



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**COLEGIO DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
GEODESIA**

**TOPOGRAFÍA APLICADA EN EL ESTUDIO GEOLÓGICO
– GEOTÉCNICO EN LA ETAPA DE APOYO A DISEÑO
DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHICOASEN II.**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA

PRESENTA:

JOSÉ SANTIAGO PUÓN

ASESOR:

ING. MARCOS ARELLANO DÍAZ



Oficio No D-SA/4843/2013
ACEPTACIÓN DE TEMA DE TESINA

C. JOSÉ SANTIAGO PUON
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERIA
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA
PRESENTE

En atención al Tema de Tesina que puso usted a consideración de la Facultad de Ingeniería, dentro del marco del XIII Seminario de Titulación de Ingeniería, se turnó la misma a la:

M. I. ANA ELENA POSADA SÁNCHEZ
Secretaria Académica

Habiendo autorizado el tema denominado:

**"TOPOGRAFÍA APLICADA AL ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO EN LA ETAPA DE APOYO A
DISEÑO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHICOASEN II"**

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como Asesor de esta Tesina al

ING. MARCOS ARELLANO DÍAZ

Sin más por el momento me despido de usted y le envié la seguridad de mi consideración más distinguida.

ATENTAMENTE
"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"
H. Puebla de Z. a 04 de diciembre de 2013

M. I. EDGAR IRAM VILLAGRAN ARROYO
DIRECTOR



M'EIVA/AEPS/AACHB*
c. c. p. Archivo

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

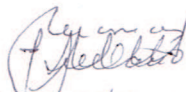
M.I. EDGAR IRAM VILLAGRÁN ARROYO
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
P R E S E N T E

El que suscribe **MTRO. MARCOS ARELLANO DÍAZ** asesor del tema denominado: **"TOPOGRAFÍA APLICADA AL ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO EN LA ETAPA DE APOYO A DISEÑO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHICOASEN II"**, presentado por el **C. JOSÉ SANTIAGO PUON**, pasante de la carrera de **Ingeniería Topográfica y Geodésica**, y en atención al oficio No. D-SA/4843/2013, me permito informar a usted que dentro del marco del **XIII Seminario de Titulación de Ingeniería y después de haber realizado una cuidadosa revisión del contenido temático, la metodología y la redacción de la tesis** correspondiente, no existe inconveniente en **autorizar la impresión** de la misma.

Asimismo, solicito a usted tenga a bien autorizar el jurado para su examen profesional.

Lo que hago de su conocimiento para los efectos legales a que haya lugar.

A T E N T A M E N T E
H. Puebla de Z. a 23 de mayo de 2014



MTRO. MARCOS ARELLANO DÍAZ
A S E S O R

ÍNDICE

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| Índice | | i |
| Introducción | | iii |
| Capítulo I | Generalidades | 1 |
| | I.1. Localización Geográfica | 1 |
| | I.2. Cuenca del Río Grijalva | 2 |
| | I.2.1. Aprovechamiento Hidroeléctrico | 5 |
| | I.3. Geología Regional | 5 |
| | I.3.1 Estratigrafía | 5 |
| | I.3.1.1.Mesozoico | 6 |
| | I.3.1.2. Cenozoico | 8 |
| | I.3.2 Estructuras Geológicas Regionales | 9 |
| | I.3.2.1. Fallas | 9 |
| | I.3.2.2. Plegamientos | 10 |
| | I.3.3. Erosionabilidad de las unidades litológicas | 11 |
| | I.4. Descripción del Proyecto | 13 |
| Capítulo II | Importancia del Estudio Geológico – Geotécnico en Proyectos Hidroeléctricos | 15 |
| | II.1 Hidroelectricidad en México | 15 |
| | II.2 Etapas de Estudio en Proyectos Hidroeléctricos | 16 |
| | II.3 Métodos de Exploración | 17 |
| | II.4 Problemas y Daños en las Presas Hidroeléctricas | 19 |
| Capítulo III | Control Topográfico, Horizontal y Vertical en el Sitio de Estudio del P.H. Chicoasen II | 22 |
| | III.1 Actividades Previas | 22 |
| | III.2 Reconocimiento y Amojonamiento | 23 |
| | III.3 Establecimiento del Control Horizontal | 23 |
| | III.3.1. Control Primario | 23 |
| | III.3.2. Ubicación de Mojoneras de Primer Orden | 25 |
| | III.4 Establecimiento del Control Vertical | 30 |
| | III.4.1. Nivelación Diferencial | 32 |
| | III.4.2. Resultados | 35 |

| | | |
|---------------------|---|-----------|
| Capítulo IV | Topografía Aplicada en el Estudio Geológico – Geotécnico y Apoyo a Otras Disciplinas | 38 |
| | IV.1 Configuración Topográfica | 38 |
| | IV.1.1. Métodos de Configuración | 39 |
| | IV.2 Apoyo a Geología | 43 |
| | IV.3 Apoyo a Geofísica | 44 |
| | IV.3.1. Métodos de Exploración Geofísica | 46 |
| | IV.4 Apoyo a Perforación | 52 |
| | IV.5 Apoyo Topográfico en Socavón de Margen Derecha | 55 |
| Conclusiones | | 64 |
| Bibliografía | | 65 |

INTRODUCCIÓN

El estudio del potencial hidroeléctrico en el Estado de Chiapas, y particularmente en la cuenca del río Grijalva, es parte de la estrategia de Comisión Federal de Electricidad para generar energía eléctrica y cubrir la creciente demanda en el sureste y centro del país.

Como respuesta a la creciente demanda en el sector eléctrico, la Comisión Federal de Electricidad, a través de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil, en conjunto con la Residencia de Actividades Previas, realizó diversos estudios, entre ellos los geológicos de exploración en el Proyecto Hidroeléctrico (P.H.) Chicoasén II, para definir la factibilidad de construcción, con lo cual se aprovecharía integralmente el río Grijalva ya que se sumaría a las grandes obras hidroeléctricas en operación denominadas Belisario Domínguez (Angostura), Manuel Moreno Torres (Chicoasén), Netzahualcóyotl (Malpaso) y Miguel Ángel Albino Corzo (Peñitas).

La Comisión Federal de Electricidad en conjunto con la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos iniciaron en 1948 los estudios de la cuenca del río Grijalva, formando el “Plan Integral del Río Grijalva”, aprovechando sus recursos con la construcción de cuatro hidroeléctricas: Netzahualcóyotl (CH Malpaso, 1964), Belisario Domínguez (CH Angostura, 1974), Manuel Moreno Torres (CH Chicoasén, 1980) y Ángel Albino Corzo (CH Peñitas, 1987). En este sistema hidroeléctrico aún quedan sitios con características apropiadas para la generación de energía eléctrica (Chicoasén II y Acala), el primero se localiza en el segmento del río ubicado aguas abajo de la presa Manuel Moreno Torres (Chicoasén) y apenas al límite con el embalse de la presa Netzahualcóyotl (Malpaso).

Para determinar el sitio actual, se realizaron estudios geológicos en varias alternativas (Tres Picos, La Cuevita, Cedros y Copainalá) y en diferentes etapas de tiempo, hasta determinar el sitio actual donde la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de la CFE, llevó a cabo los estudios del Proyecto Hidroeléctrico (P.

H.) Chicoasén II, con la intervención de las disciplinas de Topografía, Geofísica, Perforación, Sismotectónica, Geohidrología, Geotecnia y Geología. Estos estudios se llevaron a cabo en tres etapas: 1995-1996, 2001 y la etapa complementaria de 2012.

Los estudios geológicos para obras hidroeléctricas en la región de Chicoasén datan desde 1970, cuando se exploraron tres opciones: Sumidero, La Cueva y Chicoasén, entre las cuales se optó por la alternativa Chicoasén para construir la Central Hidroeléctrica (C. H.) Manuel Moreno Torres. Previamente se desechó el sitio denominado La Cueva, ubicado a 1 Km. aguas arriba del actual eje de cortina del proyecto Chicoasén II, debido a que la cimentación de la cortina se llevaría a cabo en lutitas.

La ubicación del sitio apropiado para alojar la obra hidroeléctrica del P H Chicoasén II, requirió de estudios en varios sitios del río Grijalva con condiciones topográficas e hidrológicas idóneas para este fin. De esta forma, en el año de 1977 se realizaron estudios geológicos en el sitio Los Cedros, el cual se ubicó a 30 Km. aguas abajo de la cortina, en ese entonces aún en construcción del proyecto Chicoasén, el cual fue desechado por la poca carga hidráulica aprovechable. Posteriormente, se estableció el P. H. Copainalá con las alternativas Copainalá y La Cueva. El sitio Copainalá estaba ubicado aguas arriba de Los Cedros, en la confluencia del río Grijalva y el arroyo Copainalá. Las exploraciones realizadas en este sitio entre los años 1978 y 1980 incluyeron 2 socavones, mientras que de 1988 a 1989, se hizo un socavón exploratorio en la zona acantilada del estrechamiento sobre la margen izquierda. El sitio se desechó debido a que los acarreo del arroyo Copainalá afectarían las obras civiles. Más tarde cuando se tomó la decisión de sobre elevar la cortina de la C. H. Malpaso, el sitio Copainalá quedó inundado por las aguas del embalse y solamente quedó un sitio disponible con gradiente hidráulico capaz de generar energía eléctrica que corresponde a la alternativa La Cueva.



Diferentes sitios estudiados para el P H Chicoasén II.

El objetivo del presente trabajo es el de mostrar las actividades topográficas aplicadas en el estudio geológico – geotécnico del proyecto hidroeléctrico Chicoasén II. Así como el apoyo realizado a las diferentes disciplinas que intervienen en el estudio.

Estos apoyos se realizaron a través métodos y equipos topográficos, partiendo con el establecimiento de vértices de control topográfico, para el levantamiento de la configuración topográfica a detalle en la zona de la boquilla, Sondeos Eléctrico Verticales (SEV's), localización de Bancos de Materiales, localización de Barrenos y seccionamiento en el cauce del rio Grijalva, además de dar apoyo a la disciplina de Geología en ubicación de puntos geológicos, en toda la zona de estudio y así obtener la información topográfica de campo y plasmarla en planos a escalas convenientes que muestren los diferentes trabajos realizados.

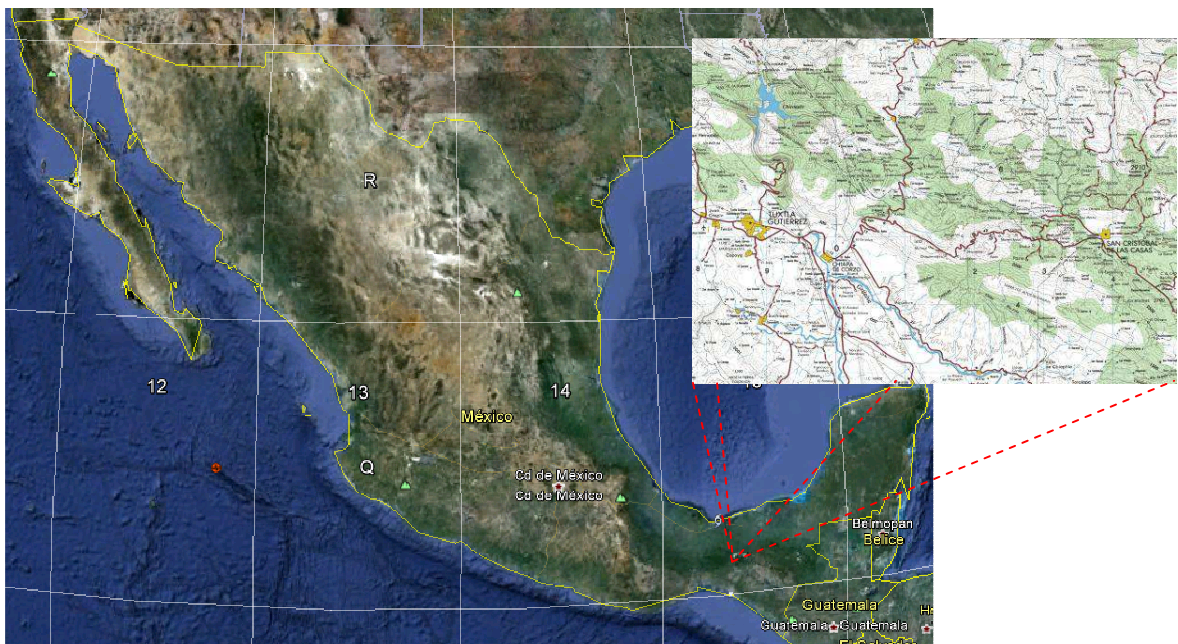
Para la realización del apoyo topográfico se contó con equipo topográfico de última generación como los son equipos receptores GPS, Estaciones Totales y Niveles fijos electrónicos.

CAPÍTULO I

Generalidades

I.1. Localización Geográfica

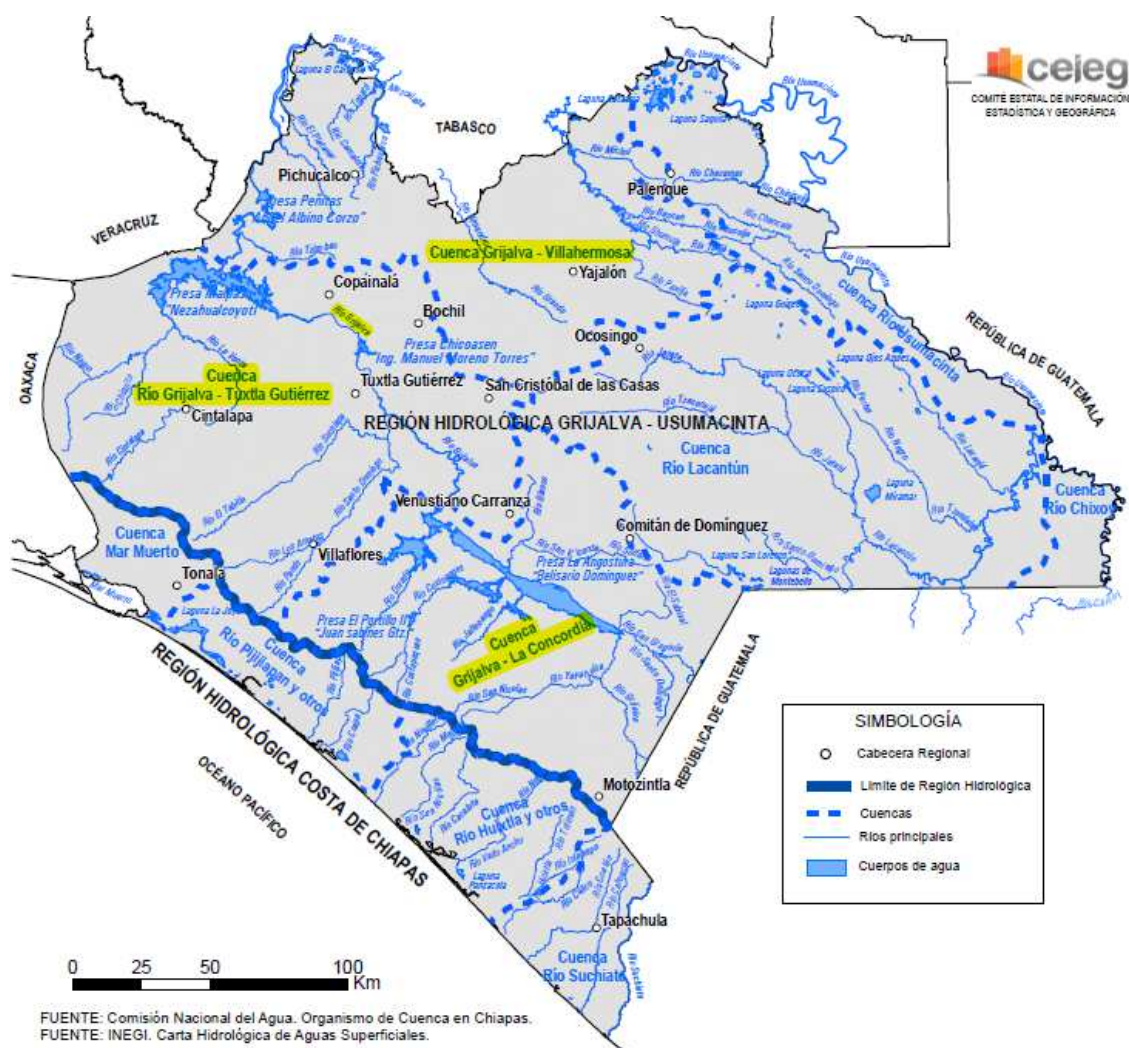
El eje de la cortina del Proyecto Hidroeléctrico (P. H.) Chicoasén II se encuentra sobre el río Grijalva, a 48 Km. en línea recta de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, y se ubica geográficamente en las coordenadas $16^{\circ} 59' 90''$ Latitud Norte y $93^{\circ} 10' 02''$ Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. El acceso al sitio de boquilla se realiza a partir de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, por la carretera estatal 102, pasa por San Fernando, la C. H. Manuel Moreno Torres y el poblado de Chicoasén, a partir del cual se continúa por la carretera que conduce a Copainalá y a la altura del Km. 7 se desprende una brecha de acceso a la zona del proyecto, con un desarrollo de 3 Km., transitable todo el año.



Localización de la zona de estudio del P. H. Chicoasén II.

I.2. Cuenca del Rio Grijalva

La cuenca del río Grijalva se localiza en el sureste de la República Mexicana y administrativamente comprende los estados de Tabasco y Chiapas, contando con una extensión de 51,569 km². La región hidrológica del Grijalva está integrada por dos subregiones llamadas Alto Grijalva y Bajo Grijalva, así como por tres subcuencas: Alto Grijalva, Medio Grijalva y Bajo Grijalva. La precipitación de la región es la mayor del país y una de las más altas del mundo. Su media anual es de 2,143 mm, 2.6 veces el promedio nacional, llegando en algunos lugares como la región de Teapa, Tabasco hasta los 4,000 mm al año.



El llamado Alto Grijalva comprende la sección del río que va desde su nacimiento en el departamento de Huehuetenango, Guatemala, hasta la Presa Angostura y comprende un área de 9,643 km². En esta región, el Grijalva deja las montañas de Guatemala y se interna en territorio mexicano por el estado de Chiapas, atraviesa las montañas de la Sierra Madre del Sur y la depresión central de Chiapas, en donde se localizan las principales presas hidroeléctricas del sistema. El río continúa su recorrido y llega a la Presa La Angostura.

Esta subcuenca Medio Grijalva que pertenece a la región conocida como Alto Grijalva y comprende el tramo del río Grijalva que va de la presa Angostura hasta la presa Malpaso y cuenta con un área de 20,146 km². Después de salir de la presa Angostura, el Grijalva atraviesa el Cañón del Sumidero llegando a la Presa Chicoasén. Continuando su recorrido el Alto Grijalva deja la depresión central de Chiapas y llega a la Presa Malpaso. Al salir de la presa Malpaso, el río llega a la última presa del sistema, la Presa Peñitas, que se localiza en los límites de los estados de Chiapas y Tabasco. A partir de aquí, el Grijalva se interna en el estado de Tabasco y recibe el nombre de río Mezcalapa.

Se conoce como subcuenca del Bajo Grijalva al recorrido comprendido entre la ciudad de Villahermosa hasta la desembocadura al golfo de México en la Barra de Frontera, Tabasco. Es la mayor y más importante de Tabasco con un área de 21,780 km².⁴ En su recorrido por la llanura tabasqueña, el Mezcalapa, pasa a un costado de la ciudad de Huimanguillo y posteriormente, tuerce al oriente desprendiéndosele un ramal llamado río Samaria, continúa hasta dividirse en dos grandes corrientes localizadas a unos pocos kilómetros de la ciudad de Villahermosa, la capital de Tabasco. La corriente más caudalosa recibe el nombre de río Carrizal y la de menor caudal se llama río Viejo Mezcalapa, ambas corrientes circundan la ciudad de Villahermosa y se unen al Grijalva original.

Dentro de los ríos que forman parte de esta subcuenca se encuentran: "Río Chilapilla", "Río Carrizal". "Río Samaria", "Río Cunduacán" y "Río Cucuxuchapa", y

"Río Viejo Mezcalapa", "Río de la Sierra", "Río Tacotalpa", "Río Chilapa", "Río Almendro", "Río Puxcatán", y Río Macuspana" y "Río Tabasquillo".

