



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**APOYO TOPOGRÁFICO PARA EL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO CANCUC, CHIAPAS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO TOPÓGRAFO GEODESTA

P R E S E N T A

FILEMÓN JESÚS ARRONA ROBLES

DIRECTOR DE TESIS: ING. ADOLFO REYES PIZANO



MÉXICO, D. F.

JUNIO DE 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTO

A la Sociedad Mexicana por otorgarme el privilegio, a través de la UNAM, de pertenecer a esta comunidad, darme las herramientas y señalarme el camino para mi formación y adquirir la responsabilidad para servir a mi país en la rama ingenieril que me emociona.

A mis profesores de todas las asignaturas, por su disposición y paciencia para transmitir sus conocimientos y guía en mi paso por las aulas, talleres y prácticas de campo de la Facultad de Ingeniería.

A mis compañeros de aulas, con quienes compartí ilusiones, retos, incertidumbres, logros, derrotas y experiencias en beneficio de nuestra formación.

Gracias infinitas para mis familiares que impulsaron mi esfuerzo con sus consejos y ayudas materiales, a todos mi gratitud.

A la Comisión Federal de Electricidad y sus funcionarios de la Residencia de Estudios del Alto Usumacinta por su anuencia en el desarrollo de este trabajo.

A los profesores y sinodales que con su ayuda hicieron posible la culminación de esta etapa importante de mi camino.

A todos, una vez mas, mi agradecimiento

APOYO TOPOGRÁFICO PARA EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO CANCUC, CHIAPAS

INTRODUCCIÓN

- I. ASPECTOS GEOGRÁFICOS
- II. FISIOGRAFÍA DE LA ZONA
- III. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN
- IV. CONTROL TOPOGRÁFICO
- V. AJUSTE Y CÁLCULO DE COORDENADAS
- VI. CONCLUSIONES

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

- Objetivo
- Generalidades
- Descripción general del proyecto hidroeléctrico Cancuc

I.- ASPECTOS GEOGRÁFICOS

- I . 1 Localización geográfica
- I . 2 Vías de comunicación
- I . 3 Clima y vegetación
- I . 4 Población y cultura

II.- FISIOGRAFÍA DE LA ZONA

- II . 1 Provincias fisiográficas
- II . 2 Geomorfología
- II . 3 Hidrografía

III.- ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

- III . 1 Fotogramétrica
- III . 2 Topográfica
- III . 3 Geodésica

IV.- CONTROL TOPOGRÁFICO

- IV . 1 Generalidades
- IV . 2 Orientación astronómica
- IV . 3 Secciones transversales
- IV . 4 Configuración en la boquilla San Agustín

V.- AJUSTE Y CÁLCULO DE COORDENADAS

- V . 1 Cálculo y ajuste del triángulo ED-60/M-1/R-5
- V . 2 Ajuste por estación
- V . 3 Cálculo de las coordenadas geográficas
- V . 4 Transformación de coordenadas geográficas a UTM

VI.- CONCLUSIONES

INTRODUCCIÓN

1.- Objetivo

En un proyecto de obra civil con fines hidroeléctricos, el apoyo topográfico está encaminado a satisfacer las necesidades inmediatas de la exploración geológica para establecer posiciones horizontales y verticales de líneas y puntos de referencia, así como preparar la infraestructura geométrica básica para el diseño de las diferentes obras civiles planeadas en un proyecto hidroeléctrico.

2.- Generalidades

Con el propósito de tener un razonable margen de seguridad operativa de la oferta con respecto a la demanda de energía eléctrica en el país, que en los últimos años registra un incremento de alrededor del 6%¹ anual, se están haciendo en el territorio nacional estudios de factibilidad para nuevas plantas generadoras de energía eléctrica.

Por su potencial hidroeléctrico, la empresa gubernamental Comisión Federal de Electricidad, ha clasificado al país en varias zonas geográficas, siendo la zona sureste la de mayor importancia, por su tipo, en la generación de energía eléctrica y dentro de la cual se encuentra el Estado de Chiapas que aporta el 32%¹ del total nacional, siendo los ríos Grijalva y Usumacinta las corrientes que mas aportan a dicho potencial.

