	ESPESOR (m)		ÁREAS (m ²)			d/2	VOLUMENES (m ³)			VOLUMENES ACUMULADOS		
	CO	TE	DE	CO	TE		DE	CO	TE	DE	CO	TE
53+740	3.169		3.450	25.244		10.0	68.99	500.03	0.00	6633.00	39231.7	23110.7
53+760	2.895		3.164	22.576		10.0	66.14	478.20	0.00	6699.14	39709.9	23110.7
53+780	1.538		5.115	12.187	3.620	10.0	82.79	347.63	36.20	6781.93	40057.6	23146.9
53+800	2.355		3.212	20.309		10.0	83.27	324.96	36.20	6865.20	40382.5	23183.1
53+820	0.862		7.435	10.835	12.556	10.0	106.47	311.44	125.56	6971.67	40693.9	23308.6
53+840	2.167		3.218	19.935		10.0	106.53	307.70	125.56	7078.20	41001.7	23434.2
53+860	2.477		3.355	20.981		10.0	65.73	409.16	0.00	7143.93	41410.8	23434.2
53+880		0.704	7.309	2.673	35.057	10.0	106.64	236.54	350.57	7250.57	41647.4	23784.8
53+900	1.456		5.721	13.544	7.235	10.0	130.30	162.17	422.92	7380.87	41809.5	24207.7
53+920	1.877		3.452	14.871		10.0	91.73	284.15	72.35	7472.60	42093.7	24280.0
53+940		0.884	5.645	0.291	23.744	10.0	90.97	151.62	237.44	7563.57	42245.3	24517.5
53+960	0.919		3.697	8.489	1.913	10.0	93.42	87.80	256.57	7656.99	42333.1	24774.0
53+980	0.647		6.676	7.795	11.230	10.0	103.73	162.84	131.43	7760.72	42495.9	24905.5
54+000		2.416	9.076	1.116	115.13	10.0	157.52	89.11	1263.59	7918.24	42585.0	26169.1
54+020	0.242		8.736	7.137	21.951	10.0	178.12	82.53	1370.80	8096.36	42667.6	27539.9
54+040	1.877		8.626	15.180	8.681	10.0	173.62	223.17	306.32	8269.98	42890.7	27846.2
54+060		1.355	8.478	1.292	80.945	10.0	171.04	164.72	896.26	8441.02	43055.5	28742.4
54+080	2.918		3.711	27.417		10.0	121.89	287.09	809.45	8562.91	43342.6	29551.9
54+100	5.304		3.945	49.347		10.0	76.56	767.64	0.00	8639.47	44110.2	29551.9
54+120	1.803		9.442	18.270	25.318	10.0	133.87	676.17	253.18	8773.34	44786.4	29805.8
54+140		0.743	11.062	0.569	64.172	10.0	205.04	188.39	894.90	8978.38	44974.8	30699.9
54+160		1.239	4.324		18.776	10.0	153.86	5.69	829.48	9132.24	44980.4	31529.5
54+180	3.030		3.652	31.242		10.0	79.76	312.42	187.76	9212.00	45292.8	31717.2
54+200	10.56		4.291	109.87		10.0	79.43	1411.08	0.00	9291.43	46703.9	31717.2
VOLUMEN TOTAL (m³)										9291.43	46703.9	31717.2

CAMINO:	EL CAJÓN - AYOTITA	CALCULO:	
TRAMO:	DEL KM 52+262.73 - AL KM 54+200	REVISO:	
ORIGEN:		APROBO:	
TIPO:	D	FECHA:	AGOSTO DE 2005

CALCULO DE VOLUMENES DE PAVIMENTOS

EST	AREAS (m ²)			d/2	VOLUMENES (m ³)			VOLS. ACUMULADOS		
	TE	SR	BA		TE	SB	BA	TE	SR	BA
53+780	3.620	2.150	1.457	10.0	36.20	42.350	30.470	23146.88	3597.55	2469.40
53+800		2.251	1.667	10.0	36.20	44.010	31.240	23183.08	3641.56	2500.64
53+820	12.556	2.265	1.607	10.0	125.56	45.160	32.740	23308.64	3686.72	2533.38
53+840		2.369	1.751	10.0	125.56	46.340	33.580	23434.20	3733.06	2566.96
53+860		2.227	1.510	10.0	0.00	45.960	32.610	23434.20	3779.02	2599.57
53+880	35.057	2.832	1.721	10.0	350.57	50.590	32.310	23784.77	3829.61	2631.88
53+900	7.235	3.157	1.721	10.0	422.92	59.890	34.420	24207.69	3889.50	2666.30
53+920		2.527	1.721	10.0	72.35	56.840	34.420	24280.04	3946.34	2700.72
53+940	23.744	2.527	1.721	10.0	237.44	50.540	34.420	24517.48	3996.88	2735.14
53+960	1.913	2.151	1.458	10.0	256.57	46.780	31.790	24774.05	4043.66	2766.93
53+980	11.230	2.254	1.449	10.0	131.43	44.050	29.070	24905.48	4087.71	2796.00
54+000	115.129	2.584	1.655	10.0	1263.59	48.380	31.040	26169.07	4136.09	2827.04
54+020	21.951	2.512	1.605	10.0	1370.80	50.960	32.600	27539.87	4187.05	2859.64
54+040	8.681	2.292	1.450	10.0	306.32	48.040	30.550	27846.19	4235.09	2890.19
54+060	80.945	2.295	1.453	10.0	896.26	45.870	29.030	28742.45	4280.96	2919.22
54+080		2.372	1.582	10.0	809.45	46.670	30.350	29551.90	4327.63	2949.57
54+100		2.211	1.292	10.0	0.00	45.830	28.740	29551.90	4373.46	2978.31
54+120	25.318	2.295	1.453	10.0	253.18	45.060	27.450	29805.08	4418.52	3005.76
54+140	64.172	2.665	1.696	10.0	894.90	49.600	31.490	30699.98	4468.12	3037.25
54+160	18.776	2.675	1.696	10.0	829.48	53.400	33.920	31529.46	4521.52	3071.17
54+180		2.732	1.822	10.0	187.76	54.070	35.180	31717.22	4575.59	3106.35
54+200		2.384	1.591	10.0	0.00	51.160	34.130	31717.22	4626.75	3140.48
VOLUMEN TOTAL (m³)								31717.22	4626.75	3140.48