En este último tramo, el Grijalva recibe las aguas de numerosos ríos, arroyos y lagunas de la planicie tabasqueña internándose en la reserva de la biosfera Pantanos de Centla el humedal más importante de la América Septentrional, y recibiendo las aguas del río Usumacinta y del San Pedrito en la zona conocida como Tres Brazos, para que 7 km después, la gran corriente formada por los dos ríos más caudalosos de México, desemboque al Golfo de México por la Barra de Frontera.

El gran delta del sistema Grijalva-Usumacinta está integrado por una rica zona de tierras bajas, pantanos y humedales en el occidente de Tabasco que integran la reserva de la biosfera Pantanos de Centla, ésta es la mayor área de invernación de aves acuáticas del Golfo de México. La enorme variabilidad de los niveles del agua ocasionada por las lluvias torrenciales que se precipitan entre junio y septiembre, forman miles de lagos y pantanos ricos en alimentos para una verdadera multitud de aves y animales acuáticos. Los humedales del delta del Grijalva-Usumacinta albergan cuatro o cinco grandes colonias de anidación que se han estimado cada una en 50,000 parejas de aves. Entre ellas la rara cigüeña jabirú, el ave voladora más grande de América (mide 1.5 m de altura y tiene una envergadura cercana a los tres metros).

Dentro de los Pantanos de Centla, el Grijalva con un desfogue de 27.013 millones de metros cúbicos por año, se une con el Usumacinta cuyo caudal es de 55.832 millones de metros cúbicos anuales, formando un importante delta con una extensión de 3 500 km² en la reserva de la biosfera Pantanos de Centla.

El caudal del río Grijalva y del Usumacinta juntos, arroja al mar 6 500 metros cúbicos de agua por segundo, y en el clímax de la temporada lluviosa, se alcanzan hasta los 12,000 m³/s. Por su nivel de descarga, el delta Grijalva - Usumacinta, está considerado como el sistema más importante de Norteamérica y Centroamérica y tiene el séptimo lugar a nivel mundial.

I.2.1. Aprovechamiento Hidroeléctrico

El control de los ríos para regular avenidas y generar energía fue objeto de un vasto programa que contempló la construcción de presas gigantes en varios puntos de las cuencas altas. En una primera etapa, este programa se propuso el control y la regulación del sistema del río Grijalva. En su cauce medio, en el estado de Chiapas, se han construido las plantas hidroeléctricas más importantes del país que son, de oriente a poniente: la presa Angostura o Belisario Domínguez (construida en 1976), y que es la mayor presa de México; la presa Chicoasén (construida en 1980), que tiene la cortina más alta del país, con 261 m; la presa Malpaso o Netzahualcóyotl (construida en 1966); y la presa Peñitas (inaugurada en 1987) que es la presa más pequeña del sistema Grijalva - Mezcalapa.

De estas presas sólo La Angostura y Malpaso fueron diseñadas para regular avenidas y la capacidad de ambas es de 11,400 Mm. En cuanto a la generación de energía, la capacidad instalada de las presas localizadas en el sistema Grijalva - Mezcalapa es de 3,907 MW y corresponde al 40.3% de la capacidad hidroeléctrica nacional y al 52% de la energía generada por las plantas hidroeléctricas del país que es de 12,817 GWh.

I.3. Geología Regional

Las unidades litológicas y las estructuras geológicas, definen el contexto geológico de la región que comprende al P H Chicoasén II, sin embargo especial énfasis se da a las características de la cuenca del río Bombaná, afluente principal del Río Grijalva en esta región, el cual tiene un papel importante en el aporte de sedimentos al futuro embalse del Proyecto Hidroeléctrico.

I.3.1 Estratigrafía

En la región del PH Chicoasén II aflora la secuencia sedimentaria calcárea cretácica representada por el Grupo Sierra Madre y la Formación Angostura; rocas predominantemente terrígenas del Terciario de las formaciones Soyaló del

Paleoceno, El Bosque y Lomut del Eoceno y Mompuyil y Simojovel del Oligoceno; rocas volcánicas andesíticas del Mioceno y Plioceno, y un cuerpo intrusivo traquiandesítico del Plioceno. Estas rocas se encuentran cubiertas por depósitos de talud y aluvión del Holoceno.

| ERA | PERIODO | ÉPOCA | PISO | FORMACIÓN | | |
|-----------|-------------|-------------|----------------|--------------------------------------|-----------------------------|--|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | HOLOCENO | | Suelos, depósitos de talud y aluvión | | |
| | | PLEISTOCENO | | | | |
| | TERCIARIO | PLIOCENO | | ROCAS VOLCÁNICAS ANDESÍTICAS | INTRUSIVO TRAQUI-ANDESÍTICO | |
| | | MIOCENO | | | | |
| | | OLIGOCENO | | FM. SIMOJOVEL | | |
| | | | | FM. MOMPUYIL | | |
| | | EOCENO | | FM. EL BOSQUE | FM. LOMUT | |
| PALEOCENO | | FM. SOYALÓ | | | | |
| MESOZOICO | CRETÁCICO | SUPERIOR | MAASTRICHTIANO | FM. ANGOSTURA | | |
| | | | CAMPANIANO | | | |
| | | | SANTONIANO | GRUPO SIERRA MADRE | FM. JOLPABUCHIL | |
| | | | CONIACIANO | | | |
| | | | TURONIANO | | | |
| | | | CENOMANIANO | | | |
| | | INFERIOR | ALBIANO | FM. CANTELHÁ | | |
| | | | APTIANO | | | |

Columna estratigráfica de la región del PH Chicoasén II.

I.3.1.1 Mesozoico

Grupo Sierra Madre (Kssm)

Se conoce como Grupo Sierra Madre al conjunto de formaciones Cantelhá, Cintalapa y Jolpabuchil. Destaca la Formación Jolpabuchil debido a su distribución en la vecindad de la presa Chicoasén; está constituida por una caliza de textura wackestone de estratificación media a delgada, con bandas y nódulos de pedernal negro. Se le ha asignado una edad Cretácico Superior y subyace concordantemente a la Formación Angostura. La Formación Cintalapa aflora cerca de las localidades de Chuchilton y Buenavista en el municipio de San Andrés Larrainzar y está constituida por una caliza dolomitizada dispuesta en estratos gruesos y en algunas ocasiones hay presencia de hidrocarburo.

Una de las características principales es que se encuentran afectadas por fuerte intemperismo, por lo que en la cuenca da lugar a geoformas redondeadas y sufren de un alto grado de carsticidad por lo que el drenaje superficial es escaso.

Formación Angostura (Ksa)

Esta unidad ha sido ampliamente reconocida en la franja central que cubre de este a oeste el estado de Chiapas. Está constituida por calizas de estratificación media con texturas packstone a wackestone (Clasificación de Dunham), con algunas facies arrecifales y otras de talud arrecifal. Su espesor se estima en 800 m y su edad es Maastrichtiano determinada con base en su contenido fósil de rudistas y microfósiles. El espesor de toda la formación se estima en 1200 m. Fuera del área del proyecto su contacto inferior es concordante sobre las dolomías y calizas dolomitizadas de la Fm. Sierra Madre.

En la zona del P H Chicoasén II, se identifican en la Fm Angostura diferencias texturales que la dividen en dos miembros:

Miembro Inferior (Ksa-U1). Está constituido por una alternancia de calizas biomicritas y bioespatitas (Clasificación de Folk) de color gris claro a crema, con capas de calcarenita biógena que contienen fragmentos de macrofósiles; se trata de una roca compacta al golpe, de buena calidad con poco desarrollo de carsticidad; el espesor de los estratos varía de 30 cm a 3.5 m de espesor y a menudo se presentan estructuras de estilolitas paralelas a la estratificación

Miembro Superior (Ksa-U2). Esta formado principalmente por brechas intraformacionales, cuyos clastos son fósiles y de rocas más antiguas, tales como la caliza del miembro inferior y calizas de la Fm. Sierra Madre, en tamaños de 5 a 80 cm. Se presentan en estratos que varían de 5.50 hasta 2.50 m de espesor, contiene capas fosilíferas, así como nódulos y lentes de pedernal, siendo éstos, más frecuentes en su base. Se le observa desarrollo de carst y su espesor total medido en el proyecto es de 55 m. El contacto superior con la Fm. Soyaló se encuentra en el arroyo La Cueva, en la carretera que conduce a Copainalá y en

la margen izquierda del sitio de cortina del P H Chicoasén II, en la zona de la ataguía de aguas abajo; el cambio litológico es concordante y transicional con la Fm. Soyaló.

I.3.1.2 Cenozoico

Formación Soyaló (Tps)

Esta formación de edad Paleoceno (Terciario) consiste en una secuencia de lutitas y areniscas con escasos horizontes de caliza. Dado que en el área del P H Chicoasén II presenta variaciones a areniscas de grano medio y conglomerados, se dividió en dos miembros, el miembro superior Tps-II compuesto por conglomerados y el miembro inferior (Tps) que contiene principalmente lutitas y areniscas.

Miembro inferior (Tps). Consiste en una alternancia de lutitas y areniscas de estratificación cruzada, con espesores delgados a medianos y algunos horizontes de conglomerados polimícticos, constituidos principalmente por clastos de cuarzo bien clasificados, en general este miembro cubre a la Fm Angostura mediante un contacto concordante y transicional.

Miembro Superior (Tps-II). Está formado por una secuencia de areniscas de grano grueso a medio y conglomerados polimícticos, duros y competentes, con fragmentos de cuarzo y caliza con cementante calcáreo de color gris pardo, presenta alteraciones con tonalidad ocre, ocasionalmente se encuentran algunas capas de caliza.

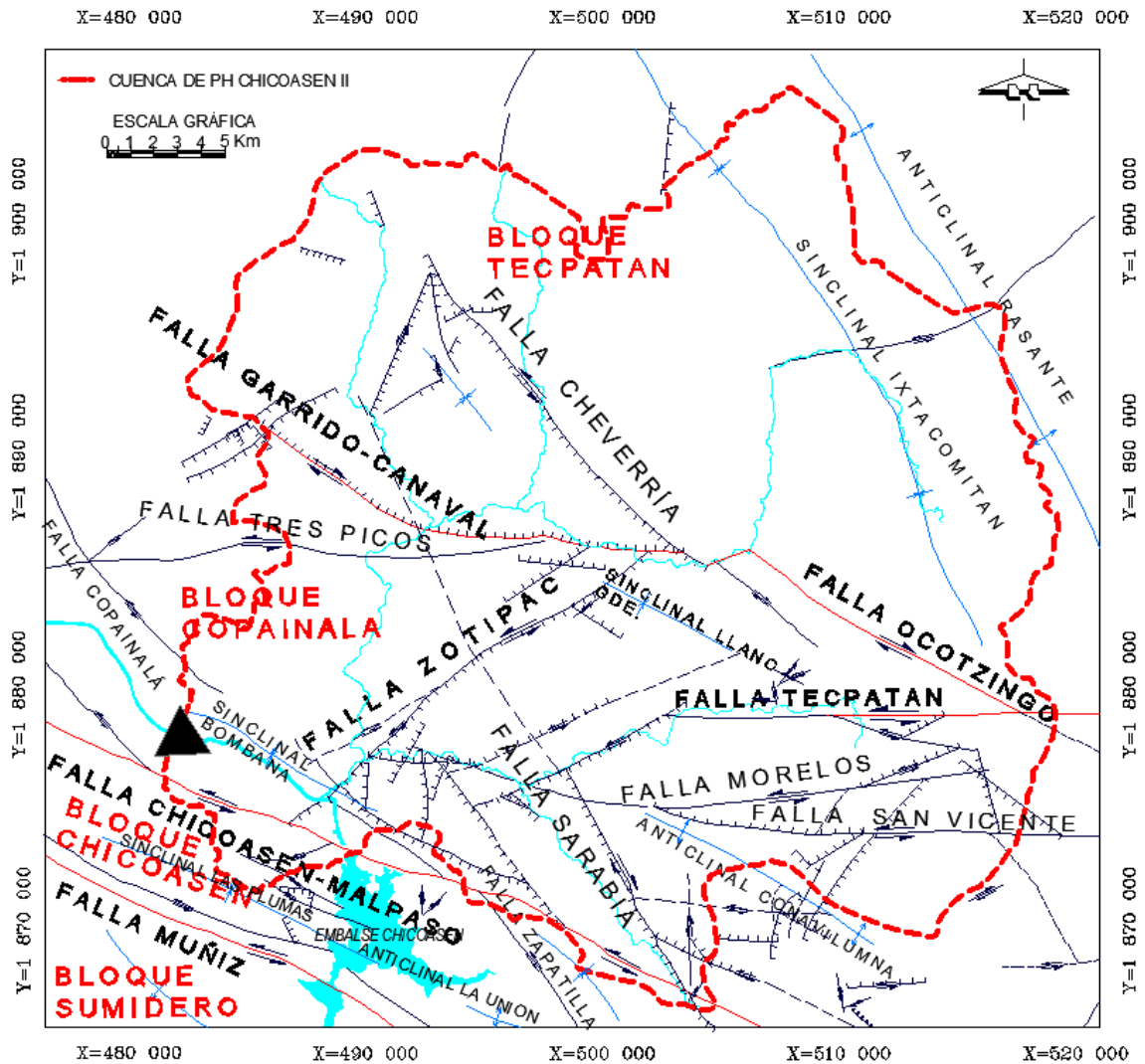
Esta formación afloran en la parte Este de la subcuenca cerca del poblado de Soyaló hasta el poblado de Bochil rodeando la mesa central de Llano Grande siguiendo hasta los poblados de Chicoasén y Osumacinta.

I.3.2. Estructuras geológicas regionales

I.3.2.1 Fallas

La región que comprende el PH Chicoasén II se localiza en la Provincia Tectónica “Fallas de Transcurrencia” caracterizada por fallas de desplazamiento lateral principalmente de tipo izquierdo. La Fase de la Tectónica reciente es la responsable de este tipo de estructuras geológicas que caracterizan a esta parte de Chiapas, entre ellas destacan las fallas Chicoasén-Malpaso, Muñizy la Canavál-Ocotzingo con un tren estructural general orientado al N50°-70°W. Además de las estructuras mencionadas, se presentan fallas laterales, normales y compuestas.

Las fallas de escala regional mencionadas delimitan cuatro bloques tectónicos: El Bloque Copainalá, El Bloque Chicoasén, El Bloque Sumidero y el Bloque Tecpatán. El P H Chicoasén II se localiza en el bloque estructural “Copainalá”, delimitado al norte por la Falla Canaval-Ocotzingo y al sur por la Falla Chicoasén-Malpaso, para las cuales se ha documentado en la bibliografía, que además de su desplazamiento lateral izquierdo también tienen una componente de movimiento normal. El bloque Copainalá se encuentra afectado por fallas de rumbo NE 70° SW, por su sistema conjugado de fallas con rumbo NW 25° SE y fallas en dirección Este-Oeste. El río Grijalva labra su curso precisamente a través de este bloque, se ha observado que el cauce del río se desarrolla muy cerca del eje del sinclinal Bombaná, cortando rocas detríticas de la Formación Soyalo; dicho sinclinal hacia su flanco suroeste es segmentado por el paso de la falla Chicoasén-Malpaso, formando estructuras complejas del tipo graben-sinclinal.



Marco tectónico de la cuenca del arroyo Bombaná del P H Chicoasén II.

I.3.2.2. Plegamientos

Los plegamientos en esta zona datan del Mioceno medio del Evento Chiapaneco que forma la cadena plegada y cabalgada de Chiapas-Reforma-Akal, formando pliegues orientados NW-SE mientras que, fallas extensionales que tienen una orientación NE-SW se le atribuye una edad del Plio-Pleistoceno.

Las demás estructuras plegadas se encuentran cortadas por fallas normales y de componente lateral entre los cuales se encuentran el Sinclinal de Llano Grande, El

anticlinal Conaluvia, el anticlinal de Bombaná, el sinclinal de las Plumas y el anticlinal Turipache, que son una prueba de la deformación que sufrieron las rocas en los eventos compresionales del Mioceno.

I.3.3 Erosionabilidad de las unidades litológicas

La cuenca del río Bombaná desemboca al río Grijalva, en el sitio del poblado de Chicoasén y su extensión total es de 100 517 Ha. Con el estudio geológico regional se identifican los tipos de roca que constituyen el área de la cuenca, sus características geomecánicas y su constitución mineralógica, condiciones que determinan el grado de resistencia a la erosión a que están expuestas (fácil-difícil de erosionar), bajo este criterio se clasifican 3 diferentes tipos de roca: Rocas duras, rocas de dureza media y rocas de poca dureza.

Se consideran como rocas duras a aquellas que son muy resistentes a la erosión y que como producto de su degradación generan bloques de roca difíciles de ser transportados por el río al área del embalse del P H Chicoasén II. Es este tipo de rocas se agrupan las formaciones que están compuestas por calizas, dolomías, calizas dolomitizadas y calcarenitas, las cuales constituyen a las formaciones Sierra Madre y Angostura. Las rocas son densas, compactas, duras al golpe del martillo, con estratificación variable desde estratos delgados a masivos. Estas rocas forman las partes altas de la cuenca debido a su competencia y dificultad de erosionarse. Afloran desde el Túnel Muñiz hasta el poblado de Chicoasén, es la base del cauce del arroyo Chicoasén-Bombaná por 3 km. Se calcula que cubren una superficie de 16 000 Ha.

Se identifican como rocas suaves o de poca dureza aquellas de constituyentes terrígenos, que se intemperizan y erosionan con relativa facilidad, lo que aporta material que es transportable a la zona del Embalse. Las areniscas conglomeráticas, areniscas, lutitas y algunos horizontes de calizas de la Formación Simojovel son susceptibles de erosionarse con facilidad, presentando asolves principalmente de finos con elementos de arenas y gravas. Están

expuestas al noreste de la cuenca en los alrededores de los poblados de Jitotol y Maravillas. Cubren una superficie de la cuenca de aproximadamente 6 127 Ha.

Las lutitas, areniscas, conglomerados polimícticos y algunos horizontes de calizas de la Formación Soyaló. En la secuencia prevalecen las lutitas, condición que hace que la formación presente fuerte intemperismo y se erosione con facilidad. Está expuesta en la zona centro-sur de la cuenca desde Chicoasén al poblado de Copainalá con una superficie de 22 500 Ha.

Las rocas volcánicas se consideran de poca dureza. Están representadas por tobas andesíticas cubiertas por brechas constituidas por fragmentos angulares derivados de la misma toba pobremente soldada. En el afloramiento la roca es de dureza media, compacta, con alteración que permite una fácil erosión.

Estos depósitos se manifiestan en la parte Norte-Noroeste de la cuenca, en los poblados de Coapilla, Tapalapa, zonas cercanas a Pantepec y entre Tierra Blanca y Rayón. Con una superficie de 4 000 Ha.

Los afloramientos presentan fuertes alteraciones a suelos de color rojizo, pardos y tonos violáceos, en la Laguna Verde del poblado de Coapilla se tiene un afloramiento de lahares.

Los materiales no consolidados tales como los depósitos de talud, terrazas aluviales y depósitos de aluvión se consideran los de mayor susceptibilidad a la erosión. Este tipo de depósitos ya tuvo una erosión y transporte, con diferentes distancias recorridas, manifiestas en el grado de redondez de sus aristas; los componentes son heterogéneos con rocas de las Formaciones antes mencionadas, desde sedimentarias hasta volcánicas.

En síntesis, la cuenca del río Bombaná tiene una extensión aproximada de 100 517 Hectáreas, se determina la distribución de los tipos de rocas según su dureza, estableciendo la diferencia con relación a su potencial de erosión y a producir material detrítico. En la siguiente tabla se refleja la distribución y categorización de

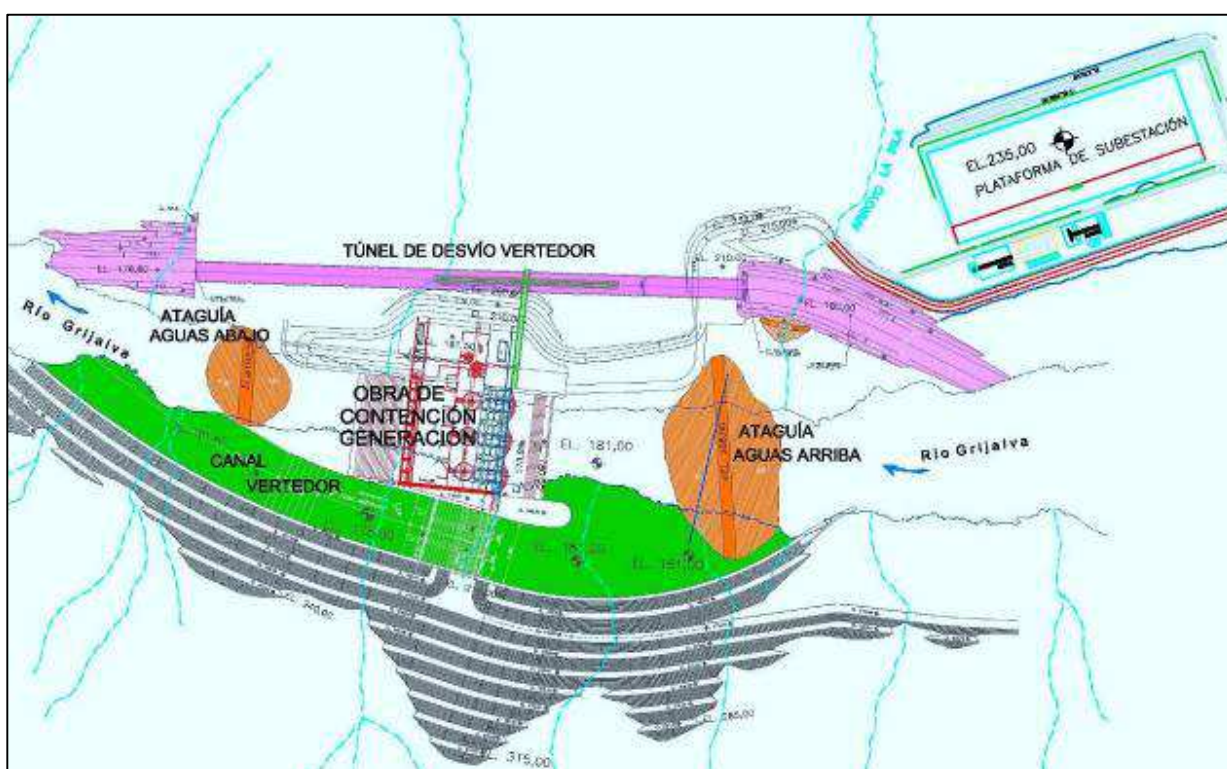
la roca relacionados con la superficie que cubren en la cuenca. Estos datos son útiles para un análisis de la cantidad de azolves que llegarán al vaso del P H Chicoasén II.

| Formación | Litología | Dureza de la roca | superficie (Ha.) |
|--------------------------|--|-------------------|------------------|
| Sierra Madre y Angostura | Calizas, calizas dolomitizadas y calcarenitas | dura | 16 000 |
| Intrusivos | Diorita | | 1 600 |
| Mompuyil | Lutitas, areniscas, calcarenitas y calizas | media | 30 670 |
| Lomut | Areniscas, calizas, limolitas y conglomerados | | 19 500 |
| El Bosque | Conglomerados, areniscas, areniscas conglomeráticas y lutitas | | 6 127 |
| Simojovel | Lutitas, areniscas y areniscas conglomeráticas | Suave | 22 500 |
| Soyaló | Lutitas, areniscas, areniscas conglomeráticas, margas, calcarenitas y calcilutitas | | 4 000 |
| Rocas volcánicas | Tobas y lahares de composición andesítica | | 120 |
| No consolidados | Depósitos de talud y aluviones | | 100 517 |
| | | | |

1.4. Descripción del Proyecto

El arreglo actual de las obras civiles del P. H. Chicoasén II comprende una cortina de sección gravedad, con la corona a la elevación 210 S. M. (Sistema Malpaso); la casa de máquinas será exterior y se construirá como parte del cuerpo de la cortina, alojará 3 unidades tipo Kaplan para una capacidad instalada de 300 MW. La subestación eléctrica se sitúa en la margen derecha, aguas arriba del arroyo La Pila, con la plataforma a la elevación 235 SM.

Para el desvío del Río Grijalva se construirán las ataguías de materiales de aluvión y enrocamiento, la de aguas arriba con la corona a la elevación 208.5, mientras que la de aguas abajo tendrá la corona a la cota 193 m, el cauce del río será desviado por la margen derecha a través de un túnel, que posteriormente tendrá la función de vertedor, la obra de excedencias de mayor dimensión se sitúa en el canal de margen izquierda con un ancho de 52,5 m y 250 m de longitud aproximada, con una estructura de control compuesta por tres compuertas radiales de 15.5 m de ancho.



Esquema de obra del P. H. Chicoasén II

CAPÍTULO II

Importancia del Estudio Geológico - Geotécnico en Proyectos Hidroeléctricos

II.1. Hidroelectricidad en México

La hidroelectricidad constituye una parte muy importante en el volumen total de la energía generada mundialmente y la porción mayor de la energía renovable. A nivel mundial representa aproximadamente el 24 % de la producción de energía; en México para el año 2008 la participación de las hidroeléctricas en la capacidad instalada para la generación de energía eléctrica alcanzó un 22.19 % con un total de 11,343 MW (INEGI, 2010). La geotermia es la otra energía renovable más desarrollada en el país. Hasta hoy el aprovechamiento hidroeléctrico ha sido a través de grandes presas como Chicoasén en Chiapas (la de mayor capacidad instalada con 2,400 MW), y más recientemente El Cajón y La Yesca, ambas en Nayarit, en el occidente del país. Sin embargo, aún existe un gran potencial a desarrollar, sobre todo a nivel de pequeñas presas, siendo este último estimado en 3,200 MW a desarrollar en los estados de Chiapas, Veracruz, Puebla y Tabasco. Es en este contexto que la exploración geológica-geofísica para determinar la ubicación de las mejores alternativas a los proyectos adquiere gran relevancia.

En México hay 64 Centrales Hidroeléctricas, de las cuales 20 son consideradas grandes presas por su tamaño y 44 son centrales pequeñas. De acuerdo a los registros de la Comisión Federal de Electricidad, las plantas hidroeléctricas más antiguas en el país y que siguen generando son dos: Botello en Panindícuaro, Michoacán (13 MW) y Colotlipa en Chultenango, Gro. (8 MW); ambas entraron en operación en 1910. Las grandes obras de generación hidroeléctrica que hasta la fecha generan más electricidad se desarrollaron en los años 80 del siglo pasado

en la cuenca del río Grijalva en Chiapas y desde los años 1990 hasta fechas recientes, en el occidente del país, en la cuenca del río Santiago.

II.2. Etapas de Estudio en Proyectos Hidroeléctricos

Una vez que se ha llevado a cabo el balance hidroenergético de una cuenca y se han seleccionado los segmentos del río aprovechables para construir presas hidroeléctricas (etapas de gran visión e identificación) tiene lugar una segunda fase de estudios necesarios para construir una planta hidroeléctrica. Estos a su vez se dividen en cuatro etapas: 1) Pre-factibilidad, 2) Factibilidad, 3) Pre-construcción o Apoyo a diseño y 4) Construcción. Los trabajos de topografía, exploración geológica y geofísica se llevan a cabo principalmente en las tres primeras, mientras que en la etapa de construcción la geotecnia se encarga de la solución a los problemas geológicos encontrados principalmente a nivel local. El propósito final de las investigaciones de ingeniería básica del proyecto hidroeléctrico propuesto es asegurar que se construya en el tiempo previsto y al menor costo, pero que a la vez reúna una serie de condiciones de seguridad estándar (estabilidad, resistencia ante los sismos esperados, sismicidad inducida mínima, entre otras), así como de rentabilidad (niveles de almacenamiento que aseguren la generación prevista por el diseño) y una vida útil, que para efectos de cálculo económico, debe ser de 30 años cuando menos, aunque se espera que continúe en operación por mucho más tiempo. En la etapa de la construcción como se mencionó la tarea de la geología y geotecnia es el seguimiento y control de la obra para proponer la solución a los problemas encontrados, principalmente durante la excavación de las obras subterráneas y superficiales, a la vez que se va afinando con más detalle el modelo geológico, esto es, el conocimiento de la litología y la estructura geológica, así como las propiedades geomecánicas del macizo.

II.3. Métodos de Exploración

El objetivo de la exploración es obtener un modelo geológico lo más claro posible, que sirva para caracterizar el sitio geotécnicamente y planificar, presupuestar y realizar el diseño estructural de las obras, así como obtener suficiente información para establecer un proyecto seguro y económico. La administración del riesgo geológico y sus consecuencias económicas, las que pueden dar lugar a grandes pérdidas, más allá de la reparación física de la obra, depende totalmente de una buena investigación del sitio. Al hablar del monitoreo instrumental geotécnico de obras, se menciona como condiciones difíciles de detectar (con los métodos de exploración) la presencia de lentes de material blando, zonas de alta compresibilidad y bolsones de alta presión de poro, las que pueden ocasionar alguna falla en las obras. De lo anterior puede observarse la necesidad e importancia de la exploración ya que inclusive para la ubicación de las zonas de monitoreo deben seguirse criterios que están basados en la exploración directa, indirecta o ambas.

Se considerará la exploración directa del sitio por medio de trabajos de barrenación (sondeos exploratorios), pruebas geotécnicas de permeabilidad en pozos y la excavación de galerías o socavones. La barrenación es un gran soporte para definir el modelo estratigráfico y estructural del sitio de la obra, y para conocer algunos parámetros geotécnicos básicos para el diseño de la obra y debe llevarse a cabo en ambos márgenes y en el cauce del río en los sitios de mayor interés, de acuerdo a la localización de las obras. Los objetivos del muestreo del sitio con barrenos exploratorios con recuperación de núcleos por lo general incluyen el conocimiento de varios de los siguientes aspectos: estratificación bajo el sitio, variaciones verticales o laterales de las condiciones del subsuelo, obtención de muestras para ensayos de laboratorio, verificación de la interpretación de mediciones geofísicas, y colocación de instrumentos *in situ* para la realización de pruebas geotécnicas, geofísicas y geohidrológicas. La interpretación de las pruebas permite anticipar zonas donde se presentarán condiciones de inestabilidad. Las pruebas geotécnicas de permeabilidad en los

pozos mediante la inyección de agua a presión constituyen una parte importante del volumen de la exploración directa y van enfocadas a conocer la competencia del macizo y su capacidad para facilitar o impedir las fugas de agua de la presa.

Las galerías o socavones se realizan fundamentalmente en las etapas de pre-construcción para definir con mayor precisión el marco geológico local en factibilidad y algunas zonas, en ambos márgenes del río donde es necesario investigar cuestiones de importancia fundamental para la obra como la posible continuidad de zonas de fractura, mapeo de los principales sistemas de falla en el sitio, investigación de propiedades geomecánicas de las rocas *in situ*, etc. Por sus dimensiones y costo, la localización de estas obras se decide con base en la información obtenida previamente con barrenos, rasgos topográficos, trincheras y levantamientos geofísicos.

En cuanto a los estudios geohidrológicos, las pruebas de permeabilidad e infiltración a nivel semirregional constituyen un aspecto fundamental en la factibilidad del proyecto dado que las pérdidas de agua por infiltración deben ser mínimas. El cierre hidráulico del vaso de la presa requiere la certeza de que las permeabilidades de las rocas involucradas y de la cortina sean bajas. Otro aspecto importante es la determinación de los niveles de agua subterránea, las fluctuaciones y las superficies de flujo o drenaje. La instalación de piezómetros en los barrenos exploratorios permite el estudio de las variables mencionadas.

La principal tarea de la investigación geofísica en el sitio para una presa es definir los contactos entre las unidades geológicas, la localización de zonas de falla cubiertas por sedimentos y suelo en las laderas, las velocidades sísmicas y los parámetros elásticos dinámicos de las rocas en ambos márgenes del río donde se construirá la obra. En esta tarea el método sísmico de refracción es la principal herramienta para el estudio y en segundo lugar el método geo-eléctrico, el que ayuda a complementar el modelo geológico al indicar condiciones como la presencia de zonas de falla, cuerpos de agua, mineralización, zonas arcillosas y carsticidad; asimismo este método ayuda a la mejor caracterización de las

posibles litologías y materiales presentes en el sitio. Por lo anterior, para el análisis de los costos por la exploración indirecta a través de la geofísica, se considerarán únicamente la técnica del tendido de refracción sísmica (TRS) y la del sondeo eléctrico vertical (SEV) como los métodos indispensables en la exploración del subsuelo en sitios de presas. Entre las técnicas geofísicas que eventualmente se llegan a utilizar para la exploración indirecta y semi-indirecta (en pozo) se pueden mencionar además las siguientes: tomografía eléctrica, cross-hole, tomografía sísmica entre pozos, gravimetría, magnetometría y registros geofísicos de pozo. La importancia de los métodos geofísicos en la exploración indirecta es tal que puede significar ahorros considerables al detectar zonas de debilidad con riesgos de posible derrumbe en el trazo de túneles los que pueden interferir con el trazo inicial de las obras y ocasionar modificaciones sustanciales a los diseños y, por lo tanto, la elevación de los costos. Asimismo, la determinación de la calidad de la roca por métodos geofísicos permite la elección de la maquinaria más adecuada para la excavación y orienta a la localización de los puntos en donde conviene realizar la barrenación.

II.4. Problemas y Daños en las Presas Hidroeléctricas

El desplome o fisuras considerables en una presa hidroeléctrica es un aspecto técnico muy importante por su costo humano y económico que debería evitarse a toda costa. En la etapa operativa es cuando estas fallas pueden ser potencialmente catastróficas por una resistencia insuficiente ante sismos, huracanes, lluvias extraordinarias y deslizamientos. Estrictamente, los problemas en las presas hidroeléctricas se deben a errores en el diseño o a modificaciones sustanciales del diseño por el constructor. Sin embargo, estas causas de falla se pueden remitir a errores cometidos desde las etapas de la planeación y construcción que no permitieron una visión suficientemente completa y detallada del marco geológico y geohidrológico en el sitio de la obra y sus interacciones con la obra misma.

Los errores en las etapas previas a la construcción se pueden resumir principalmente en un muestreo inadecuado, irregular y/o insuficiente de las condiciones geológicas del sitio (litología, presencia de fallas y zonas de debilidad, resistencia mecánica, carsticidad, variables geohidrológicas, etc.), así como de sus parámetros geofísicos asociados (velocidad sísmica, módulos elásticos y resistividad eléctrica principalmente) en el área regional y local considerada para el proyecto. Durante la etapa constructiva del proyecto pueden presentarse problemas imprevistos por las deficiencias mencionadas durante la exploración en las etapas previas y que, si no se corrigen, pueden contribuir en menor o mayor proporción a problemas durante la etapa operativa que en casos extremos pudieran conducir a la falla.

A continuación se transcriben tres fragmentos al respecto tomados de la Comisión Internacional de Grandes Presas.

- Las investigaciones geológicas deben ser tan completas como sea posible para obtener el conocimiento completo del sitio con la mayor precisión.
- En estructuras geológicas complicadas, en forma previa a la contratación de la construcción y con el fin de obtener un diseño apropiado, es recomendable realizar excavaciones de las partes alteradas con la finalidad de clarificar las dudas posibles sobre los tipos de cimentaciones más adecuadas.
- Los diseños se deben basar en información real y no en datos teóricos o en aquellos tomados de investigaciones limitadas.

La siguiente Tabla muestra un resumen de los datos estadísticos de fallas en presas en el mundo conocidas hasta 1995 y se puede observar que el mayor número de fallas se deben a desbordamientos, tubificaciones y filtraciones, lo que muestra la insuficiencia de la información con la que se llevaron a cabo los análisis de diseño y la construcción de la obra. En el caso de levantamientos se presentan pocas fallas, aunque no deja de ser importante. Otros factores mencionados en la Tabla tienen que ver más directamente con lo inadecuado de la investigación del

sitio, lo que conduce a asentamientos e inestabilidades. Lo anterior demuestra la importancia de la exploración de los sitios de desplante de las obras, sobre todo en aquellas zonas de gran complejidad geológica, así como en la selección de los mejores sitios o alternativas.

| Causa de falla | No. de Casos |
|---|--------------|
| Flujo excesivo/drenaje insuficiente | 5 |
| Deslizamiento laderas | 4 |
| Mal comportamiento estructuras vertedor | 6 |
| Colocación/compactación materiales cortina | 11 |
| Levantamiento | 4 |
| Retraso construcción | 4 |
| Falla cimentación/deformación y subsidencia | 11 |
| Licuefacción | 2 |
| Precipitación no prevista/mal diseño o investigación inadecuada | 8 |
| Ruptura de la presa | 8 |
| Sismo | 3 |
| Filtraciones | 14 |
| Tubificación | 36 |
| Insuficiencia vertedor | 7 |
| Desbordamiento | 45 |
| Erosión interna | 9 |
| Total | 177 |

Ocurrencia de fallas en presas por tipo en los siglos XIX y XX

CAPÍTULO III

Control Topográfico, Horizontal y Vertical en el Sitio de Estudio del P. H. Chicoasén II

Los levantamientos de control determinan con precisión las posiciones horizontal y vertical de puntos (ej.: mojoneas) que servirán de referencia. Estos sirven para dar origen o comprobación a levantamientos de trabajos topográficos, cartográficos, deslindes, en la planeación y proyectos de vías terrestres y de construcciones diversas.

III.1. Antecedentes

Las actividades previas al establecimiento del control topográfico de la zona de estudio; fue la de recopilar toda la información de referencias topográficas y/o geodésicas de la zona de influencia del proyecto; abarcando ésta, las áreas de la zona de boquilla y embalse, así como, la exploración para las disciplinas de Geología, Geofísica, Perforación y Mecánica de Suelos y Rocas.

En el año 2011 el Centro de Anteproyectos Golfo (CAG), contrató realizar un vuelo LIDAR en la zona de estudio, donde el sistema de coordenadas utilizado para estos trabajos fue el UTM, ya que está regido por un marco de referencia el (INEGI), fue la solicitud realizada por el CAG.

Para ello la GEIC a través del Departamento de Topografía se dio la tarea de realizar la verificación del mismo, resultando 100 planos Esc. 1:1000. Posteriormente transformado al Sistema Ortogonal. Este levantamiento se tomó como base topográfica para el estudio geológico – geotécnico del proyecto.

III.2. Reconocimiento y Amojonamiento

Se llevó a cabo un reconocimiento preliminar de campo, con el objeto de conocer las condiciones generales de la zona donde se desarrollaron los trabajos, permitiendo con ello una mejor planeación y desarrollo del estudio, en el reconocimiento del sitio se localizaron tres mojoneras MOJ-4, MOJ-5 Y MOJ-9, en la margen derecha del río, de la campaña de 1995, de las cuales solo la M-9 estaba aun en buenas condiciones. Debido a esto, se construyó una mojonera en margen izquierda que se le denominó MI-1, teniendo ya dos vértices para el control horizontal primario.

III.3. Establecimiento de Control Horizontal

III.3.1. Control Primario

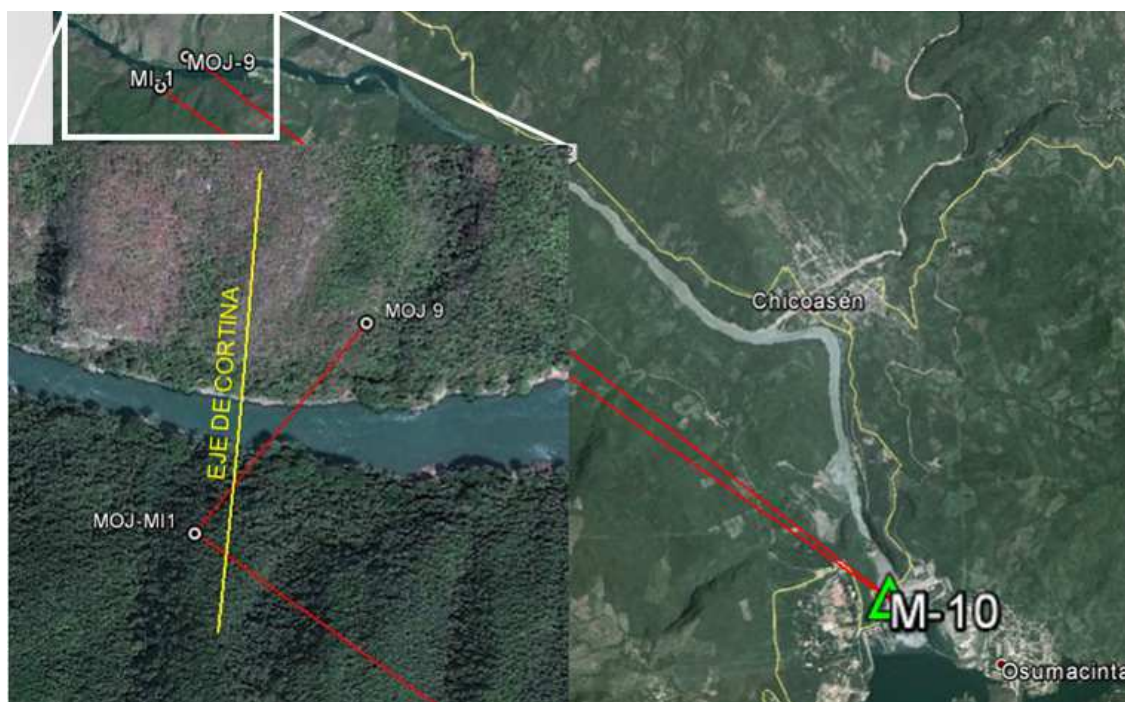
Para el establecimiento del Control Básico Horizontal se partió de un vértice llamado M-10 que está en la cortina de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (C.H. Chicoasén), que este fue ligado anteriormente a la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) del INEGI, tomando como base el vértice (VIL2).