RESUMEN DE VOLUMENES DE OBRA

CLAVE	CONCEPTO	VOLUMEN
TERRACERIAS		
DE	DESPALME DE LA CAPA VEGETAL	9,291.43 m ³
CO	CORTE	46,703.95 m ³
TE	TERRAPLEN	31,717.22 m ³
PAVIMENTOS		
SR	SUB-RASANTE	4,626.75 m ³
BA	BASE	3,140.48 m ³

6.9.6.4 Ejecución de trabajos de terracerías

A las estacas se les marcó también, el valor y talud de corte o terraplén, según la elevación de la capa subrasante indicado en la curva masa. En la foto 4, aparecen unos cadeneros con prisma y en espera de instrucciones por parte del Ingeniero Topógrafo, que con Estación Total (ver fotografía 6) les indicará, por radio, el valor de corte que deben marcar en la estaca de madera y clavarlo donde se colocó el bastón con prisma. En la foto opuesta, se observa una estaca con la lectura, en metros, del corte por ejecutar en esta área.



Fotografías 4 y 5. Puesta del prisma y colocación de estacas en el terreno.

Hay que recordar que el camino es de terracería y tipo D, es decir, la estructura del pavimento es a nivel de capa subrasante que son transitables en tiempo de secas; por esta razón, el perfil del eje del camino es la subrasante. Las brigadas de topografía se encargan de marcar cortes o terraplén, según sea el caso, para dar por inicio los trabajos de terracerías. Conforme va avanzando la brigada de topografía en el trazo en campo del eje y de las curvas horizontales del camino, se inician los trabajos de terracerías. Las terracerías son movimientos de tierras como el desmonte de la capa vegetal del terreno natural, realizados para nivelar uniformemente la última capa del camino que es la rasante, en el caso del camino “El Cajón - Ayotita”, lo sustituye una capa llamada base, que está compuesta de material granular.



Fotografías 6 y 7. Ejecución de los trabajos de terracerías con maquinaria pesada.

Después de realizar los trabajos de terracerías y de ejecutar cortes con maquinaria pesada, las brigadas de topografía inician en campo con la Estación Total y varios prismas, para mayor avance en el seccionamiento cada 10 o 20 metros. Con el seccionamiento del camino y la configuración de los taludes, en ambos lados del camino; se conoce a través de un plano topográfico y en 3D, la situación del terreno, tanto el perfil del eje como las secciones transversales correspondientes a los cadenamientos.

Con los datos de la configuración y del seccionamiento del camino, se procede a dibujar el perfil actual del eje del camino, a sí como también, se dibujan las secciones transversales por estación o cadenamiento a lo largo del eje. En caso de que se requiera nuevamente ejecutar cortes en algunas zonas del camino de tal manera que las sobreelevaciones aplicadas a las curvas horizontales cumpla con las normas especificadas por la SCT, y las variaciones de pendientes de las curvas verticales enlazadas con rectas, sean suavizadas, sobre todo en zonas accidentadas del terreno.



Capítulo

7

CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

La topografía es una ciencia aplicada que desempeñó un papel muy importante en la construcción del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit. Uno de los principales problemas del Ingeniero Topógrafo en sus actividades fundamentales, como son el trazo y el levantamiento del terreno independiente de los demás errores, es el error humano; que depende de la visual del observador para leer o tomar las lecturas de los instrumentos de medición. También por equivocación o falta de cuidado, distracción y confusión en la mente del observador originada por el mal criterio del mismo.

Se dieron a conocer algunas actividades de campo y gabinete aplicadas a la topografía en distintos frentes de trabajo y dicha ciencia es útil para proyectar el avance de las obras civiles. Se aplicaron procedimientos y métodos para las mediciones proyectadas en un plano horizontal (planimetría), así como también se emplearon procedimientos para la proyección de puntos sobre el plano vertical (altimetría) como: tipos de nivelación, comprobaciones de una nivelación, configuración de terrenos, trazado de curvas de nivel, triangulación; determinación de pendientes, perfiles y secciones transversales desde un plano de curvas de nivel para elegir la mejor ruta de un camino por construir.

Otra de las principales aplicaciones de la topografía es la topografía subterránea. Se aplica tanto en minería como en obras civiles subterráneas. En el caso del Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón” se empleó en la construcción de túneles, lumbreras y galerías. La tolerancia en las medidas subterráneas son más altas que algunas que se fijan en los trabajos de superficie. Los principales trabajos topográficos que se realizaron en dicho proyecto son: replanteos o trazos de ejes de túneles o galerías, excavaciones o banqueos, levantamientos, nivelaciones y cubicaciones, todo esto para la elaboración de planos de detalle.

7.2 Recomendaciones

Es muy importante revisar constantemente y obtener la precisión de las coordenadas considerando la tolerancia que se pide en las medidas (distancias, ángulos y elevaciones) para el levantamiento. El control de las coordenadas se realiza por medio de una red de poligonales de apoyo entre tres o más mojoneas colocadas en varios frentes de obra y son la base del control topográfico de los levantamientos, configuraciones y medidas. Las comprobaciones de los cálculos ejecutados es importante para evitar errores y determinar el grado de precisión que usamos en trabajos de terracerías, volumetría de diferentes materiales y en general en obras civiles.

Apéndice

A

ESTACIONES TOTALES

Apéndice A

Estaciones Totales

A continuación se presentan diferentes modelos de Estaciones Totales empleados en varios frentes de trabajo del Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”.