VIL2

| COORDENADAS GEOGRÁFICAS DEL VÉRTICE VIL2 | | | |
|--|---------------------|---------------------|-------------------|
| NOMBRE | LATITUD | LONGITUD | ALT ELIPSOIDAL |
| VIL2 | 17° 59' 25.47706" N | 92° 55' 51.94738" W | 27.720 |

El Centro de Resultados del Departamento de Topografía de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil (GEIC), cuenta con lineamientos básicos para llevar a cabo los levantamientos topográficos de control horizontal, estos levantamientos son ya sea para realizarlos o supervisar. Estos lineamientos se describen en el procedimiento DTO-08 Levantamientos Topográficos de Control Horizontal, en donde para establecer el Control Horizontal de Primer Orden, preferentemente se harán con métodos y equipos de posicionamiento global por satélite (GPS), Con la metodología de diferencial estático, utilizando el procedimiento DTO-030 “Aplicación de la Modalidad Estático con Equipos GPS”, la cual consiste en captar información por el lapso mínimo de 60 minutos por vértice, para asegurar que los resultados obtenidos estuvieran dentro de los estándares de exactitud posicional establecidos en la norma técnica NTG002_2010, del INEGI (círculo de error probable dentro del nivel de confianza del 95%).



Para determinar la posición de nuevos vértices MI-1 Y MOJ-9 en el sitio de estudio. Primeramente se colocó un equipo GPS en el vértice M-10 que sirvió como base y posteriormente uno a la vez en 7 las mojoneras MI-1 y MOJ-9,

recibiendo señales satelitales durante una hora con un intervalos de registro a cada cinco segundos en cada vértice.

Para la obtención de las coordenadas se procesaron los datos crudos que generan los equipos receptores GPS empleando el programa LEICA Geo Office Combinado versión 7.0.1.

Como resultado se obtuvo la tabla de coordenadas geográficas y coordenadas en proyección UTM en el sistema ITRF92, ligado a la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) y utilizando el modelo Geoidal EGM-08.

| CONTROL BÁSICO PH CHICOASÉN II UTILIZANDO EL MODELO GEOIDAL EGM-08 | | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|------------|-------------|------------|----------|
| VÉRTICE | LATITUD | LONGITUD | X UTM | Y UTM | ALT. GEOD. | A. ORTO. |
| M10 | 16° 56' 29.43851" N | 93° 06' 05.09375" W | 489201.719 | 1873087.46 | 388.250 | 393.402 |
| MI-1 | 16° 59' 03.05232" N | 93° 09' 56.05823" W | 482374.511 | 1877812.522 | 258.150 | 263.457 |
| MOJ-9 | 16° 59' 12.39486" N | 93° 09' 48.09574" W | 482610.202 | 1878099.413 | 216.855 | 222.165 |

Para calcular las coordenadas ortogonales, se tomó como origen las coordenadas de proyección UTM del vértice MI-1 y tomando el azimut geodésico la línea base entre los vértices MI-1 y M-10, se dedujo el ángulo horizontal de la diferencia de coordenadas entre el vértice base a cada uno de los vértices posicionados y la distancia horizontal deducida de la distancia elipsoidal resultado de la diferencia de coordenadas geodésicas, resultando la siguiente tabla.

| COORDENADAS ORTOGONALES DE VERTICES DEL P.H. CHICOASÉN II | | | |
|---|-------------|---------------|---------|
| VERTICE | X ORTO | Y ORTO | Z ORTO |
| M-10 | 489,207.221 | 1,873,088.873 | 393.402 |
| MI-1 | 482,374.511 | 1,877,812.522 | 263.457 |
| MOJ-9 | 482,610.180 | 1,878,099.648 | 222.165 |

III.3.2. Ubicación de Mojoneras de Primer Orden

Con el fin de contar con mojoneras permanentes y no sean afectadas por los trabajos futuros de la construcción, se construyeron en el sitio de boquilla dos mojoneras de primer orden (CH1 Y CH2), estratégicamente ubicada para

establecer el control topográfico básico en la zona de boquilla. Apoyados en las mojoneras (MI-1 y MOJ-9), establecidas con equipo GPS. Se procedió a realizar un par de poligonales cerradas involucrando las nuevas mojoneras conforme al procedimiento DTO-008 "Levantamientos Topográficos de Control Horizontal".

La obtención de ángulos horizontales y verticales se hizo por repeticiones, obteniendo seis series de lecturas horizontales y verticales en 24 posiciones del anteojo, directa e inversa (método de direcciones de Bessel), y con la finalidad de anular el error por refracción y curvatura terrestre, las mediciones fueron reciprocas y simultaneas por línea. Para la obtención de distancias se realizaron mediciones reciprocas con tres repeticiones también en cada sentido de la línea, además al momento se obtuvo la presión atmosférica y temperatura ambiente en cada vértice, elementos que se requieren para corregir las distancias. Las mediciones fueron realizadas con dos estaciones totales marca Leica, una modelo TC805 con precisión angular de 5" y la otra modelo TCR1203 con una precisión angular de 3". En la siguiente figura se representa la forma en que se realizaron las mediciones:

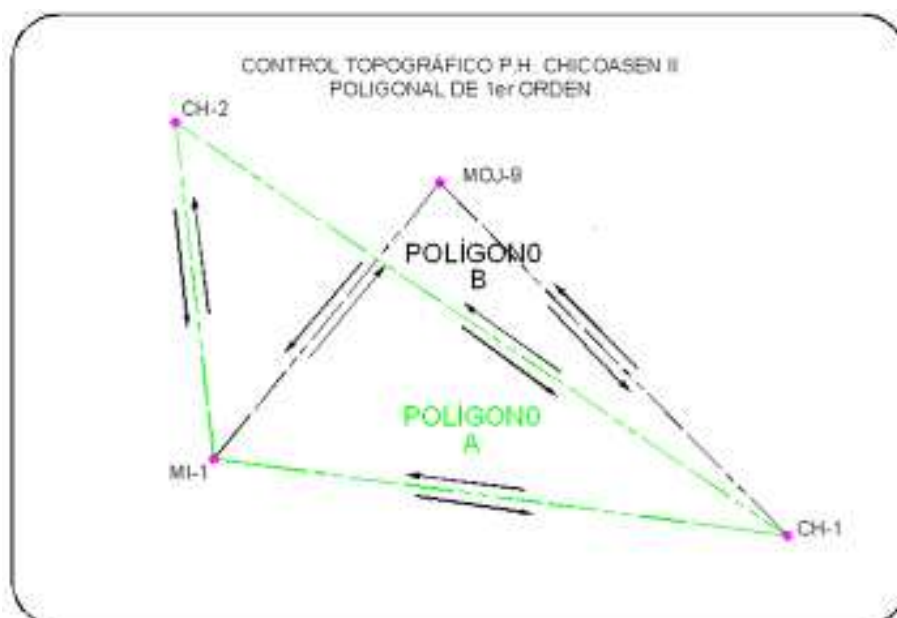


Figura esquemática de poligonales

Las mojoneras de esta campaña 2012 fueron construidas a base de concreto con dimensiones de 1.20x1.20x0.20m de base y un pedestal circular de 0.30m de diámetro, por 1.20m de altura, con una brida empotrada para la colocación de los equipos topográficos y realizar todo tipo de medición para los futuros trabajos a realizar durante la construcción del proyecto. Este tipo de mojoneras se les denomina “mojonera de centrado forzoso” ya que elimina el posible error que se tenga al centrar el equipo topográfico.



Mojoneras Control Básico “P.H. Chicoasén II”

A las poligonales se les denominaron: polígono A y B, sus precisiones fueron 1:123,560.87, 1:100,486.91 respectivamente, los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

| EST. | P.V. | DIR/ RECP | DISTANCIA INCLINADA | TEMPERATURA | PRESION ATMOSFERICA | DISTANCIA CORREGIDA |
|-------|-------|--------------|------------------------|-------------|------------------------|------------------------|
| CH-2 | CH-1 | D | 769.078 | 35 | 1016 | 769.093 |
| CH-2 | MI-1 | R | 353.045 | 35 | 1016 | 353.052 |
| MOJ-9 | CH-1 | D | 518.482 | 35 | 1016 | 518.493 |
| MOJ-9 | MI-1 | R | 373.765 | 32 | 1016 | 373.772 |
| CH-1 | CH-2 | D | 769.086 | 28 | 1013 | 769.098 |
| CH-1 | MOJ-9 | D | 518.47 | 22.5 | 1013 | 518.475 |
| CH-1 | MI-1 | R | 603.059 | 25.5 | 1013 | 603.066 |
| MI-1 | CH-2 | R | 353.058 | 26.5 | 1018 | 353.062 |
| MI-1 | MOJ-9 | R | 373.721 | 26.5 | 1018 | 373.725 |
| MI-1 | CH-1 | D | 603.065 | 27 | 1019 | 603.073 |

Corrección de distancias por presión atmosférica y temperatura

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
DEPTO. DE TOPOGRAFIA

CALCULO DE DESNIVELES
POLIGONO "A"

| ESTACION | P.V. | DIST. INCL. | ANG. VERT. | A.A. | A.B. | DIST. HORZ. | DESNIVEL | DIST. INC. R. | ANG. VERT. R. | A.A. | A.B. | DIST. HORZ. R. | DESNIVEL R. | D.H. PROM. | DESN. PROM. | ELEVACION |
|----------|-------|-------------|------------|-------|-------|-------------|----------|---------------|---------------|-------|-------|----------------|-------------|------------|-------------|-----------|
| MI-1 | CH-1 | 603.073 | 88.3818 | 1.334 | 0.241 | 602.902 | 15.423 | 603.0662 | 91.204 | 0.237 | 1.586 | 602.9001 | -15.4968 | 602.901 | 15.461 | 287.757 |
| CH-1 | MOJ-9 | 518.475 | 96.1006 | 0.237 | 1.3 | 515.473 | -56.774 | 518.4925 | 83.463 | 1.199 | 0.241 | 515.4641 | 56.7282 | 515.479 | -56.751 | 231.006 |
| MOJ-9 | MI-1 | 373.772 | 83.356 | 1.196 | 1.586 | 371.442 | 41.274 | 373.7252 | 96.2053 | 1.334 | 1.3 | 371.4337 | -41.2862 | 371.438 | 41.281 | 272.287 |

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
DEPTO. DE TOPOGRAFIA

CALCULO DE POLIGONAL CERRADA

PRYECTO: CHICOASEN II, POLIGONO "A"

| EST. | P.V. | ANG. HORZ. | ANG. VER. | D.J. | A.A. | A.B. | DIST. HORZ. | DESNIVEL | AZIMUT | VERTICE | X | Y | Z |
|-------|-------|------------|-----------|---------|------|------|-------------|----------|----------|---------|------------|--------------|--------|
| MI-1 | CH-1 | 58.1427 | 90.0000 | 602.901 | 1.00 | 1.00 | 602.901 | 15.461 | 97.371 | MI-1 | 482,374.51 | 1,877,812.52 | 272.30 |
| CH-1 | MOJ-9 | 37.4658 | 90.0000 | 515.479 | 1.00 | 1.00 | 515.479 | -56.7512 | 315.2408 | MOJ-9 | 482,610.16 | 1,878,099.64 | 287.76 |
| MOJ-9 | MI-1 | 83.5828 | 90.0000 | 371.438 | 1.00 | 1.00 | 371.438 | 41.2812 | 219.2236 | MI-1 | 482,374.51 | 1,877,812.52 | 272.29 |

ERROR EN X = 0.0011 KX= 0.000001

ERROR EN Y = -0.012 KY= -0.000008

LONGITUD = 1489.618

ERROR LINEAL = 0.0121

PRECISION 1 : 123560.87

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 DEPTO. DE TOPOGRAFIA

CALCULO DE DESNIVELES
 POLIGONO " B "

| EST. | P.V. | DIST. INCL. | ANG. VERT. | A.A. | A.B. | DIST. HORZ. | DESNIVEL | DIST. INC. R. | ANG. VERT. R. | A.A. | A.B. | DIST. HORZ. R. | DESNIVEL R. | D.H. PROM. | DESN. PROM. | ELEVACION |
|------|------|-------------|------------|-------|-------|-------------|----------|---------------|---------------|-------|-------|----------------|-------------|------------|-------------|-----------|
| | | | | | | | | | | | | | | | Z= | 287.767 |
| CH-1 | CH-2 | 769.098 | 89.1817 | 0.238 | 0.214 | 769.038 | 9.803 | 769.0934 | 90.4411 | 0.238 | 0.241 | 769.0299 | -9.889 | 769.033 | 9.846 | 297.613 |
| CH-2 | MI-1 | 353.052 | 90.5338 | 0.236 | 1.566 | 352.237 | -25.325 | 353.0621 | 86.0413 | 1.334 | 0.214 | 352.2321 | 25.316 | 352.235 | -25.320 | 272.293 |
| MI-1 | CH-1 | 603.073 | 88.3818 | 1.334 | 0.241 | 602.902 | 15.423 | 603.0682 | 91.204 | 0.237 | 1.566 | 602.9001 | -15.499 | 602.901 | 15.461 | 287.754 |

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 DEPTO. DE TOPOGRAFIA

CALCULO DE POLIGONAL CERRADA
 PRYECTO: CHICOASEN II, POLIGONO "B"

| E ST. | P.V. | ANG. HORZ. | ANG. VER. | D.J. | A.A. | A.B. | DIST. HORZ. | DESNIVEL | AZIMUT | VERTICE | X | Y | Z |
|-------|------|------------|-----------|------|------|------|-------------|----------|----------|---------|------------|--------------|----------|
| CH-1 | CH-2 | 26.2159 | 90.0000 | | 1.00 | 1.00 | 769.033 | 769.033 | 97.3710 | CH-1 | 482.972.12 | 1.877.732.58 | 287.77 |
| CH-2 | MI-1 | 49.2851 | 90.0000 | | 1.00 | 1.00 | 352.235 | 352.235 | 303.5909 | CH-2 | 482.334.46 | 1.878.162.46 | 1,056.80 |
| MI-1 | CH-1 | 104.0902 | 90.0000 | | 1.00 | 1.00 | 602.901 | 602.901 | 173.2800 | MI-1 | 482.374.54 | 1.877.812.51 | 1,409.03 |
| | | | | | | | | | 97.3702 | CH-1 | 482.972.12 | 1.877.732.58 | 2,011.94 |

ERROR EN X = -0.0041 $KX=$ -0.000002

ERROR EN Y = 0.0167 $KY=$ 0.00001

LONGITUD = 1724.168

ERROR LINEAL = 0.0172

PRECISION 1 : 100486.91

III.4. Establecimiento del Control Vertical

Para el control vertical se utilizó como banco de nivel patrón la placa localizada en la entrada de casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (C. H. Chicoasén), denominada PST-7, con una elevación de 211.003 m perteneciente al Sistema Malpaso y que está referido a la Central. Las cuatro presas existentes sobre el Río Grijalva están referidas a este sistema de elevaciones, motivo por el cual se utilizó este mismo. Para ello fue necesario realizar una “Nivelación Diferencial” desde este vértice hasta la zona de estudios del P. H. Chicoasén II.



Banco de nivel Patrón “PST-7” en Casa de Maquinas, C.H. Chicoasén.

La razón de realizar una nivelación diferencial es que, en la nivelación una de las causas principales de propagación del error está en proporción directa con la raíz cuadrada de la distancia mientras que con otras técnicas, como la nivelación trigonométrica y el GPS, la propagación de error se da principalmente en proporción de la distancia. Esa particularidad se cumple en distancias mayores a 1 km. Consecuentemente, diferentes tipos de clase y orden, se asignan de acuerdo a la técnica utilizada para la obtención de la altura. Por ejemplo:

Cuando se utilice GPS para determinar la altura de un punto, la desviación estándar de las observaciones del valor altura deberá ser menor o igual al máximo valor aceptable de r , utilizando la siguiente fórmula:

$$r = c (d + 0,2) \quad (a)$$

En donde:

r = Error máximo aceptable, en mm.

c = Factor empírico derivado según la clase particular del levantamiento

d = Distancia a una estación, en km.

Los valores de r para GPS y nivelación trigonométrica son considerados como desviaciones estándar. En la siguiente tabla se muestran los valores de c según el orden del levantamiento.

| Orden | Valor de c para 1σ |
|-------|------------------------------|
| 1 | 7.5 |
| 2 | 15.0 |
| 3 | 30.0 |

Valores de c

Ahora, para los levantamientos de nivelación diferencial, la precisión o el error máximo, en el caso de la nivelación diferencial de 1er. Orden, se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Precisión} = \pm 0.004\sqrt{K} \quad (b)$$

En donde:

K = es la longitud en Km. de la nivelación

En la siguiente tabla se muestran las tolerancias permitidas tanto para nivelaciones con GPS y la nivelación diferencial para cada kilómetro. Sustituyendo los valores a sus respectivas fórmulas (a) y (b). En la cual se observa que la tolerancia en GPS aumenta 7mm por cada km, mientras que con la nivelación diferencial aumenta 1.3mm por esta razón se opta por esta última.

| Distancia en km | GPS | Nivelación Diferencial |
|-----------------|--------|------------------------|
| 1 | 0.0090 | 0.0040 |
| 2 | 0.0165 | 0.0056 |
| 3 | 0.0230 | 0.0069 |

Tolerancias de Precisión

III.4.1. Nivelación Diferencial

La Nivelación Diferencial es un levantamiento topográfico mediante el cual se determina el desnivel entre dos puntos.

Clasificación de Nivelaciones

De 1er Grado.- Exactitud requerida de $\pm 4 \text{ mm } (\sqrt{K})$, utilizada generalmente para establecer el control vertical de la Red Geodésica Nacional, siendo ésta, responsabilidad del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

De 2º Grado:

CLASE I.- Exactitud requerida $\pm 6 \text{ mm } (\sqrt{K})$, se emplea para establecer bancos de nivel patrones un proyecto, efectuar visuales no mayores de 50 metros.

CLASE II.- Exactitud requerida $\pm 8 \text{ mm } (\sqrt{K})$, se emplea para densificar, a partir de un banco de nivel patrón, el control vertical a las áreas de obras civiles en los proyectos en los proyectos o sitios de interés del estudio, efectuar visuales no mayores de 75 metros.

De 3er grado.- Exactitud requerida $\pm 12 \text{ mm } (\sqrt{K})$, se emplea para densificar el control vertical, su uso no es recomendable en coberturas mayores a 20 km y no sirve como dato de nivel, del que dependan directamente las obras civiles, las visuales en condiciones favorables no deben exceder los 100 metros.

Métodos de Nivelación

Dependiendo de los objetivos proyecto, y una vez establecido el grado de exactitud necesario en éste, la nivelación se desarrolla mediante cualquiera de los siguientes métodos.

Circuito Cerrado.- Nivelación que se realiza a partir de un banco de nivel con elevación conocida y una vez hecho el levantamiento de ida, deberá comprobarse su exactitud nivelando de regreso al mismo banco de nivel de partida.

Vinculación o Ligue.- Nivelación que se realiza entre dos bancos de nivel, previamente establecidos, de mayor o igual exactitud que la requerida.

Nivelación abierta.- Nivelación que se realiza en un solo sentido, a partir de un banco de nivel con elevación conocida, se deberá comprobar por la técnica de doble altura de aparato o por la técnica de tres hilos.