ESTACIÓN TOTAL GEODIMETER	
	<p>Características y especificaciones</p> <p>Medida del ángulo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unidades círculo/1 electrónico • Exactitud horizontal y vertical 5 sec <p>Medida de la distancia</p> <p>Gama del prisma 3937 pie (1.200 m) Gama del prisma triple 5909 pie (1.800 m) Exactitud del modo estándar 3 milímetro + 3 PPM Exactitud del modo 10 milímetros +5 PPM</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo por el tiro, estándar 3.5 segundos • Tiempo por el tiro, siguiendo 0.4 segundos <p>Divergencia de la viga del 2.6 m @ telescopio de 100 m Ampliación 26X del foco mínimo 0.78 (0.2 m)</p> <p>Colimación de la corrección automática del • Eje de Trunion del • Excentricidad del círculo del • Curvatura y refracción de la tierra del •</p> <p>Teclado y exhibición</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alfanumérico <p>Línea del • cuatro, de cristal líquido Contraste ajustable del • Teclado desprendible de la colección de datos del •</p> <p>Memoria interna</p> <ul style="list-style-type: none"> • colección de 2.000 puntos • stakeout de 3.000 puntos <p>Interfaz de la comunicación RS232</p>
	
	

ESTACIÓN TOTAL LEICA TC 407



Características Técnicas:

Aumento del anteojo: 30X

Precisión Angular: 7'' o 20cc

Precisión Lineal: 5mm+ 2ppm

Distanciómetro: alcance 3500m

Medición de distancias:

con 1 miniprisma 1000m.

con 1 prisma 3500m.

con 3 prismas 5400m.

Memoria Interna: 10000 puntos

Accesorios: dos baterías, cargador, miniprisma con minijalón, cable de volcado, programa Survey Office en CD, trípode de madera, prisma circular con soporte y señal de puntería.

Pantalla y Teclado: LCD 9 caracteres alfanumérica con 4 teclas de función.

Temperatura de operación: -20°C a +50°C

Peso con base nivelante y batería: 4.98 Kg.

Otras características: plomada láser con puntero, doble compensador electrónico vertical, programas internos de topografía y nivel electrónico.

ESTACIÓN TOTAL LEICA TCR 1101



Características Técnicas:

Aumento del anteojo: 30x

Precisión Angular: 1.5''

Precisión Lineal: 5mm+ 2ppm

Distanciómetro: alcance 3500m con prisma estándar.

Medición de distancias:
 con 1 miniprisma 2000m.
 con 1 prisma 3500m.
 con 3 prismas 5400m.

Memoria Interna: 10000 puntos

Pantalla y Teclado: LCD 1/4 VGA. Juego de caracteres ASCII, 12 teclas alfanuméricas con 12 teclas de función. Tamaño 8 x 32 caracteres por línea.

Temperatura de operación: -20°C a +50°C

Peso con base nivelante y batería: 5.9 Kg.

Otras características: plomada láser, EDM sin prisma con láser rojo visible con alcance de 500 m, reconocimiento del prisma.

ESTACIÓN TOTAL LEICA TCRA 1205



Características Técnicas:

Aumento del anteojo: 30x

Precisión Angular: 5''

Precisión Lineal: 5mm+ 2ppm

Distanciómetro: alcance de 3 Km con prisma sencillo.

Medición de distancias:

Prisma circular 3000m.

Prisma 360° 1500m.

Miniprisma 1200m.

Memoria Interna: 1750 por MB

Pantalla y Teclado: LCD 1/4 VGA, grafica e ilumina. Juego de caracteres ASCII, 12 teclas alfanuméricos con 12 teclas de función.

Temperatura de operación: -20°C a +50°C

Peso con base nivelante y batería: 5.8 a 6.5 Kg.

Otras características: plomada láser, EDM sin prisma con láser rojo visible con alcance de 500 m, reconocimiento automático de prisma, motorizada con velocidad de rotación 45° por segundo y se comunica con una unidad de control remoto del GPS1200.

Apéndice

B

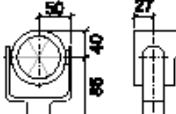
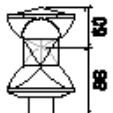

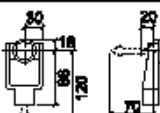

CONSTANTES
PARA
PRISMAS LEICA

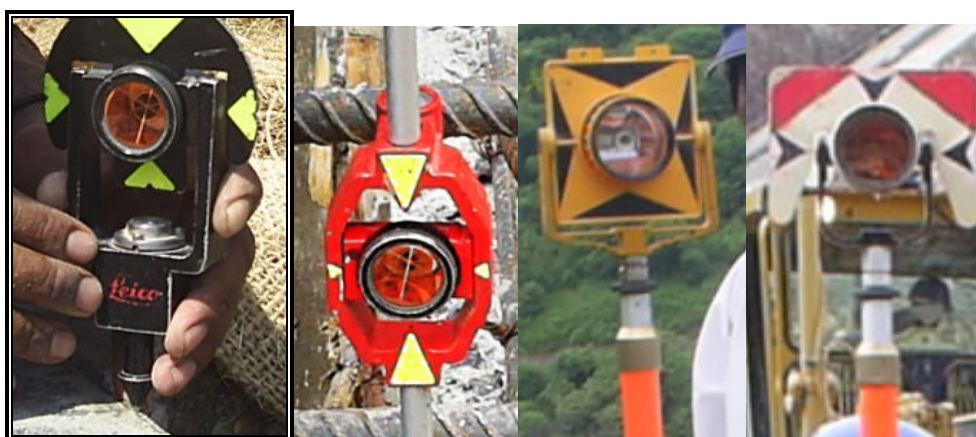
Apéndice B

Constantes para cada tipo de prisma

A continuación se presenta una tabla de constantes para los diferentes tipos de prismas que se introduce en la Estación Total.

Acceso a la función en parámetros del distanciómetro.

Prismas Leica	Constante [mm]	
Prisma estándar GPH1 + GPR1	0.0	
Prisma 360° GRZ4	+23.1	
360° Mini prism GRZ101	+30.0	
Miniprisma GMP101/102	+17.5	
JPMINI	+34.4	Miniprisma
Diana reflectante	+34.4	
USARIO	--	se fija en „Prismconst“ (-mm + 34.4; z.B.: mm = 14 -> Introducción = -14 + 34.4 = 20.4)
RL	+34.4	Sin reflector

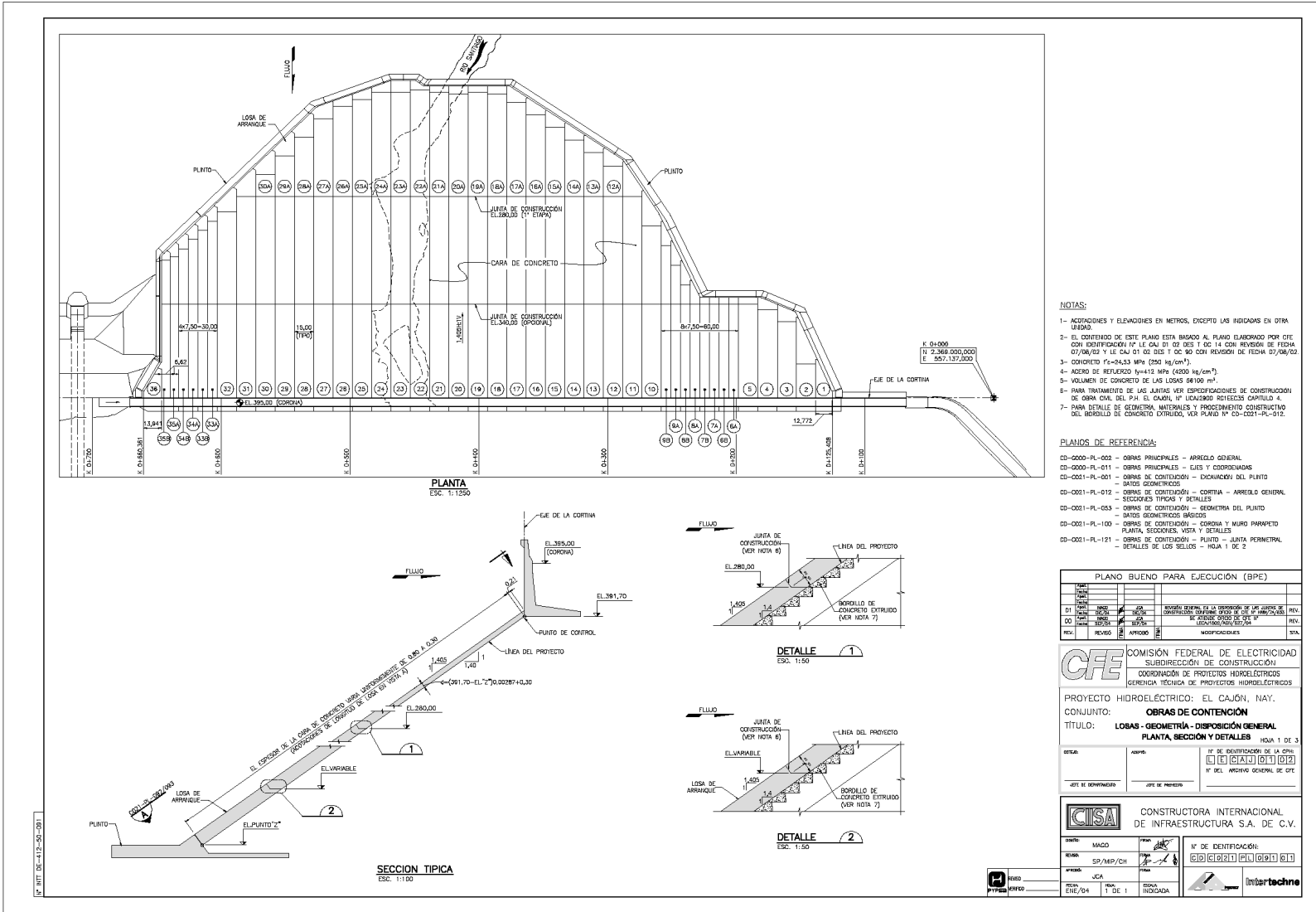


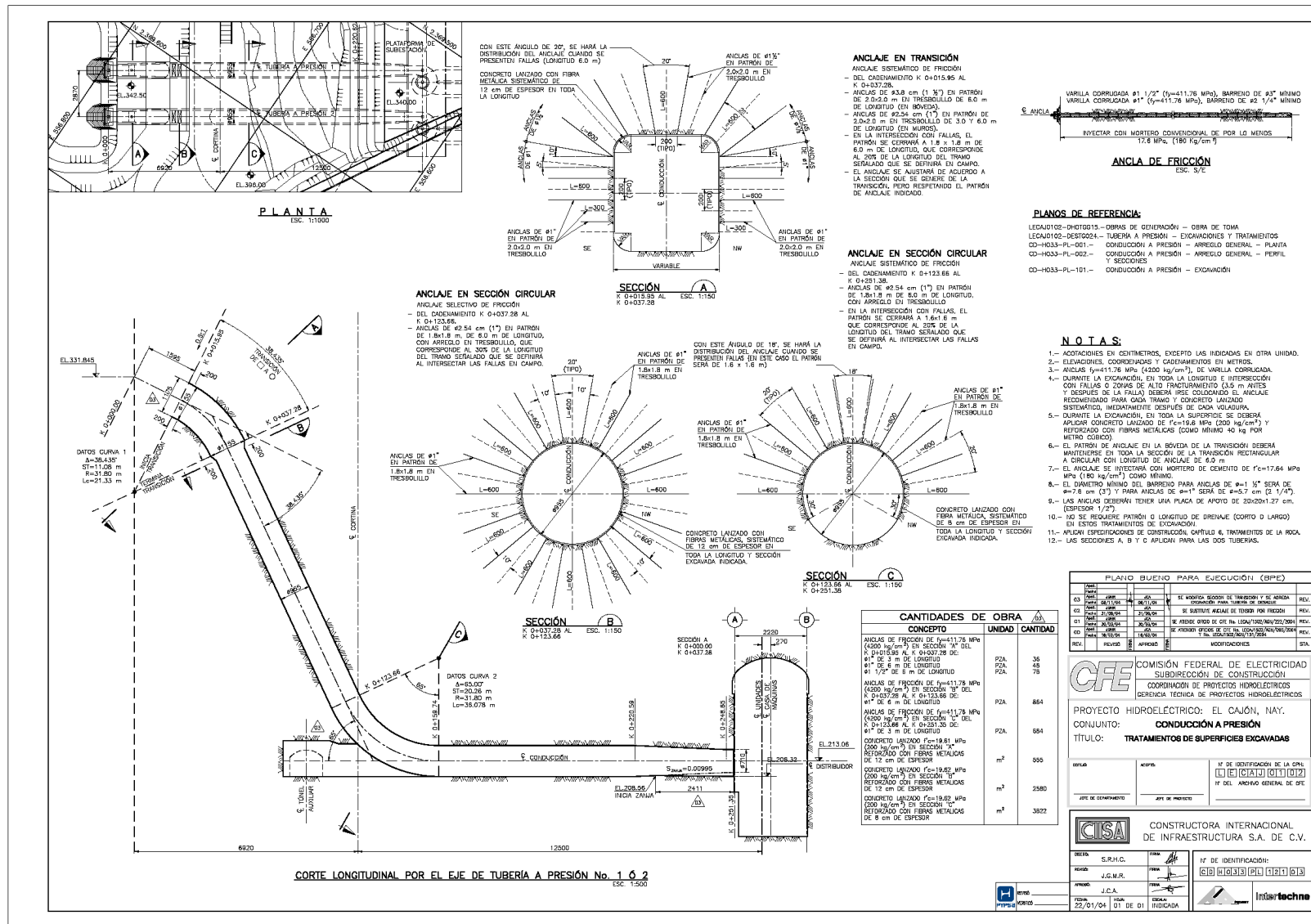
Fotografía 6.1 Tipos de prisma empleados para la toma de lectura por láser con la Estación Total.