Técnicas de Nivelación

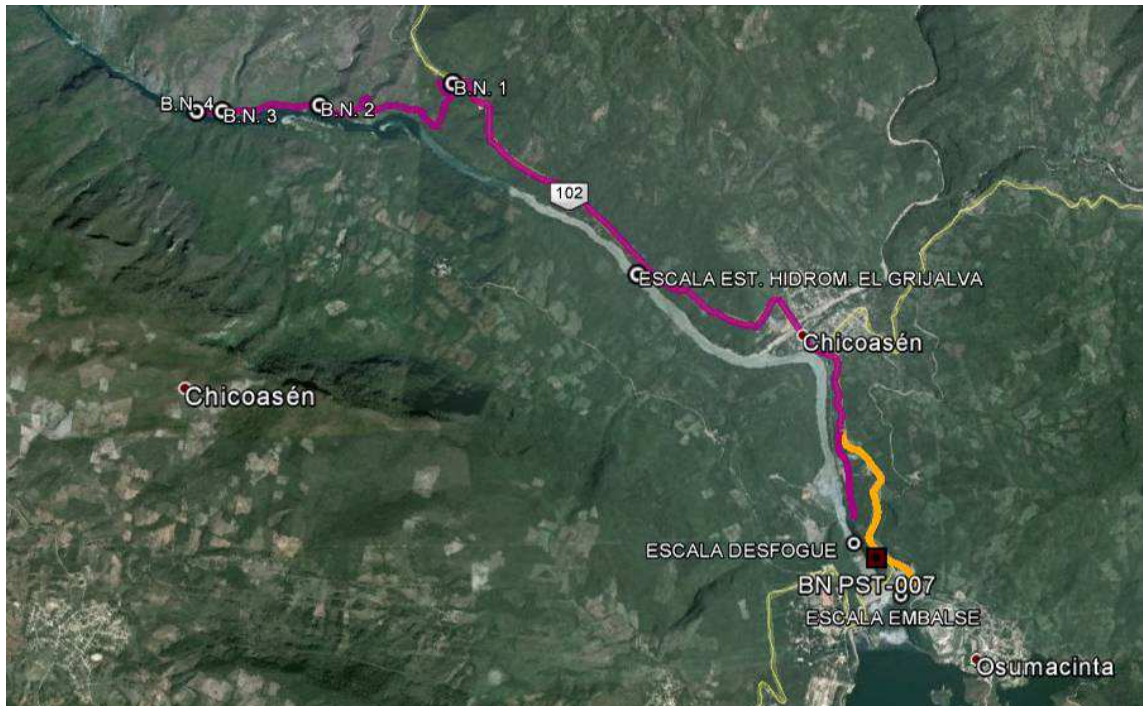
Doble Altura de Aparato.- Prácticamente se trata de llevar dos nivelaciones a la vez, aprovechando dos estadales, los cuales se ubican uno en cada banco de nivel o punto de ligue, se toman las lecturas atrás y adelante, se registran en la libreta de campo y dejando los estadales en donde mismo, se mueve de lugar el nivel para obtener una nueva altura de aparato, se toman de nuevo las lecturas y se promedian obteniendo así el desnivel del punto de adelante.

De los Tres Hilos.- Se utilizan los tres hilos estadimétricos horizontales con que cuentan algunos modelos de niveles fijos, (superior, medio e inferior), se leen en el estadal y se registran los valores de cada uno de ellos, el valor resultado del promedio de las tres lecturas será el que tomará en cuenta. Para reducir los efectos causados por refracción y curvatura, debe de haber equidistancia entre ambas visuales.

Recorrido de Nivelación

El inicio de la nivelación, el 0+000 fue la placa denominada PST-7, en el recorrido para establecer el sistema de elevaciones en el sitio de estudio, se realizaron ramificaciones para verificar la escala del embalse, la escala del desfogue de la Central y la escala de la Estación Hidrométrica “El Grijalva”.

Con respecto a la escala del embalse el recorrido fue de 4+000 y 0+800 a la del desfogue. Y a la Estación Hidrométrica Grijalva el recorrido fue 5+000, finalmente hasta el P.H. Chicoasén II el recorrido fue de 11+800.



Recorrido de la Nivelación

El método de la nivelación empleado fue el de circuito cerrado (ida y vuelta), de acuerdo al procedimiento DTO-011 “Ejecución de Nivelaciones Diferenciales Utilizando Nivel Fijo”. Se establecieron bancos de nivel auxiliares a cada 500 m, y 6 bancos de nivel permanentes. El primer banco de nivel se localiza enfrente de la escala del desfogue, el segundo se encuentra en la Estación Hidrométrica Grijalva, el B.N. 1 en el entronque de la carretera estatal No. 102 con brecha de acceso al sitio del proyecto, el B.N. 2 al inicio de la vereda que conduce al proyecto, el B.N. 3 a 20 m antes del puente colgante en construcción y el B.N. 4 a 200 m aproximadamente aguas abajo del eje de cortina del P.H. Chicoasén II.

Calculo de Datos

El cálculo de la nivelación se realizó en tramos de 0.50 km, comprobando el cierre ida y vuelta verificando que se cumpliera la condición $\pm 0.004(\sqrt{K})$, donde k se expresa en kilómetros, quedando la mayoría de los casos por debajo de esta, de tal manera que al calcular la nivelación en el total de recorrido (21+600) se obtuvo una exactitud mejorando la condición $\pm 0.004(\sqrt{K})$. A continuación se da un ejemplo de cómo se calcularon las elevaciones de los bancos auxiliares (PL's) a cada 0.5km, hasta llegar a los bancos de nivel del proyecto y las escalas antes mencionadas.

| NIVELACIÓN DIFERENCIAL DE PRIMER ORDEN | | | | | | |
|---|-------------------|----------|----------|------------|-----------|------------------------|
| CASA DE MAQUINAS CHICOASÉN - ESCALA P.H. CHICOASÉN II | | | | | | |
| EDO CHIAPAS | | | | | | |
| DE KM | A KM | DESNIVEL | CIERRE | DES. PROM. | ELEVACIÓN | ESTACIÓN |
| | | | | | 211.003 | PST-7 |
| BN PST-7 | PL-1 | 19.11986 | | | | |
| PL-1 | BN PST-7 | -19.1167 | 0.00316 | 19.11828 | 230.12128 | PL-1 |
| PL-1 | PL-2 | 7.69153 | | | | |
| PL-2 | PL-1 | -7.69314 | -0.00161 | 7.69234 | 237.81362 | PL-2 |
| PL-2 | PL-3 | -8.1202 | | | | |
| PL-3 | PL-2 | 8.12062 | 0.00042 | -8.12041 | 229.69321 | PL-3 |
| BN-3 | BN-4 | -7.70307 | | | | |
| BN-4 | BN-3 | 7.70362 | 0.00055 | -7.70335 | 193.3184 | BN-4 |
| BN-4 | B.N. ESCALA | -1.64847 | | | | |
| B.N. ESCALA | BN-4 | 1.64912 | 0.00065 | -1.6488 | 191.66961 | B.N. ESCALA |
| B.N. ESCALA | ESC. CHICOASÉN II | -1.67147 | | | | |
| ESC. CHICOASÉN II | B.N. ESCALA | 1.67057 | -0.0009 | -1.67102 | 189.99859 | ESC. P.H. CHICOASÉN II |

$$\begin{array}{lcl}
 K= & 11+800 & \\
 \text{FORMULA DE 1ER ORDEN} & & \\
 0.004(\sqrt{K}) & = & 0.00172 \\
 & & \text{TOLERANCIA} \\
 & & 0.01374 \\
 & & \text{DIFERENCIA} \\
 & & 0.01202
 \end{array}$$

III.4.2 Resultados

En las siguientes tablas se muestran las precisiones alcanzadas en cada tramo de la nivelación diferencial y las elevaciones de los bancos de nivel establecidos en el P.H. Chicoasén II.

| TRAMO | DESARROLLO DE NIVELACIÓN EN KM. | PRECISIÓN ESPERADA $\pm 4\text{mm}(\sqrt{K})$ | PRECISIÓN OBTENIDA |
|-------------------------------------|---------------------------------|---|--------------------|
| PST-7 - ESCALA DESFOGUE CHICOASÉN | 0.80 | 0.00358 | 0.00460 |
| PST-7 - ESCALA EMBALSE CHICOASÉN | 4.00 | 0.00800 | 0.00434 |
| PST-7 - ESCALA EST. HIDRO. GRIJALVA | 5.00 | 0.00894 | 0.00909 |
| PST-7 - ESCALA P.H. CHICOASÉN 2 | 11.80 | 0.01374 | 0.00172 |

TOTAL: 21.60

| B.N. PERMANENTES | ELEVACION (SISTEMA MALPASO) |
|---------------------------|--------------------------------|
| PST-7 | 211.003 |
| MOJ. DESFOGUE | 207.727 |
| MOJ. EST. HIDRM. GRIJALVA | 213.035 |
| B. N. 1 | 322.577 |
| B. N. 2 | 196.043 |
| B. N. 3 | 201.022 |
| B. N. 4 | 193.318 |

Bancos de Nivel del P.H. Chicoasén II.

- Nivelación desde Casa de Maquinas hasta Escala de Desfogue.

Calculo de la nivelación de casa de máquinas (PST-007) a la escala ubicada en el desfogue de la C.H. Chicoasén.

| DESNIVEL SEGÚN GENERACION | | DESNIVEL POR NIVELACIÓN DIFERENCIAL A PARTIR DEL B.N. CASA DE MAQUINAS HACIA ESCALA DE DESFOGUE | |
|---------------------------|----------------|---|-----------------|
| B.N. Y/O ESCALA | ELEVACIÓN | B.N. Y/O ESCALA | ELEVACIÓN |
| CASA DE MAQUINAS PST-7 | 211.0030 | CASA DE MAQUINAS PST-7 | 211.00300 |
| ESCALA DESFOGUE | 209.0000 | ESCALA DESFOGUE | 209.00099 |
| DESNIVEL | -2.0030 | DESNIVEL | -2.00201 |

DIFERENCIA DE DESNIVELES = -0.0010

- Nivelación desde Casa de Maquinas hasta Escala del Embalse.

Calculo de la nivelación de casa de máquinas (PST-007) a la escala ubicada en el embalse de la C.H. Chicoasén.

| DESNIVEL SEGÚN GENERACION | | DESNIVEL POR NIVELACIÓN DIFERENCIAL A PARTIR DEL B. N. CASA DE MAQUINAS HACIA ESCALA DE EMBALSE | |
|---------------------------|-----------------|---|------------------|
| B.N. Y/O ESCALA | ELEVACIÓN | B.N. Y/O ESCALA | ELEVACIÓN |
| CASA DE MAQUINAS PST-7 | 211.0030 | CASA DE MAQUINAS PST-7 | 211.00300 |
| ESCALA EMBALSE | 393.0000 | ESCALA EMBALSE | 392.85881 |
| DESNIVEL | 181.9970 | DESNIVEL | 181.85581 |

DIFERENCIA DE DESNIVELES = 0.14119

- Nivelación desde Casa de Maquinas hasta Escala de la Estación Hidrométrica “El Grijalva”.

Calculo de la nivelación de casa de máquinas (PST-007) a la escala ubicada en la estación hidrométrica “El Grijalva”.

| DESNIVEL SEGÚN GENERACION | | DESNIVEL POR NIVELACIÓN DIFERENCIAL A PARTIR DEL B. N. CASA DE MAQUINAS HACIA ESCALA DE EST. HIDROM. GRIJALVA | |
|----------------------------------|------------------|--|------------------|
| B.N. Y/O ESCALA | ELEVACIÓN | B.N. Y/O ESCALA | ELEVACIÓN |
| CASA DE MAQUINAS PST-7 | 211.0030 | CASA DE MAQUINAS PST-7 | 211.0030 |
| ESCALA EST. GJALVA | 203.0000 | ESCALA EST. GJALVA | 202.9000 |
| DESNIVEL | -8.0030 | DESNIVEL | -8.1030 |

DIFERENCIA DE DESNIVELES = 0.1000

CAPÍTULO IV

Topografía Aplicada en el Estudio Geológico – Geotécnico y Apoyo a Otras Disciplinas

Los apoyos para un estudio geológico depende fundamentalmente de los objetivos específicos del propio estudio, en el P.H. Chicoasén II destacan los de topografía, geofísica, perforación (con recuperación de núcleos), sismotectónica y geotecnia (con excavaciones superficiales y subterráneas). A su vez estos deben tener apoyo topográfico de campo y gabinete. En este capítulo se describen los apoyos topográficos realizados a las áreas que intervinieron en el estudio geológico geotécnico del P.H. Chicoasén II. Estas áreas, entre otras son: Geología, geofísica, Perforación, Mecánica de Rocas y Sismotectónica. Cabe mencionar que las actividades de todas áreas van encaminadas a determinar el modelo geológico – geotécnico del sitio, y que el área de geología es la encargada de integrar la información obtenida de todas estas. Topografía a su vez da apoyo de manera directa e indirectamente a todas las áreas que intervienen en el mismo estudio.

IV.1. Configuración Topográfica de Detalle en Sitio de Boquilla

Durante el estacado de los perfiles de apoyo a geofísica, se encontraron diferencias entre las elevaciones tomadas en campo con el levantamiento LiDAR, que van desde los 0.30m a los 0.50m en zonas acantiladas, razón por la cual determinaron realizar una configuración topográfica directa a detalle de la zona de obras, esta zona abarcó una extensión de 30.20 hectáreas (has). La configuración topografía se define como la representación gráfica del relieve de una porción a escala de la superficie terrestre, donde se aprecian con claridad los accidentes naturales o artificiales relevantes del terreno. El método de configuración utilizado fue el de radiaciones.

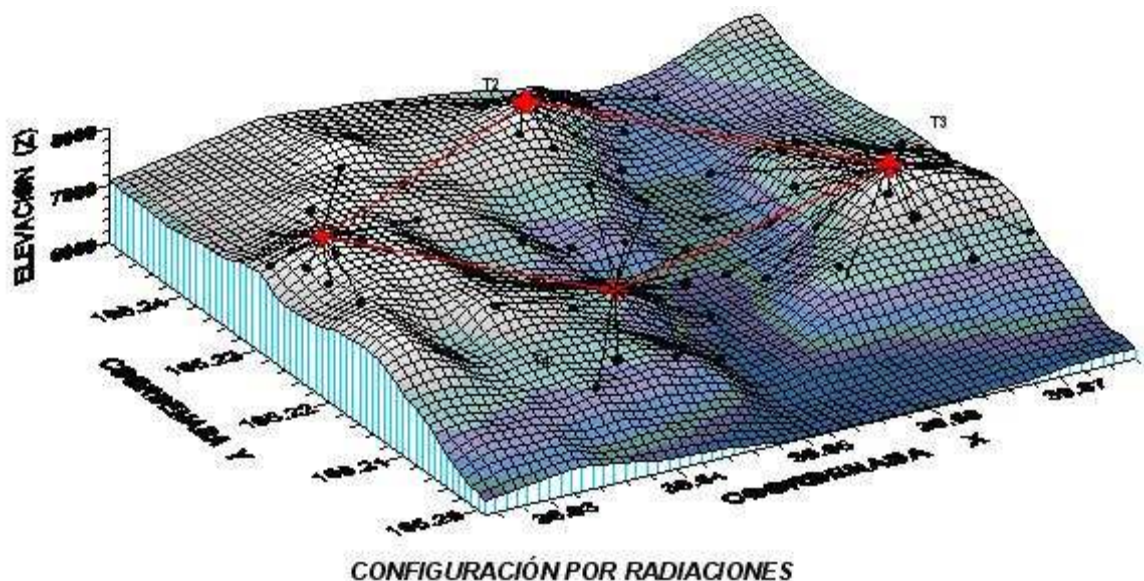
IV.1.1. Métodos para Configuración

Para la formación de una base de datos cuya estructura de puntos represente con fidelidad el relieve del terreno y la planimetría de una superficie dada, existen dos maneras: el método fotogramétrico y la configuración topográfica o terrestre, en ambos casos el objetivo es controlar con exactitud la posición de líneas o puntos sobre una superficie y obtener como resultado el plano topográfico. Los dos métodos más comunes de realizar una configuración topográfica son: radiaciones y seccionamiento.

La elección del más adecuado dependerá de la escala del plano deseada y el tipo de terreno y vegetación sobre el que se va a trabajar, considerando que a menor escala, mayor es la cantidad de datos a coleccionar con la técnica de radiaciones y menor el espaciamiento entre líneas con la técnica de seccionamiento.

Configuración por Radiaciones

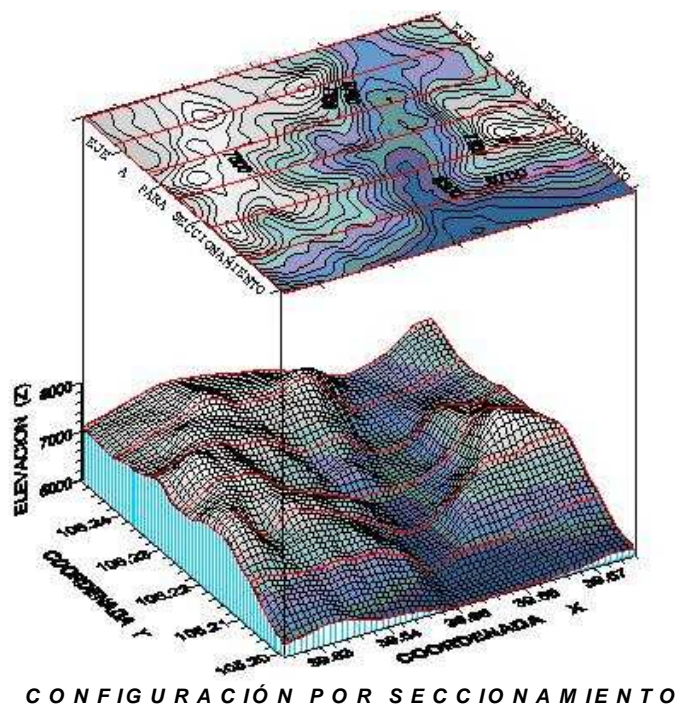
Método en el cual desde puntos de poligonal elegidos de manera estratégica, sobre sitios donde se domine el terreno, se toman en cualquier dirección la cantidad de datos necesarios que representen con detalle la superficie a configurar, densificando tantos puntos como accidentado sea el terreno.



Ésta técnica es idónea para cualquier tipo de terreno relativamente libre de vegetación y es adecuada para el levantamiento de detalles, a escalas que varían desde 1:100 hasta 1:1 000, en este método es condición que los puntos de apoyo formen parte de poligonales cerradas.

Configuración por Seccionamiento

El método de seccionamiento es una serie de líneas equidistantes que se trazan con base a dos ejes extremos, cuya finalidad es que corten preferentemente de manera perpendicular las curvas de nivel en la mayor parte de la superficie de la zona a configurar, se realiza el levantamiento y obtienen los datos de cada sección y se integran con radiaciones complementarias tomadas para obtener detalles localizados entre secciones, (depresiones, cimas, escurrimientos).