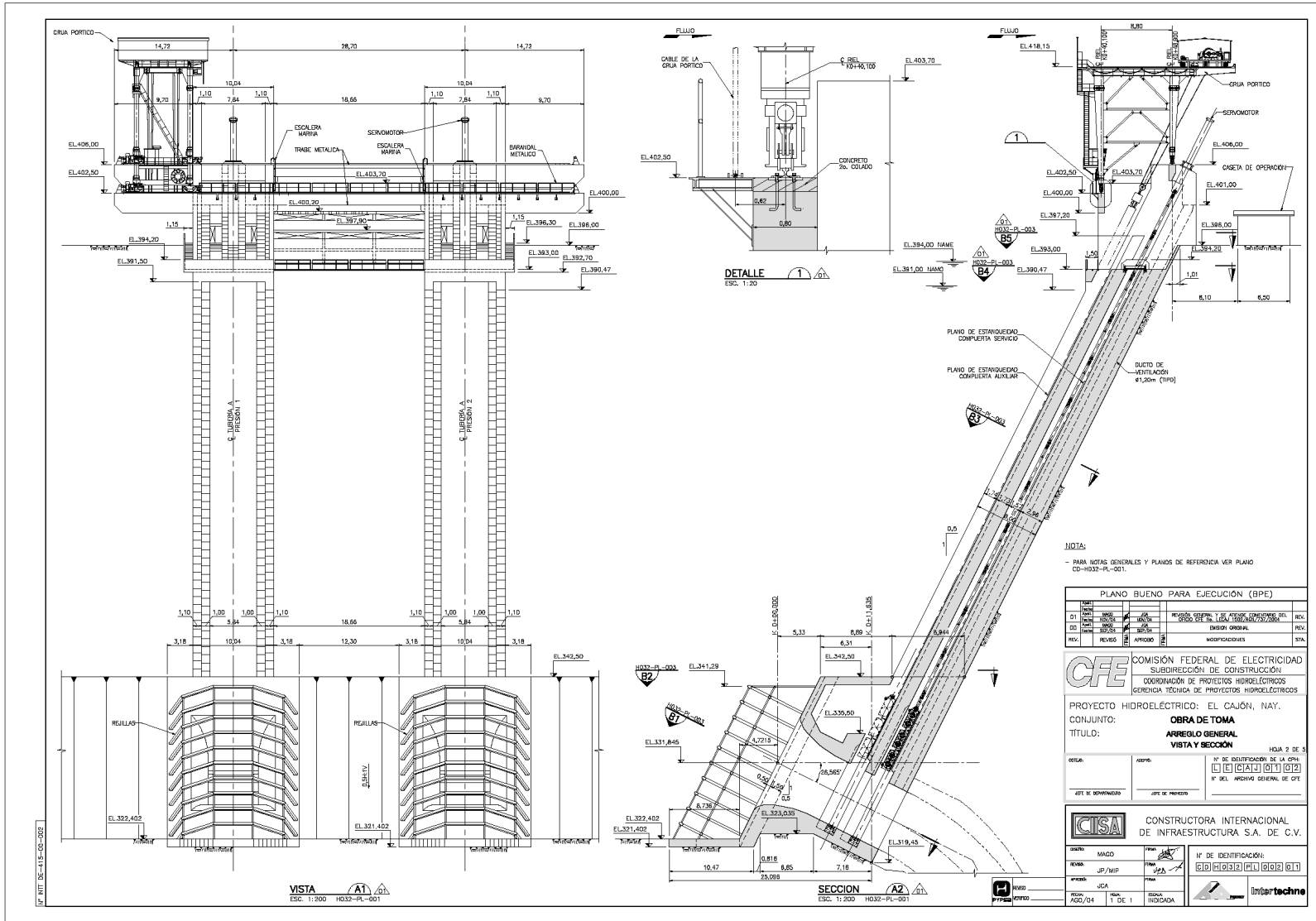
Apéndice

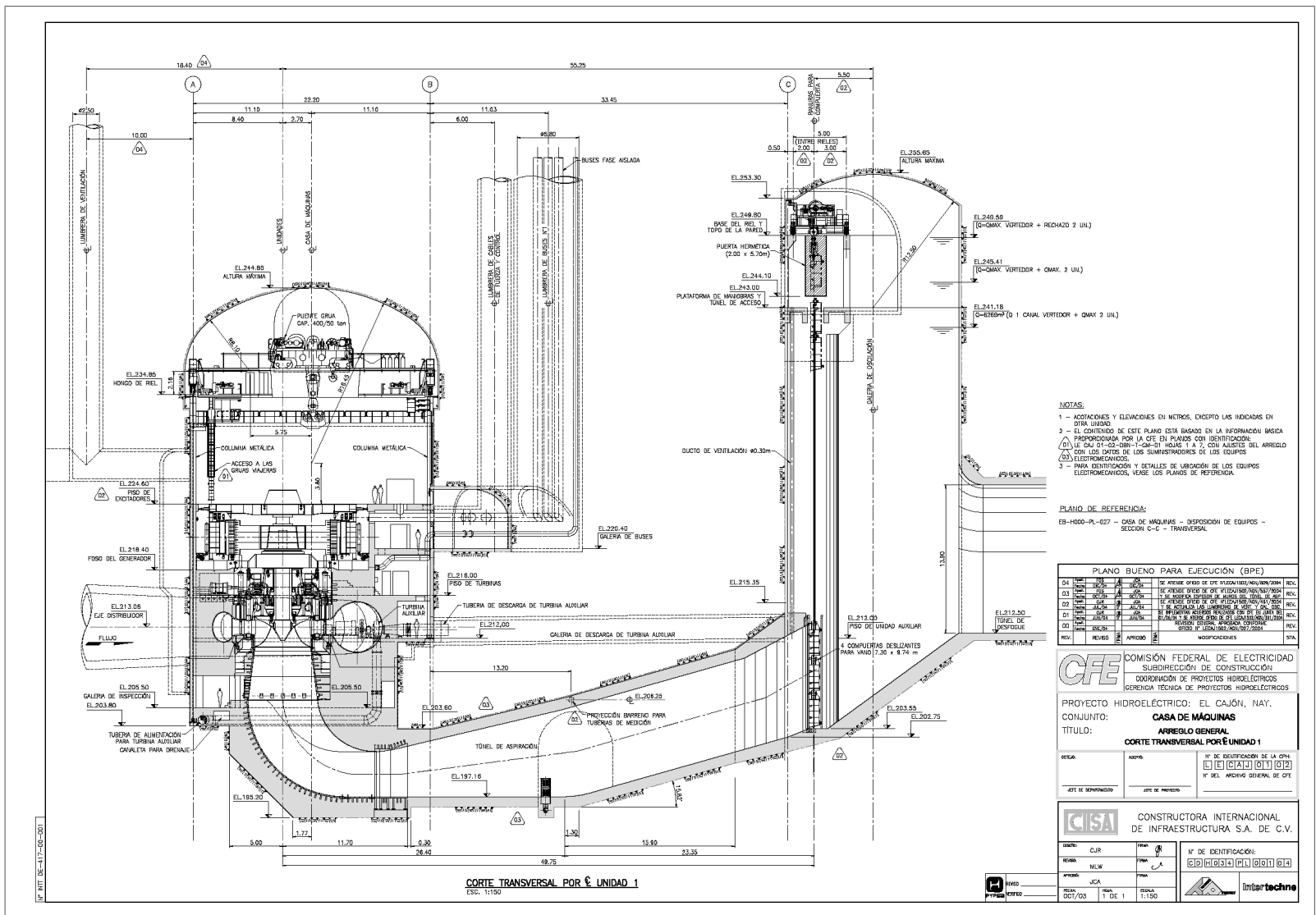
C

PLANOS









- NOTAS:**
- 1 - ADOPTACIONES Y ELEVACIONES EN METROS, EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRO CASO
 - 2 - EL CONTENIDO DE ESTE PLANO ESTÁ BASADO EN LA INFORMACIÓN BÁSICA PROPORCIONADA POR LA CFE EN PLANOS CON IDENTIFICACIÓN DE CUA-DI-03-008-T-CAN-01 HOURS 1 A 7, CON AJUSTES DEL ARREGLO CON LOS DATOS DE LOS SUMINISTRADORES DE LOS EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS
 - 3 - PARA IDENTIFICACIÓN Y DETALLES DE UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS, VEASE LOS PLANOS DE REFERENCIA.

PLANO DE REFERENCIA:
EB-H000-PL-027 - CASA DE MÁQUINAS - DISPOSICIÓN DE EQUIPOS - SECCIÓN C-C - TRANSVERSAL

PLANO BUENO PARA EJECUCIÓN (BPE)				
D4	REV	02	02	02
D4	REV	01	01	01
D4	REV	01	01	01
D1	REV	01	01	01
D0	REV	01	01	01
REV	REVISADO	APROBADO	MODIFICACIONES	STA

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN
COORDINACIÓN DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS
GERENCIA TÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS

PROYECTO HIDROELECTRICO: EL CAJÓN, NAY.
CONJUNTO: CASA DE MÁQUINAS
TÍTULO: ARREGLO GENERAL
CORTE TRANSVERSAL POR UNIDAD 1

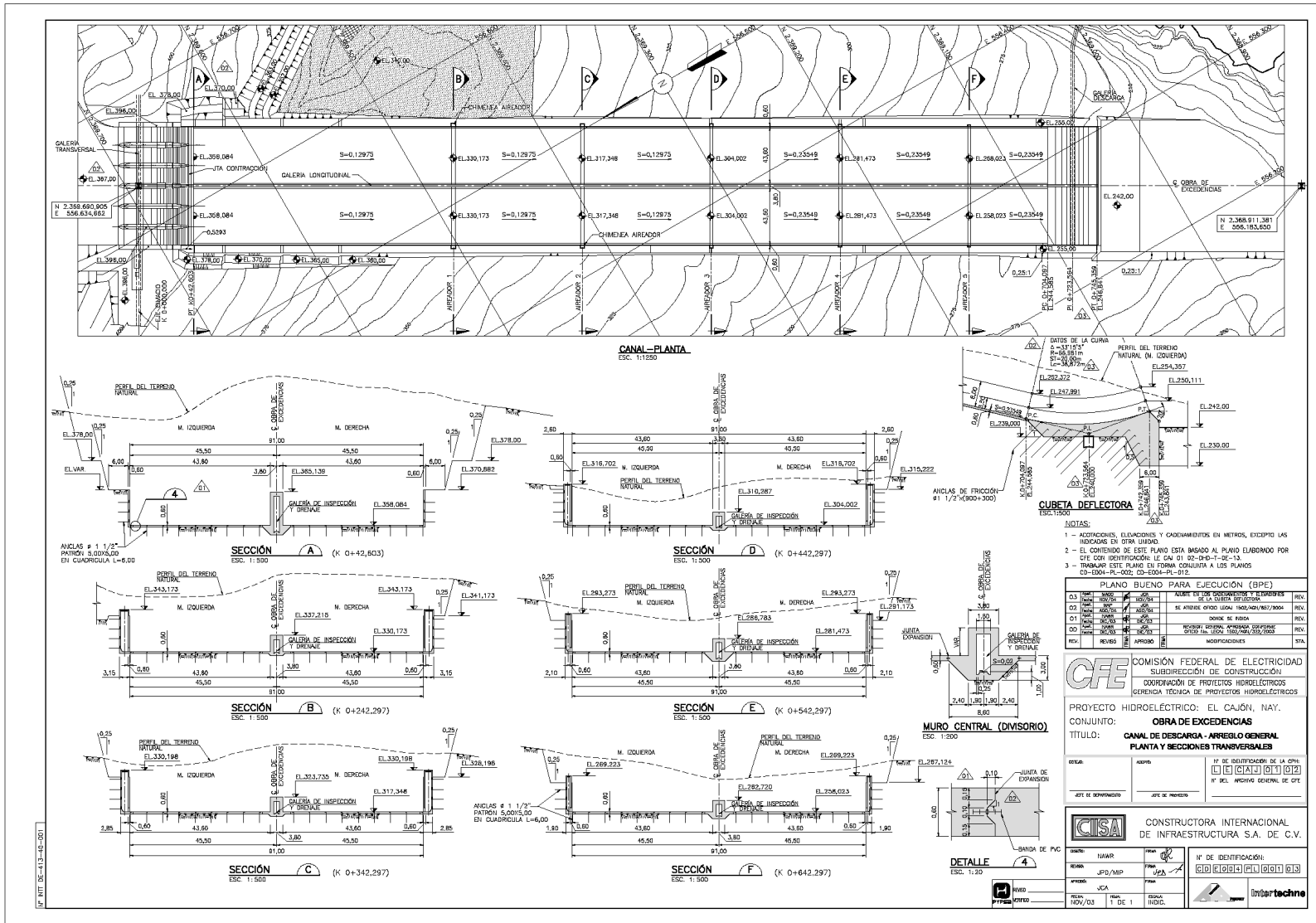
CECAL	ADQUIS.	Nº DE IDENTIFICACIÓN DE LA CFE
EST. DE SUPERVISIÓN	EST. DE PROYECTO	E 01 E 02 E 03 E 04 E 05