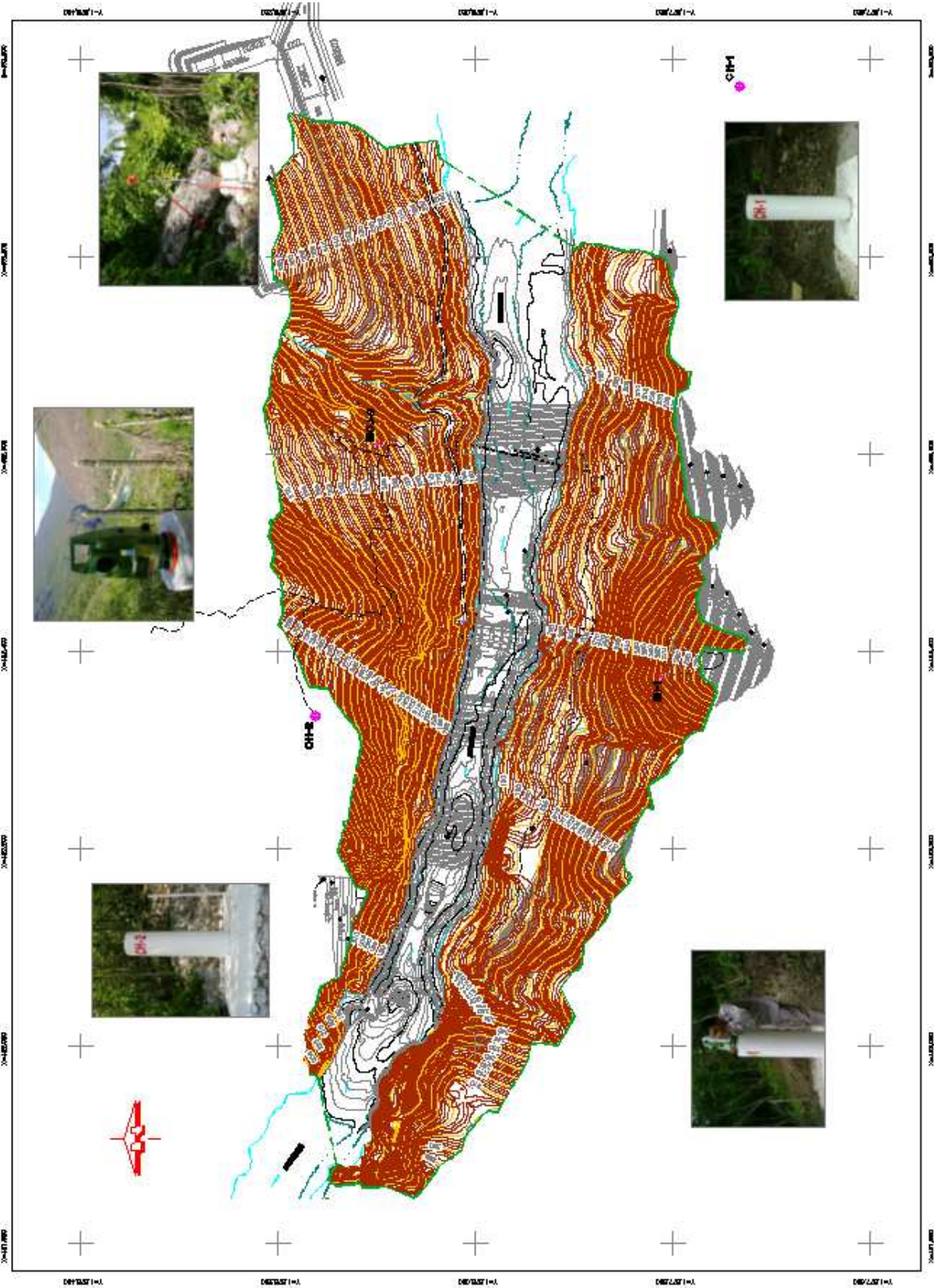


En ambos métodos de configuración la estructura de apoyo en la zona de estudio deberá partir y cerrar en puntos conocidos y establecidos ex-profeso, apegándose a los procedimientos de control horizontal y vertical. El seccionamiento se deberá trazar, nivelar y compensar en los dos ejes extremos que cubran el área de

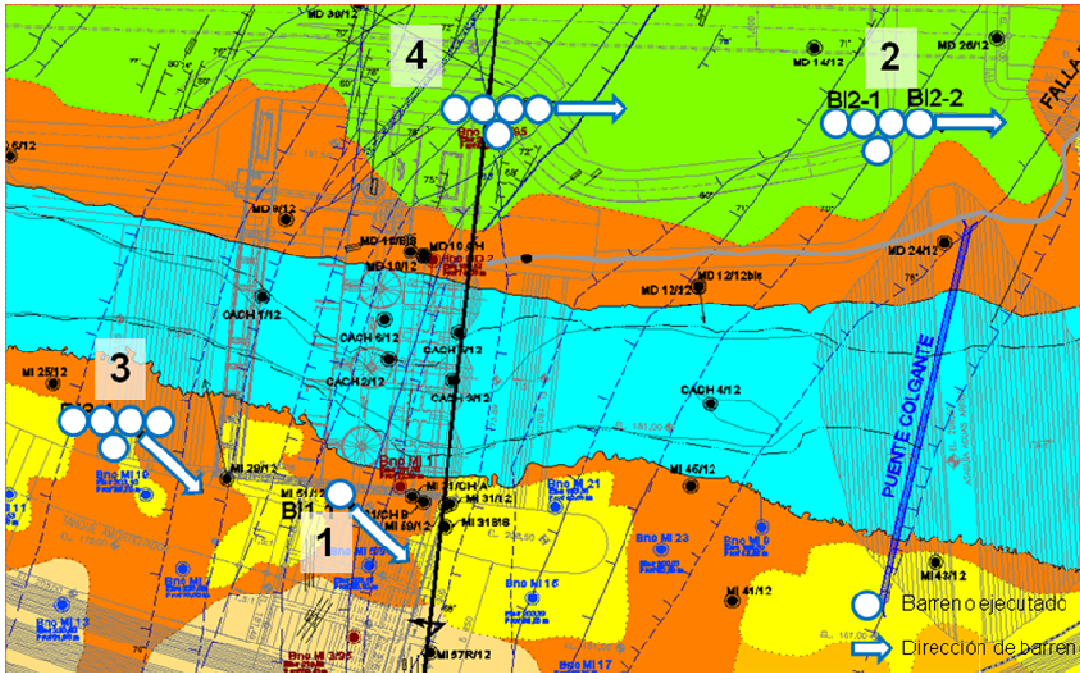
estudio. Estos deben de conformar un cuadrado o rectángulo debidamente compensado en sus aspectos vertical y horizontal, y dividirlo en tantos segmentos como secciones sea necesario, asignando un número consecutivo a cada sección, de la que se conocen sus valores de coordenadas en ambos extremos, en uno deberá iniciar y cerrar en el lado opuesto.

Apoyados con las mojoneras del control básico y por medio de estaciones totales y utilizando el método de radiaciones, se tomaron en cualquier dirección la cantidad de datos necesarios que representaran con detalle el relieve topográfico de la superficie a configurar, estas actividades fueron realizadas apoyados en los vértices del control básico previamente establecido, se ubicaron todos los detalles que se consideraron necesarios (cañadas, caminos, veredas, etc.) y así contar con las suficientes referencias altimétricas para la configuración de curvas de nivel a cada 1,0 m representadas en un plano a escala 1: 500.

Con el proceso de cálculo del levantamiento de detalle se obtuvo la base de datos para obtener la configuración topográfica, posteriormente se utilizó el programa de cómputo Civil CAD para obtener las curvas de nivel y se generaron un total de seis planos escala 1:500 y un plano general escala 1:2000.



Ej. De plano de Configuración Topográfica de Zona de Obras, Escala 1:200



Localización de Sitios de Inyección

IV.3. Apoyo a Geofísica

El Departamento de Geofísica participa mediante métodos indirectos en la exploración del sitio, coadyuvando a validar y complementar los resultados de estudios anteriores para definir el modelo geológico-geotécnico del Proyecto Hidroeléctrico Chicoasén II.

La exploración geofísica está dirigida a la caracterización de los materiales del subsuelo para:

- Determinar los espesores de talud, roca alterada y fracturada en las principales zonas de obra.
- Clasificar los materiales por su velocidad de onda compresional y resistividad eléctrica para fines de cimentación en cada sitio de las obras.

- Contribuir a la definición del modelo geológico-geotécnico de la zona de estudio.

Para los trabajos topográficos realizados a geofísica previamente el jefe del Área entregó al área de Topografía un plano indicando las secciones a trazar en campo. Estas secciones fueron trazadas en ejes de las obras importantes del diseño de proyecto, como el eje de cortina, eje de casa de maquinas, ataguía aguas arriba y aguas abajo, eje de vertedor de excedencias, etc.



Esquema de obras y secciones

El trazo de las secciones se realizó partiendo del control primario, auxiliados con Estaciones Totales, y por el método de radiaciones y en algunos casos por el de seccionamiento. Se realizaron 44 secciones, estacadas a cada 10 metros, aplicando el método de seccionamiento, que consiste en tomar datos de medición

angular tanto vertical como horizontal y de distancia de cada posición que se esté recorriendo, tomando los detalles topográficos intermedios requeridos entre cada estaca.

Una vez con la información de campo se procesan los datos X, Y, Z de cada uno de los puntos que conforman cada sección de Geofísica por medio de programa de cómputo específico y posteriormente dicha información se importa al programa de dibujo y se unen cada uno de los puntos de cada sección por medio de una línea en tres dimensiones (3d poly) y utilizando la herramienta llamada "Civil CAD" se obtienen los perfiles topográficos de dichas líneas o secciones. Estas secciones se ubicaron en toda la zona de boquilla y obras importantes a construir tales como: Túnel de Desvió, Eje de Cortina, Ataguías, Canales de Desvió, Vertedores, Subestación Eléctrica, etc.

IV.3.1. Métodos de Exploración Geofísica

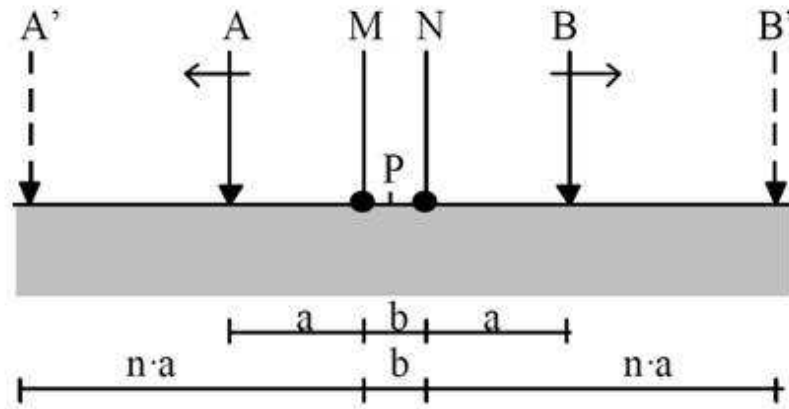
La exploración geofísica se realiza con métodos indirectos, como los son: Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), Tomografía Eléctrica (TM), Tendidos de Refracción Sísmica (TRS) y Radar de Penetración Terrestre (Georadar). Estos sondeos los realiza apoyados del estacado en campo a cada 10m de los perfiles y/o secciones que se ubican en los ejes principales de la obra. Por ejemplo: Eje de cortina, Eje de ataguías aguas abajo y aguas arriba, Vertedor de Excedencias, Obra de Desvío, Subestación, etc.

a) Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Los métodos geoelectrónicos de corriente continua consisten en provocar un flujo de energía eléctrica (I) a través de dos electrodos (A y B) que inyectan al subsuelo la corriente, cuyo campo eléctrico es medido por la diferencia de potencial (ΔV) existente entre otros dos electrodos (M y N).

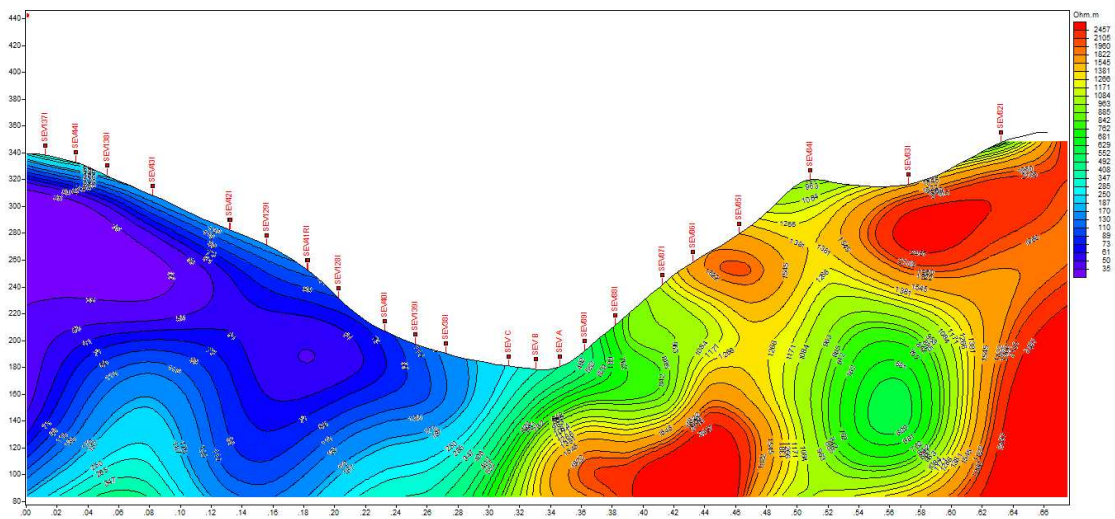
La relación entre las variables I, ΔV considerando el arreglo electródico (K), constituye el parámetro conocido como resistividad aparente. En la técnica del

SEV se hace variar la distancia eléctrica A'B' y MN para investigar diferentes profundidades.



Esquema del arreglo de un SEV.

En la siguiente imagen se muestra la integración de los datos obtenidos por geofísica, ya en la sección proporcionada por el área de topografía.

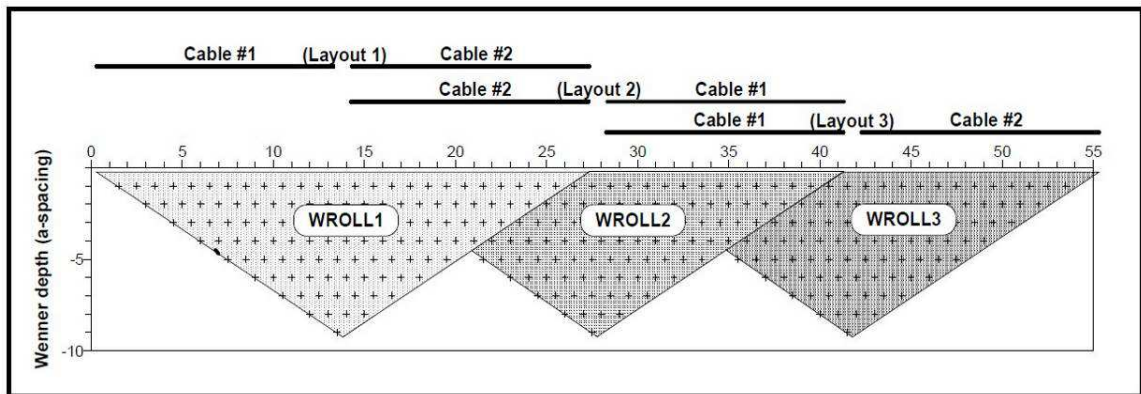


Sección de isorresistividad real sobre el eje de cortina

b) Tomografía Eléctrica (TM)

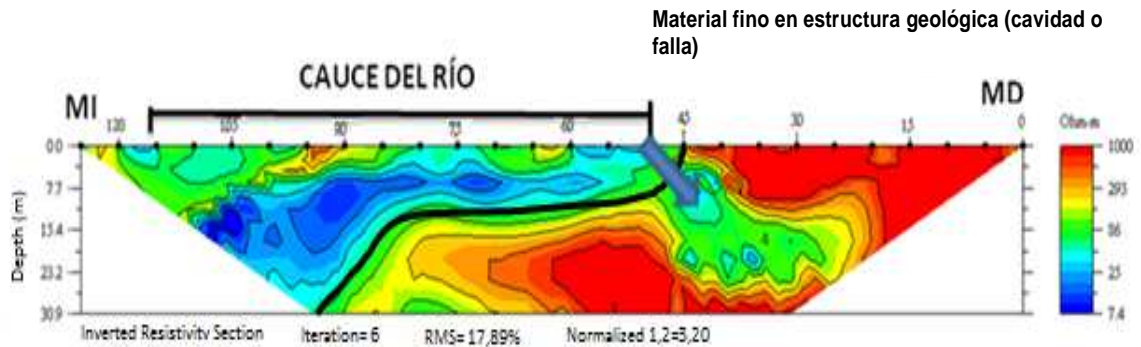
Los arreglos lineales consisten en obtener mediciones de resistividad aparente con un equipo multielectrónico (26 electrodos) y determinar un modelo 2D de resistividades, esto se logra por medio de una inversión matemática de los datos

de campo y permite conocer la distribución de la resistividad en el subsuelo. Los datos de campo se adquirieron mediante un arreglo mixto Schlumberger y Wenner.



Esquema del arreglo de una tomografía eléctrica.

Resultado de la tomografía eléctrica genera una imagen de resistividades, donde se observan espesores de material con la línea negra y una cavidad indicada con una flecha.

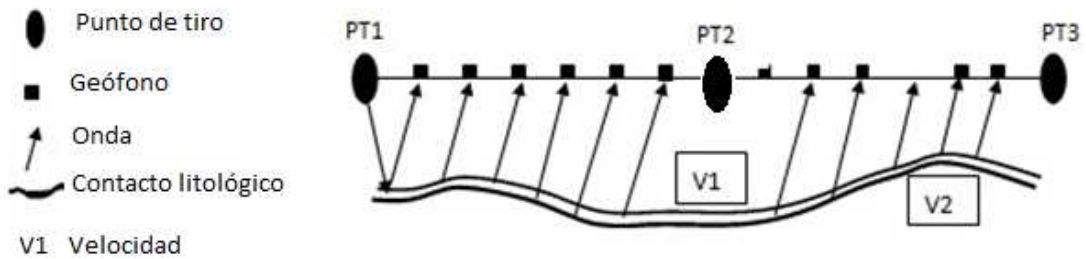


Tomografía eléctrica margen derecha y cauce del río.

c) Tendidos de Refracción Sísmica (TRS)

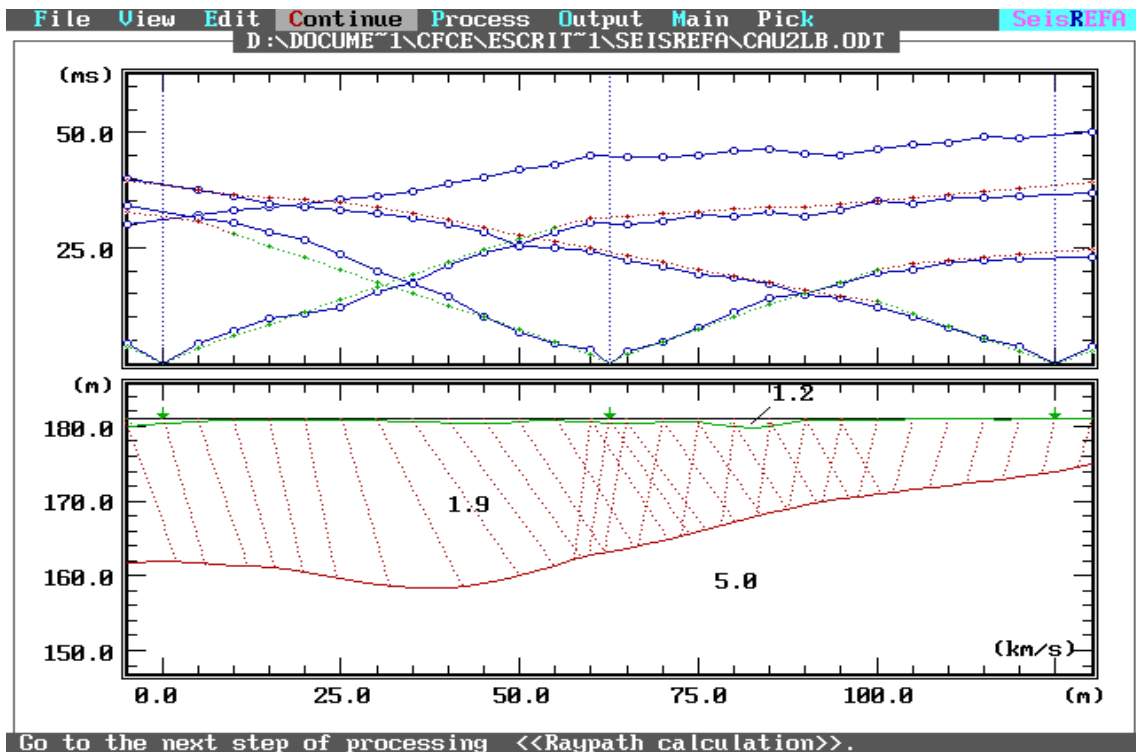
El método de refracción sísmica, está basado en las trayectorias del tiempo mínimo que emplean las ondas elásticas al propagarse desde un punto de la superficie donde son generadas, hasta las diferentes capas del subsuelo y de estas hasta otro punto ubicado en la superficie, en donde son detectadas por una serie de geófonos alineados con la fuente de energía sísmica y transmitidas por

medio de un cable hasta el sismógrafo, que amplifica, filtra y registra las señales en forma digital y en papel (sismogramas).



Esquema del arreglo de un tendido sísmico

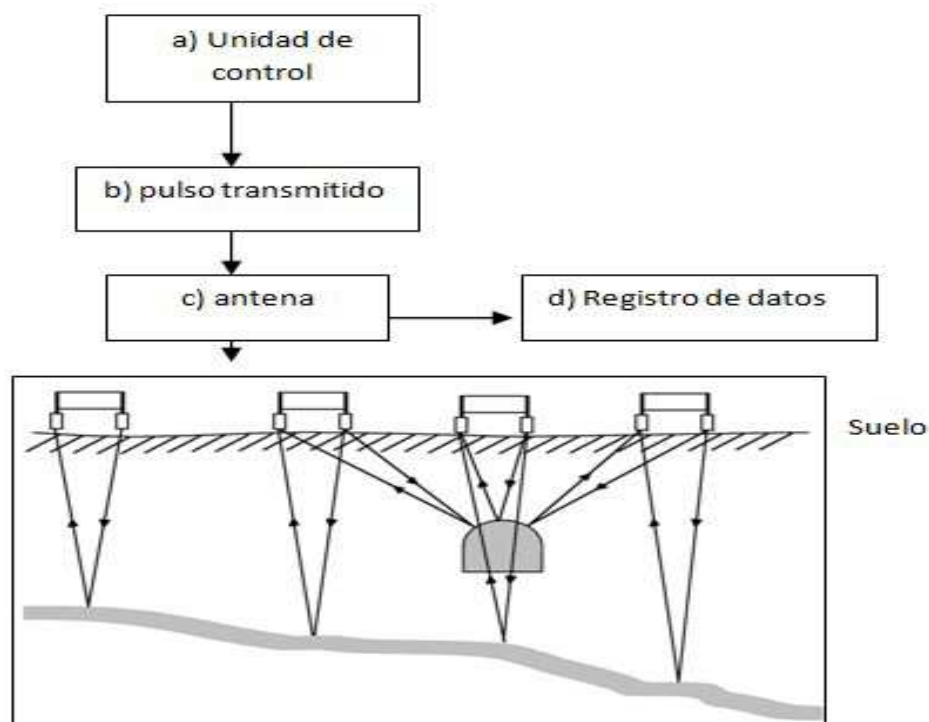
Derivado del análisis se muestra un ejemplo, donde se obtuvo el modelo de velocidad



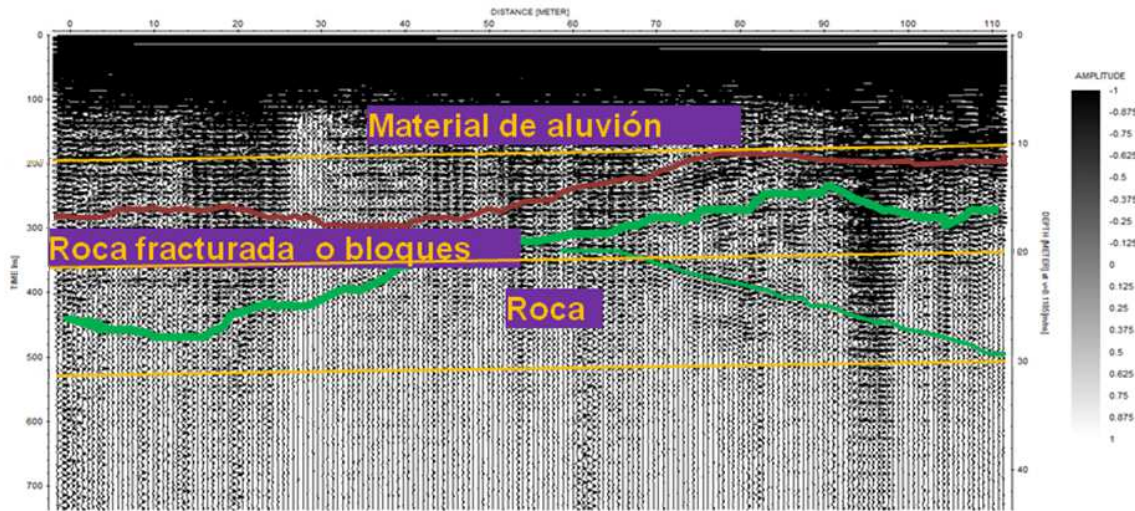
Dromocrónica y modelo de velocidades de onda compresional

d) Radar de Penetración Terrestre (Georadar)

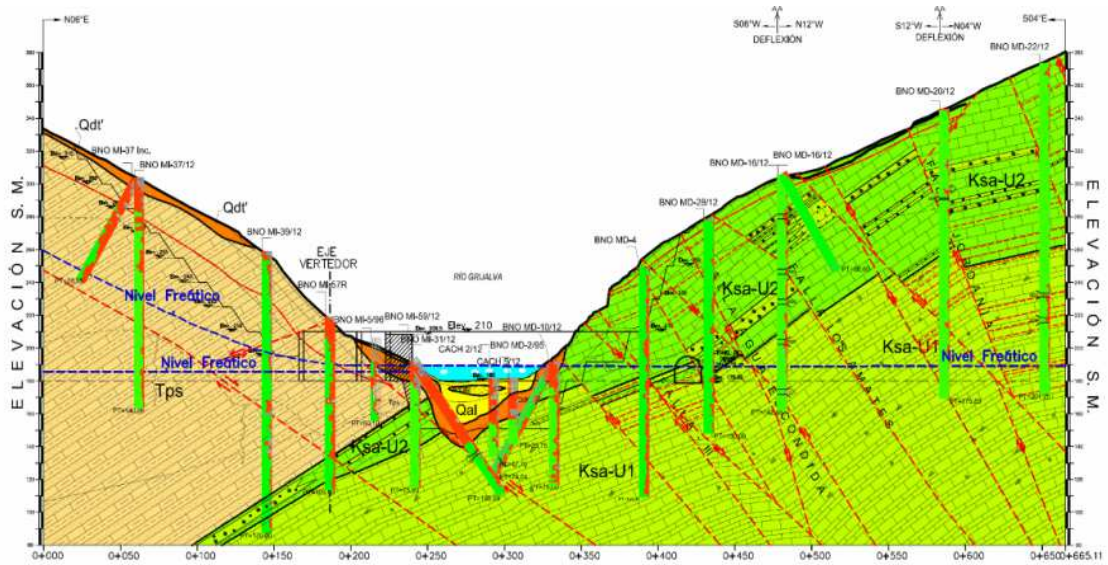
El Radar de Penetración Terrestre (GPR por sus siglas en inglés) es una técnica geofísica estándar para detectar instalaciones subterráneas y horizontes estratigráficos. El principio del método es similar al del método sísmico de reflexión, con la diferencia de que las reflexiones del GPR ocurren donde hay un cambio en la constante dieléctrica de los objetos y/o las capas de la tierra que alteran la velocidad de transmisión de la señal de radar. La profundidad de la adquisición continua de los datos se ejecuta moviendo las antenas de GPR constantemente a lo largo del perfil. La información recolectada se presenta en tiempo real y de manera continua en la pantalla de la computadora, presentándose como una imagen del material subyacente a lo largo de la línea de investigación.



Esquema del arreglo GPR (Georadar).



Radargrama.



Integración de Información Geológica y Geofísica

IV.4. Apoyo a Perforación

La perforación de pozos con recuperación de muestra (núcleo), obedece a la necesidad de contar con un testigo del subsuelo que sea representativo a una profundidad determinada, a fin de sustentar a través de análisis y/o pruebas de laboratorio, composición, calidad, resistencia o características físico-químicas que permitan respaldar la toma de decisiones en las diversas ramas de las Ciencias de la Tierra o la Ingeniería, dependiendo de su objetivo que puede variar con fines de Geotecnia, Geohidrología, Geología, etc.

En el caso de los estudios de geología y geotecnia, se efectúan perforaciones en áreas de interés para recabar información directa del subsuelo y complementar los resultados con otras disciplinas. En estas perforaciones se obtienen núcleos (muestras del macizo rocoso), se realizan pruebas de permeabilidad y en algunos se instalan de piezómetros para observar el comportamiento de niveles freáticos.

En el estudio geológico del P. H. Chicoasén II, el área de perforación realizó, a solicitud de Geología, la perforación de pozos (barrenos) con recuperación de núcleos para la determinación directa de la geología y geotecnia de la zona, en donde geología determinó la ubicación en plano, los barrenos a realizar. El apoyo topográfico a Perforación consintió en la pre localización y posteriormente su localización definitiva de 21 barrenos en la margen izquierda, 24 barrenos en la margen derecha y 6 barrenos en el cause del río, obteniendo sus coordenadas (X, Y, Z). Esto apoyado de control primario y por el método de radiaciones. Se Generó un plano con la ubicación de los barrenos.

| COORDENADAS DE BARRENOS DE LIBRANZA | | | |
|-------------------------------------|------------|--------------|--------|
| BARRENO | X | Y | Z |
| CACH 1/12 | 482,355.20 | 1,877,998.98 | 180.78 |
| CACH 2/12 | 482,400.86 | 1,877,975.49 | 181.59 |
| CACH 3/12 | 482,423.68 | 1,877,967.81 | 181.60 |
| CACH 4/12 | 482,516.63 | 1,877,959.12 | 181.67 |
| CACH 5/12 | 482,426.20 | 1,877,985.60 | 181.59 |
| CACH 6/12 | 482,399.33 | 1,877,990.33 | 181.48 |

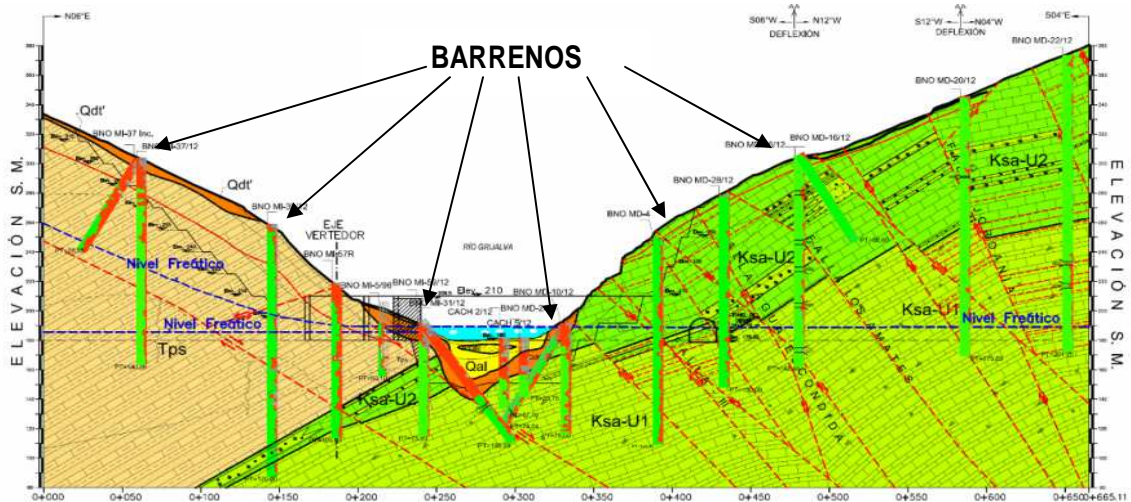
Barrenos en Cause del Río

| COORDENADAS DE BARRENOS DE MARGEN IZQUIERDA | | | | | | | |
|---|------------|--------------|--------|-------------|------------|--------------|--------|
| BARRENO | X | Y | Z | BARRENO | X | Y | Z |
| MI-27/12 | 482,253.56 | 1,877,961.45 | 193.45 | MI-25/12 | 482,279.99 | 1,877,966.79 | 191.40 |
| MI-29/12 | 482,342.57 | 1,877,931.29 | 198.21 | MI-31/12 | 482,423.02 | 1,877,921.86 | 190.60 |
| MI-49/12 | 482,587.26 | 1,877,802.61 | 234.92 | MI-31/12BIS | 482,421.32 | 1,877,913.50 | 195.57 |
| MI-49/12 BIS | 482,590.98 | 1,877,815.59 | 229.66 | MI-31/CHA | 482,409.37 | 1,877,924.73 | 192.12 |
| MI-49/12 TRIS | 482,586.75 | 1,877,800.03 | 235.17 | MI-31/CHB | 482,413.32 | 1,877,922.53 | 191.69 |
| MI-51/12 | 482,381.94 | 1,877,926.41 | 193.13 | MI-35/12 | 482,324.43 | 1,877,848.63 | 228.41 |
| MI-53/12 | 482,105.81 | 1,878,007.36 | 195.27 | MI-37/12 | 482,401.06 | 1,877,743.45 | 303.69 |
| MI-55/12 | 482,208.71 | 1,877,969.31 | 210.32 | MI-37/12 | 482,400.69 | 1,877,741.91 | 303.76 |
| MI-57/12 | 482,415.61 | 1,877,866.71 | 217.97 | MI-39/10 | 482,409.65 | 1,877,826.05 | 258.69 |
| MI-59/12 | 482,421.36 | 1,877,921.21 | 190.99 | MI-41/12 | 482,524.52 | 1,877,885.91 | 205.48 |
| MI-61/12 | 482,406.05 | 1,877,919.82 | 194.76 | | | | |

Barrenos de Margen Izquierda

| COORDENADAS DE BARRENOS DE MARGEN DERECHA | | | | | | | |
|---|------------|--------------|--------|----------|------------|--------------|--------|
| BARRENO | X | Y | Z | BARRENO | X | Y | Z |
| MD-04/12BIS | 482,450.63 | 1,878,069.98 | 250.37 | MD-20/12 | 482,424.12 | 1,878,262.84 | 345.43 |
| MD-6/12 | 482,264.63 | 1,878,051.03 | 191.61 | MD-22/12 | 482,419.33 | 1,878,327.99 | 377.59 |
| MD-8/12 | 482,363.88 | 1,878,027.38 | 193.32 | MD-24/12 | 482,600.98 | 1,878,018.89 | 197.23 |
| MD-10/12 | 482,413.49 | 1,878,013.79 | 191.35 | MD-26/12 | 482,619.73 | 1,878,094.71 | 225.25 |
| MD-10/CH | 482,413.53 | 1,878,014.39 | 191.85 | MD-28/12 | 482,441.57 | 1,878,111.91 | 278.39 |
| MD-10/12 BIS | 482,408.77 | 1,878,015.59 | 191.49 | MD-30/12 | 482,389.68 | 1,878,107.71 | 260.58 |
| MD-12/12 | 482,512.26 | 1,878,002.80 | 192.01 | MD-32/12 | 482,273.63 | 1,878,118.27 | 279.46 |
| MD-12/12 BIS | 482,512.29 | 1,878,002.58 | 191.69 | MD-34/12 | 482,227.38 | 1,878,056.87 | 190.23 |
| MD-14/12 | 482,554.12 | 1,878,091.18 | 234.29 | MD-36/12 | 482,506.42 | 1,878,183.08 | 295.44 |
| MD-16/12 | 482,451.58 | 1,878,159.44 | 304.97 | MD-38/12 | 482,357.51 | 1,878,182.11 | 299.35 |
| MD-16/12 | 482,451.38 | 1,878,159.95 | 304.60 | MD-40/12 | 482,866.69 | 1,878,153.48 | 237.10 |
| MD-18/12 | 482,621.14 | 1,878,142.40 | 245.91 | MD-42/12 | 482,810.22 | 1,878,235.88 | 277.63 |

Barrenos de Margen Derecha



Integración de información de barrenos

IV.5. Apoyo Topográfico en Socavón de Margen Derecha

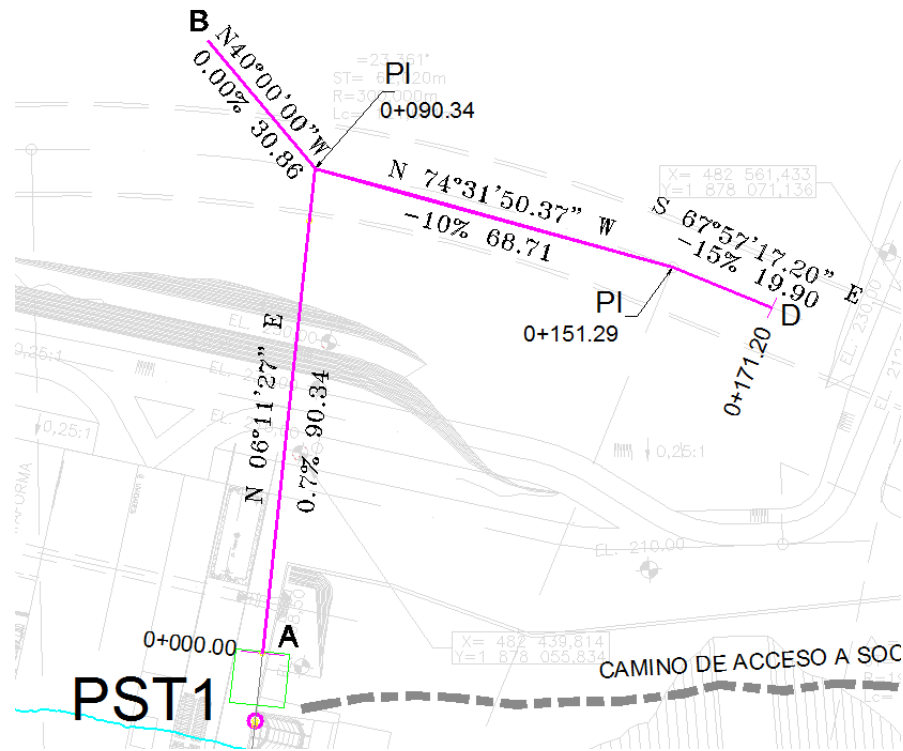
En estudios geológicos frecuentemente se realizan socavones exploratorios, estos se utilizan para determinar las características del macizo rocoso (variaciones litológicas, alteraciones, fallamiento y fracturamiento) y permitir la ejecución de pruebas geotécnicas.

Localización del Socavón

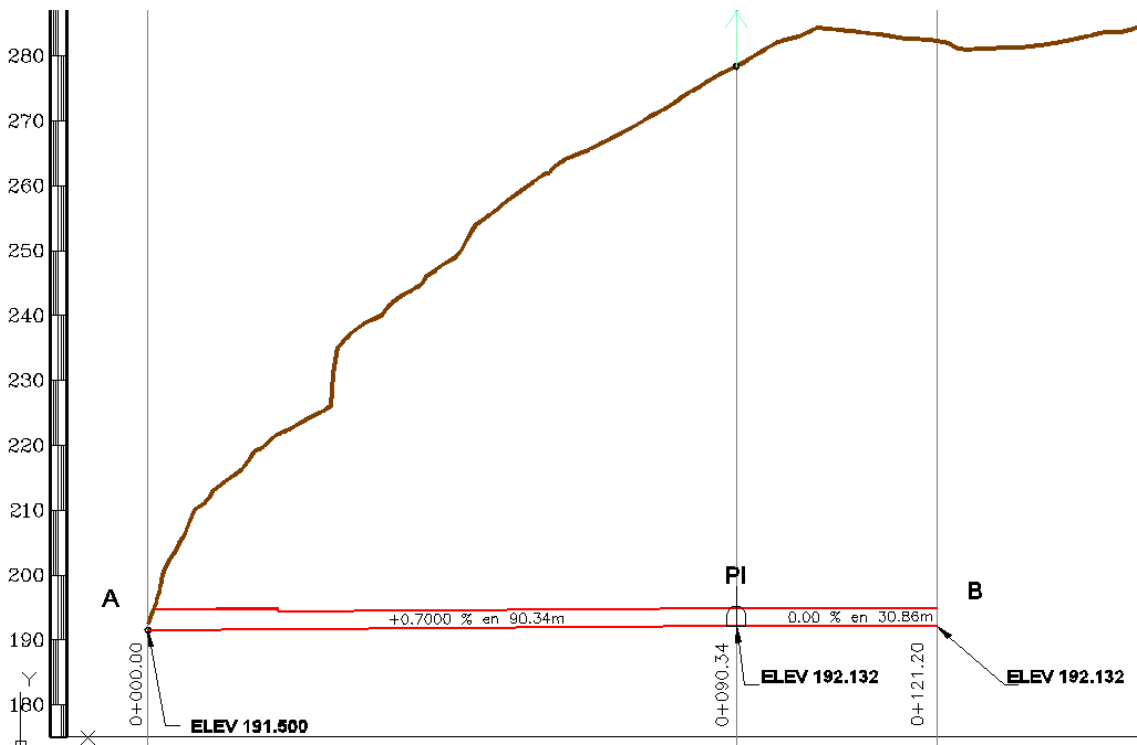
La localización está dada por las necesidades de exploración geológica de la zona, para lo cual el área de Geología determinó que la sección tipo a seguir sería de 3.00x3.00 (tipo portal) y el inicio del piso del socavón fuera la elevación 191.50 m y un rumbo inicial N06°11'26"E, dirección establecida por el Eje de Cortina propuesto con una pendiente de + 0.70% hasta llegar al km 0+094.34, donde se realizó una deflexión para cortar de manera perpendicular las fallas geológicas del sitio, con rumbo N40°W hasta el km 0+121.20 con una pendiente al 0%.