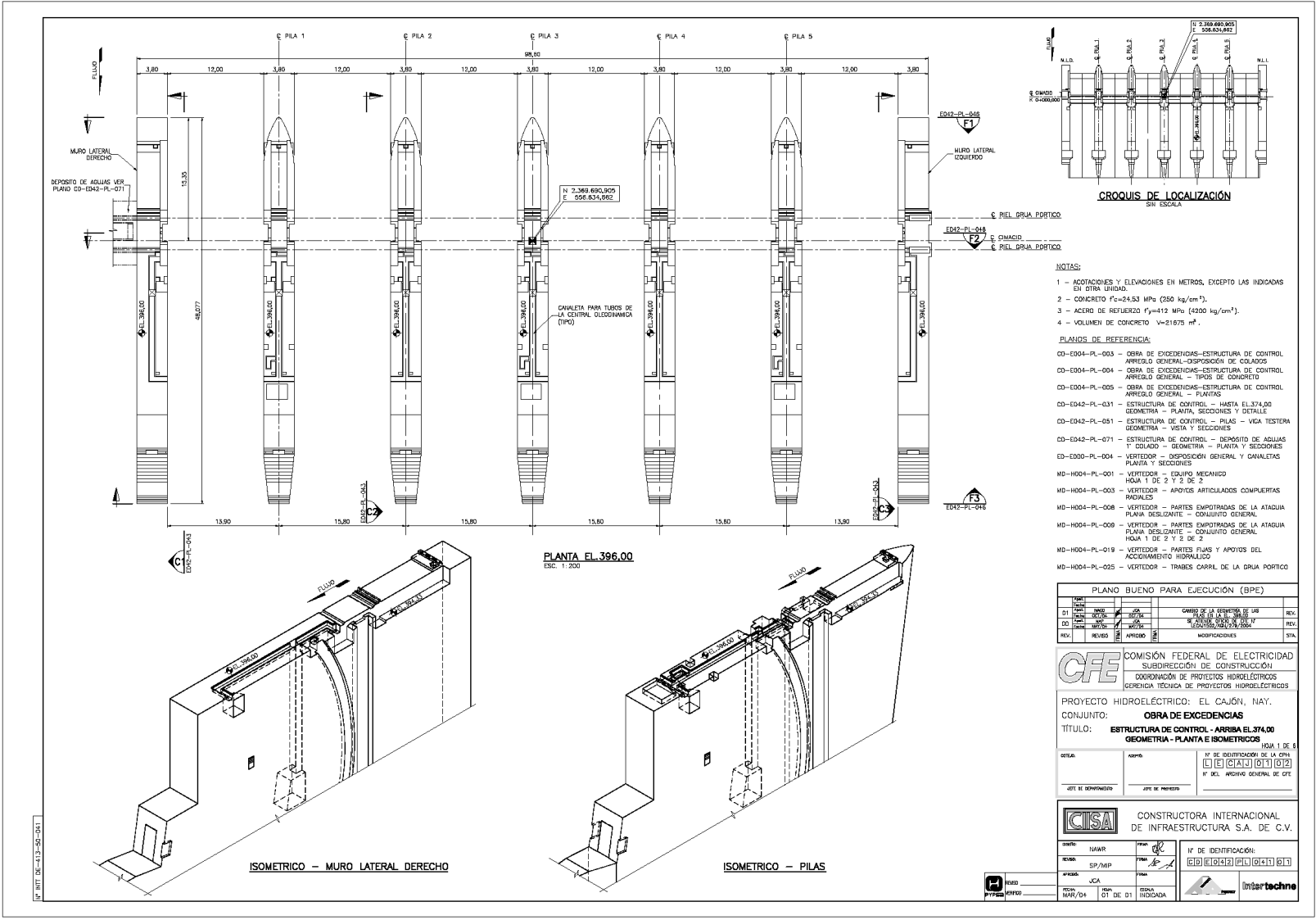
Nº DEL ARREGLO GENERAL DE CFE

CISA CONSTRUCTORA INTERNACIONAL DE INFRAESTRUCTURA S.A. DE C.V.

DESIGNO	CLIP	FECHA	Nº DE IDENTIFICACIÓN:
REVISO	MLW	FECHA	E 01 E 02 E 03 E 04 E 05
APROBADO	JCA	FECHA	
REVISO	DCT/03	FECHA	
APROBADO		FECHA	

1 DE 1
1:150
Dy&Bartelme





GLOSARIO

Glosario de términos y abreviaturas

EL, Elev	= elevación
Km 0+000	= cadenamiento o estación en kilómetros
EST	= estación
PV	= punto visado
Rbo	= rumbo
Az	= azimut
V	= vértice
<i>m, s</i>	= pendiente
<i>p</i>	= perímetro
A, S	= área o superficie
∇	= volumen
<i>d</i>	= distancia
ϕ	= diámetro
<i>e</i>	= espesor
E	= equidistancia
R	= radio
Sc	= sobreelevación
Ac	= sobreelevación
Vel	= velocidad en m/s
N	= distancia de transición
Le	= longitud de transición
Δ	= deflexión
ξ .	= eje o centro de línea
m.s.n.m.	= metros sobre nivel del mar
H:V	= talud (horizontal : vertical)
P.H.	= Proyecto Hidroeléctrico
CFE	= Comisión Federal de Electricidad
CIISA	= Constructora Internacional de Infraestructura S.A.
CECSA	= Constructora El Cajón S.A de C.V.
ENERGO	= Energomachexport Power Machines
PYPSA	= Planeación y Proyectos S.A.
INEGI	= Instituto Nacional de Estadísticas Geografía e Informática
UTM	= Universal Transversa of Mercator
MW	= mega watts
NAMO	= Nivel de Aguas Máximas Ordinarias
NAME	= Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias
CFRD	= enrocamiento con cara de concreto, por sus siglas en inglés
NPT	= nivel de piso terminado
TVL	= Terreno Vertical Libre

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Referencias bibliográficas

- ❖ Barry B., Austín. *Topografía aplicada a la construcción*, Limusa, México, 1976.
- ❖ Fernando García Márquez. *Curso Avanzado de Topografía*, Árbol Editorial.
- ❖ Gomar Suástegui, Jerónimo. *Apuntes de topografía militar*, Ateneo, México, 1978.
- ❖ Gunter Seeber, Edit Walter de Gruyter. *Satellite Geodesy "Foundations, Methods and Applications"*.
- ❖ Kissam, Philip. *Topografía para ingenieros*, McGraw Hill, 1975.
- ❖ Krenz Alfred y Horst Osterloh. *Curvas de transición en carretera*, Tecnos, Madrid España, 1975.
- ❖ Llama Zamora, Jesús. *Ajuste de aparatos topográficos*, Limusa, México, 1977.
- ❖ Montes de Oca, Miguel. *Topografía, Representaciones y Servicios de Ingeniería*, 1974.
- ❖ Sabro Higashida Miyabara. *Topografía General*, Editorial Limusa.
- ❖ Schmidt Milton y Rayner William. *Fundamentos de topografía*, CECSA, México, 1983.
- ❖ Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Normas de servicios técnicos, proyecto geométrico de carreteras*, México 1984.
- ❖ Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Manual de proyecto geométrico de carreteras*, México 1971.
- ❖ Taton, Robert. *Topografía subterránea*, Paraninfo, Madrid España, 1972.
- ❖ *Tratamiento de Errores en Levantamientos Topográficos*, INEGI Aguascalientes.
- ❖ Toscano, Ricardo. *Métodos topográficos*. Porrúa, México, 1978.