Posteriormente se efectuó otro ramal, el objetivo de este fue llevar la trayectoria del futuro Túnel de Desvío del proyecto, para llevar a cabo esta solicitud, se inició a partir del km 0+081.60 la deflexión con un rumbo de S 74° E y una pendiente de -10% , con la finalidad de llegar a la elevación 180 m que es el piso del Túnel de Desvío Proyectado, pero en el km 0+134, se decidió que se marcara la excavación con una pendiente del -15% para llegar más pronto al objetivo principal el cual no fue posible porque se encontró una fractura geológica y hubo filtraciones, se llegó hasta el km 0+171.20.

También se realizó un nicho en el km 0+060 con rumbo S78°E y una longitud de 0+016 y una pendiente del +2% para estudios de geotecnia, Inyección a la roca y determinar su impermeabilidad. Para llevar a cabo la construcción del socavón fue necesario establecer un control topográfico en el sitio, este se realizó conforme a los procedimientos del Departamento de Topografía (DTO-008 y DTO-011).



Planta del trazo del Socavón

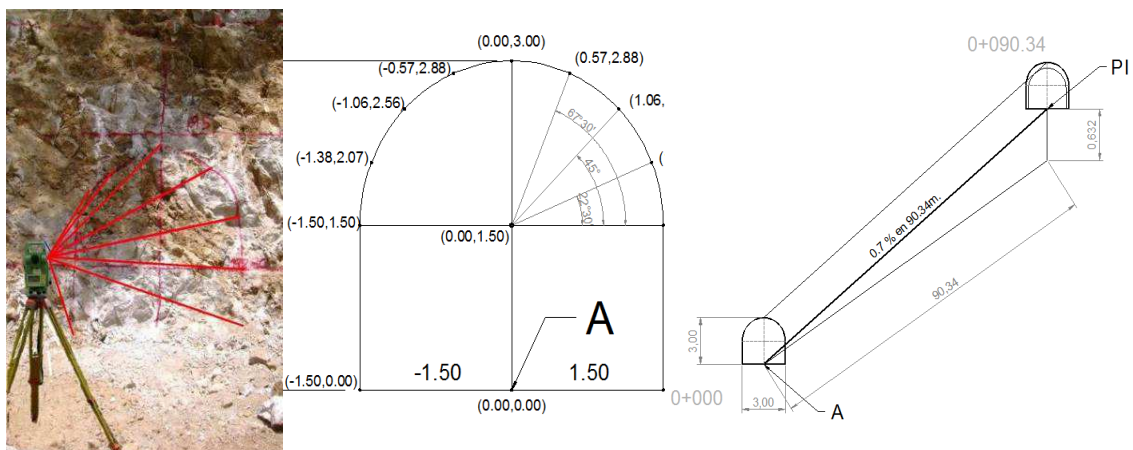


Perfil del Socavón

Emportalamiento

Una vez establecidas las mojoneras en el área de emportalamiento y conociendo los valores de proyecto (0+000), se procedió a su localización física, para la cual inicialmente se pintó el eje sobre el terreno y con esto se inició el despejado del área y retiro del material suelto, hasta llegar a la roca firme en la elevación 191.50.

Ya removido el material superficial, con el apoyo de una Estación Total (Marca Leica, Modelo TCR1203) con medición sin prisma se marcó sobre la roca, con pintura, el eje de proyecto y la sección tipo (3.00x3.00), esto se realizó tantas veces como fuera necesario (debido a las voladuras) hasta concluir el portal de entrada.



Marcado de Emportalamiento, Sección Tipo e Isométrico del Trazo

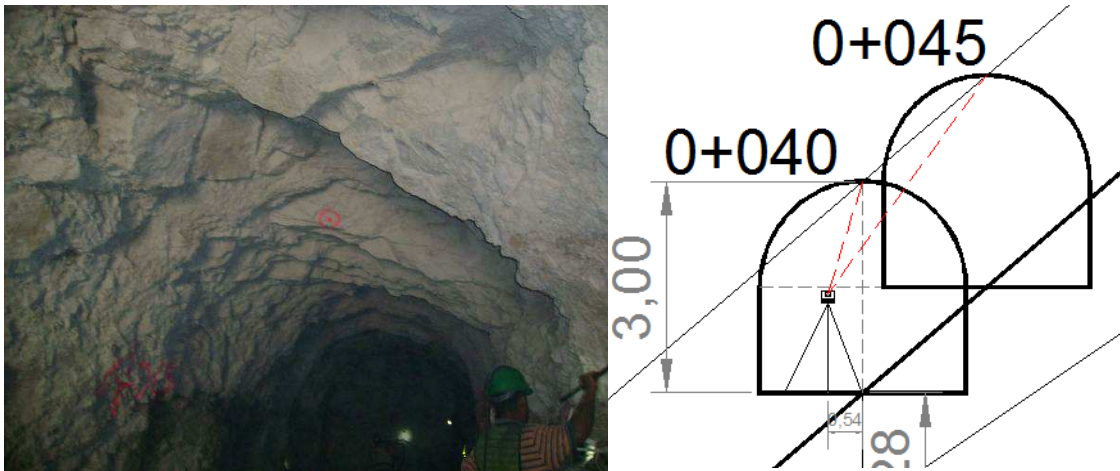
Terminado el emportalamiento y apoyados en la mojonera inicial, se dejó una marca definitiva y visible sobre la parte superior de la sección tipo,

Control de rumbo

De igual forma con el apoyo en la mojonera base y la estación total se ubicó a cada cinco metros, tapones de rumbo, el procedimiento para la ubicación de éstos tapones consistió, primero en marcar con pintura sobre la clave, el punto a perforar en su respectivo cadenamiento; una vez perforado, se introdujo un trompo

sencillo de madera, de 5-6 cm de diámetro por 20 cm de longitud, con punta en un extremo para introducirlo +/- 10 cm sobre un barreno perforado en el cielo en forma inclinada y en sentido al eje, dejando los otros 10 cm para ajustar el cadenamiento cerrado, una vez logrado esto, se puso una pija en la cara saliente cuidando que obligara a la plomada una vez colgada, quedar por su propio peso en una posición única y en el rumbo de alineamiento de la obra.

Estos tapones de rumbo se ubicaron en función al avance de la excavación, ya que los últimos (en sentido de avance) fueron usados para marcar la sección tipo en el frente.



Control de pendiente

En forma simultánea a la instalación de los tapones de rumbo se llevó el control de pendiente, colocando niveles en las tablas del socavón por medio de los tapones ubicados en forma perpendicular al eje de proyecto y en el mismo cadenamiento de cada tapón de rumbo, con lo que se logró que quedaran paralelos al nivel de piso. Esto permitió de que después de la instalación de los tapones de rumbo y pendiente se tuvo la opción de tender hilos de nivel, de una tabla a otra y con la intersección del hilo que pende del tapón de rumbo, se pudieron usar éstos para proyectar el eje de proyecto al frente, prescindiendo momentáneamente del equipo topográfico y disminuyendo la estancia del mismo por tiempos prolongados facilitando así las actividades propias dentro del Socavón, haciendo énfasis que

esto se realizó exclusivamente en tangentes prolongadas y no por más de tres tronadas.



Colocación de tapones

Los trompos (rumbo y pendiente) subsecuentes se colocaron en forma equidistante cada cinco metros hasta la deflexión, curva horizontal y al final de la excavación.

Seccionamiento

Existen varios métodos para el levantamiento de secciones dentro de una obra subterránea, a continuación se plantean tres opciones que son las más idóneas.

- Medición automática por medio de equipo HDS (escáner) para levantamientos de topografía de alta definición.
- Seccionamiento en tres dimensiones con estación total con medición láser sin prisma.
- Seccionamiento por radiaciones (girasol).

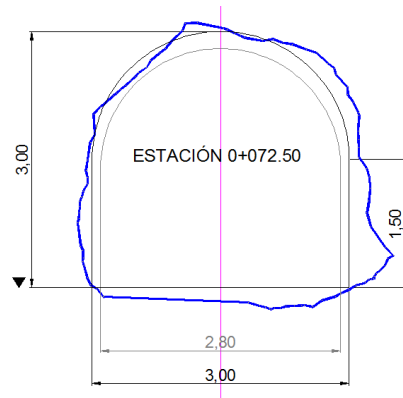
Por disponibilidad de equipo, se realizó con Estación Total (modelo: TCR1203) con medición láser sin prisma y la paquetería de la estación, con este equipo fue posible el levantamiento directo de los perfiles y secciones del Socavón.

El método para el levantamiento de secciones, consistió en poner puntos auxiliares a cada 2.50m, en cada uno de estos se centró, niveló y orientó la

estación total. Hecho esto se giró el equipo a 90° respecto al eje del trazo de proyecto del Socavón y se empezó a medir y registrar los datos directamente, obteniendo valores X, Y y Z de cada punto para formar la sección.

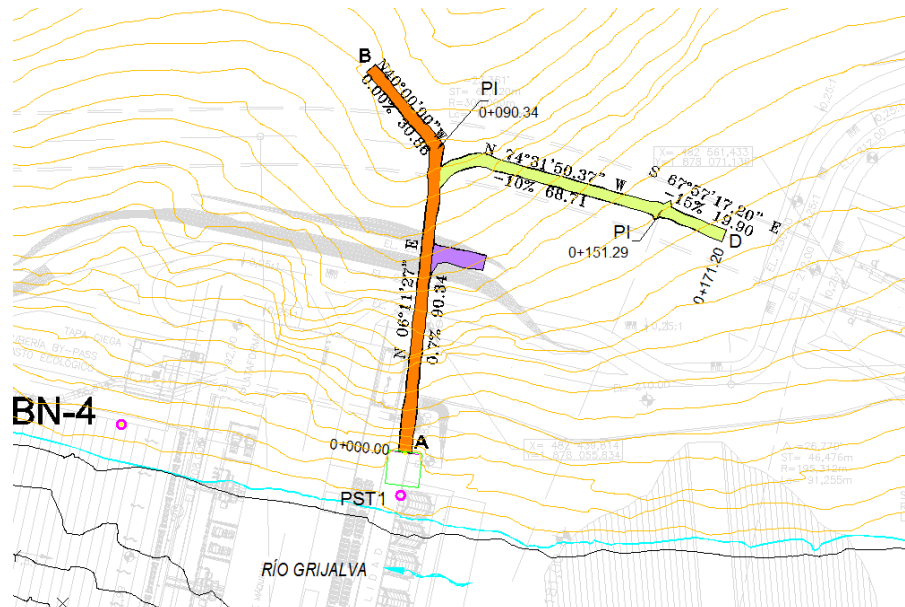


Seccionamiento a cada 2.5m



Sección dibujada

Con los datos obtenidos en campo se procedió al dibujo de las secciones, apoyados con paquetería office y de dibujo (Excel y AutoCAD), teniendo como resultado un total de volumen excavado de 1983.42 m³ y una longitud total de 226.80m. En el plano siguiente se representa la planta del socavón.

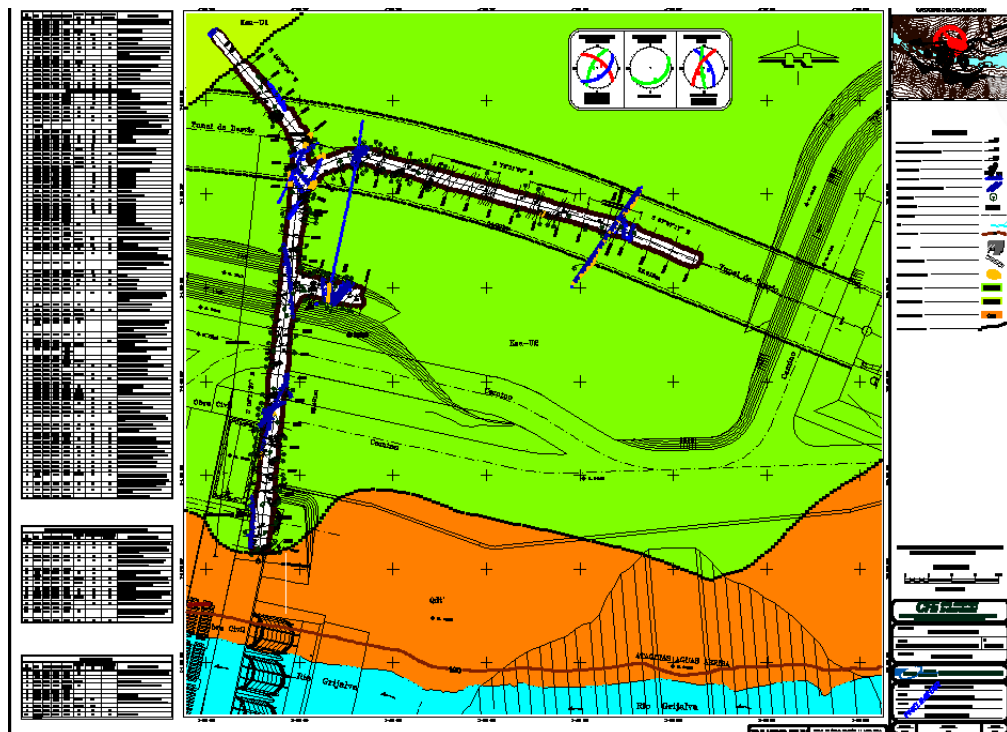


Planta final del Socavón

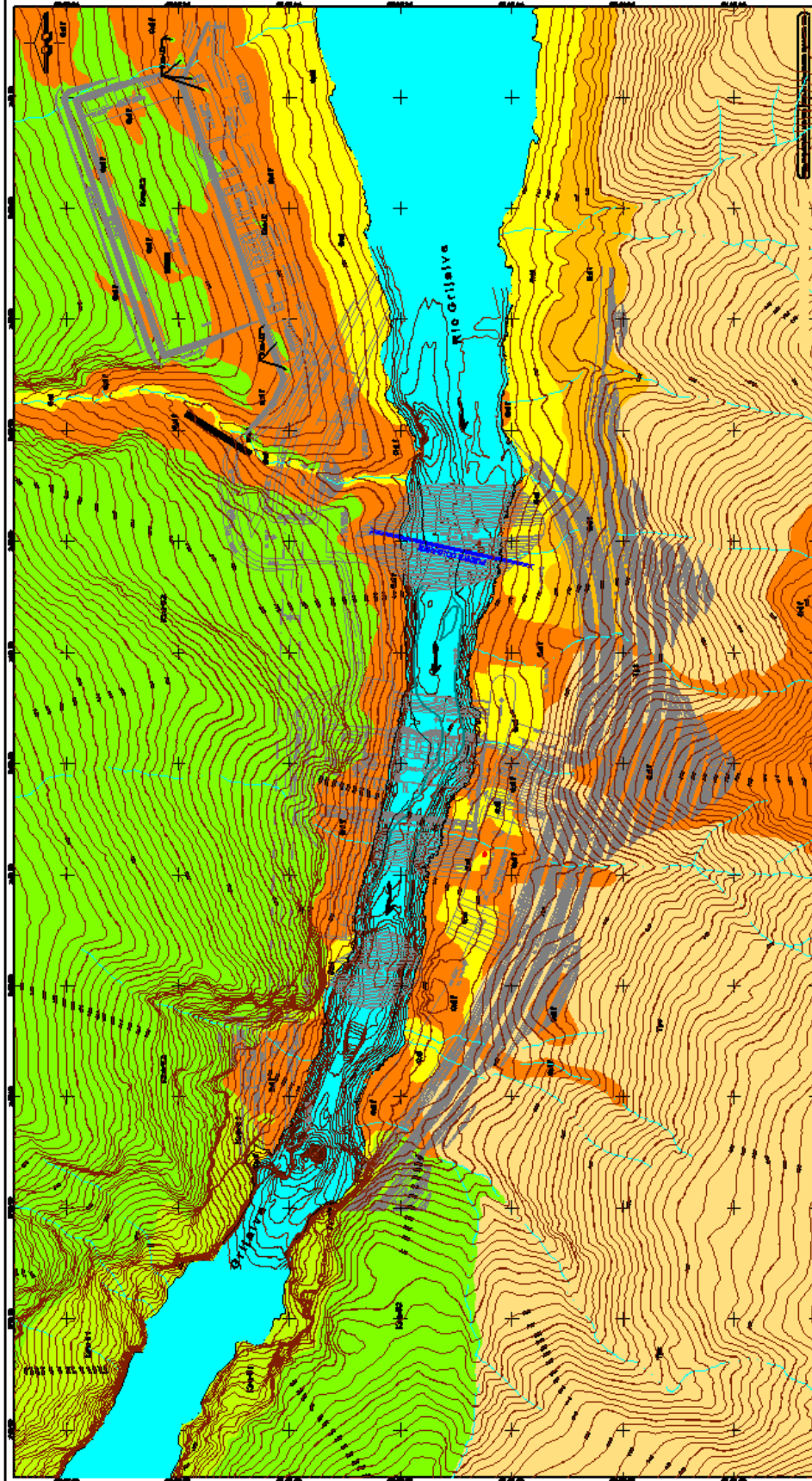
Por último se marcó una franja con pintura de esmalte color blanco de 10 cm de grosor y en el centro de la misma, una línea de color rojo con 2 cm de grosor, sobre ambas tablas del socavón, a 1.20 metros sobre el piso de proyecto, desde el 0+000 hasta el final del Socavón y macando líneas perpendiculares de color rojo indicando los cadenamientos a cada metro, resaltando los valores de cada cinco metros su kilometraje correspondiente. Esta actividad sirvió de apoyo al área de geología para realizar su levantamiento geológico correspondiente.



Pintado de franjas



Plano geológico del Socavón



PLANTA GEOLOGICA DEL P.H. CHICOASÉN II

Conclusiones

En todos los proyectos de ingeniería la topografía juega un papel muy importante, desde la planeación, hasta la construcción e incluso en algunos casos, durante la operación, como puede ser el monitoreo de estructuras. Es por ello que el ingeniero topógrafo debe tener los conocimientos necesarios para poder llevar con éxito cualquier proyecto de ingeniería.

El presente trabajo tiene como fin, dar a conocer las aplicaciones topográficas que conllevan en la realización de un estudio geológico – geotécnico para un proyecto hidroeléctrico, siendo una de las aplicaciones principales: “el establecimiento del control horizontal y vertical”, ya que este, es la base en las mediciones, tanto en el estudio como en la construcción del proyecto, estas aplicaciones fueron hechas utilizando equipos GPS, estaciones totales y niveles fijos.

Por tratarse de una obra hidráulica, fue importante establecer el control vertical por medio de una nivelación diferencial y no con equipos GPS, ya que estos últimos dan un desnivel respecto a un “modelo Geoidal” o no al “geoide” real.

Así también se espera, que este trabajo sirva a estudiantes y egresados de la Licenciatura de Ingeniería topográfica y geodesta, los métodos y procedimientos que aquí se mostraron, cabe mencionar que estos no solo tienen aplicación en proyectos hidroeléctricos, si no para cualquier tipo proyectos y construcciones de obra civil que se realice.

BIBLIOGRAFÍA

ALCÁNTARA, GARCÍA, Dante Alfredo. *Topografía*. Fundación ICA, México 2001.

BRINKER, RUSSELL C, WOLF, PAUL R. *Topografía Moderna*. Alfa Omega. México, 2001.

DE CORRAL, MANUEL DE VILLENA. *Topografía de Obras*. Ediciones UPC, S.L. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.

GARCÍA, MÁRQUEZ FERNANDO. *Curso Básico de Topografía*. Editorial Pax México 2003.

GARCÍA, MÁRQUEZ FERNANDO. *El Topógrafo Descalzo (Manual de Topografía Aplicada)*. Editorial Pax México 2005.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Censo General de Población y Vivienda 2010. México 2011.

MONTES DE OCA, MIGUEL. *Topografía. Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A.* México 1999.

PACHAS R.- Levantamiento Topográfico - ACADEMIA – Trujillo – Venezuela – ISSN 1690-3226- Julio-Diciembre. Vol. VIII. (16) 2009 - 29 – 45

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/normastecnicas/default.aspx>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>