Para su estudio y aprovechamiento se identifican en esa zona dos grandes cuencas que son las de los ríos; Usumacinta y Grijalva².

La cuenca del río Usumacinta, el mas caudaloso del país, se extiende a 64 600 km² de los cuales 27 778 km² (43%) son territorio mexicano y el resto de la Republica de Guatemala., la del río Grijalva es de 38 240 km², de los cuales el 85% pertenece a Chiapas y el 15% a Guatemala.

La cuenca del río Grijalva ha sido aprovechada casi en su totalidad con la construcción y operación de las presas; Belisario Domínguez (La Angostura), Ing. Manuel Moreno Torres (Chicoasén), Netzahualcoyotl (Malpaso) y Ángel Albino Corzo (Peñitas).

¹ *El Sector Energético en México*, 1999.- INEGI.

² *Geología del Estado de Chiapas*. CFE.- J. De la Rosa, A. Eboli, M. Dávila.

Con el propósito de hacer notar la importancia de la ingeniería topográfica aun desde la etapa de estudios preliminares, haremos una breve descripción del desarrollo de los mismos.

Los estudios de factibilidad comprenden varias etapas que van desde lo más general como es el estudio del comportamiento de la cuenca de captación, hasta el detalle de la ubicación de la cortina y las obras complementarias.

La exploración del sitio para la obra civil consiste fundamentalmente en la recopilación y análisis de datos de geología, geotecnia y topografía obtenidos de trabajos de campo y laboratorio. La factibilidad técnica se desarrolla en cuatro etapas; iniciándose con el reconocimiento preliminar general, al que le sigue una investigación detallada empleando métodos directos e indirectos lo que permite desarrollar la evaluación de costo-beneficio del anteproyecto civil en base el potencial hidráulico, posteriormente le sigue la etapa de diseño del proyecto ejecutivo, finalmente la construcción y aún en la operación de la presa y planta hidroeléctrica, requiriéndose en todas ellas de la aplicación de métodos topográficos de distinto grado de precisión.

Debido al carácter de los estudios topográficos que nos ocupan, sólo se hace la descripción de las primeras dos etapas conocidas como exploratorias y posteriormente la de las diferentes obras contempladas en el proyecto hidroeléctrico Cancuc.

3.- Descripción general del proyecto hidroeléctrico Cancuc

En una presa para fines hidroeléctricos, la capacidad del equipo generador y las demandas de carga están íntimamente relacionadas a la cantidad de agua disponible, a la magnitud de almacenamiento y a la altura de la cortina que generalmente son mas favorables en los estrechamientos de montañas comúnmente llamados "cañones".

En la parte más alta de la cuenca del río Tacotalpa se encuentra el estrechamiento llamado Cañón de Chacté, el cual presenta las condiciones topográficas ideales para la ubicación de la cortina , pero debido a su ubicación dentro de la cuenca mencionada, el gasto hidráulico medio en el río Chacté no satisface las necesidades del equipo generador proyectadas, por ello se pretende transferir agua de la parte alta del río Usumacinta,

concretamente de los ríos Alto Jataté y Tzaconejá a la cuenca del río Tacotalpa para ser aprovechada en los proyectos hidroeléctricos Cancuc y Chacté.

De esta manera se tendría una caída de más de 280m en Cancuc, con un gasto medio de $34\text{m}^3/\text{seg}$ y en Chacté una caída de agua superior a los 400m con un gasto medio de $64\text{m}^3/\text{seg}$. Se muestra un esquema general en la Fig. 2

Yalchiptic - Tzaconejá

En este lugar se pretende construir dos presas derivadoras de pequeña magnitud, la primera sobre el río Yalchiptic con 1135m de longitud en el coronamiento y 82.5m de altura a la cota 1250 msnm, lo cual significa que el vaso tendría una extensión de 1982.1 hectáreas, con capacidad para $694.7 \times 10^6 \text{ m}^3$. La segunda en el río Tzaconejá de 155m en la corona y 72m de altura también a la cota 1250 msnm, para esta presa se estima que el embalse tendrá una extensión de 37.9 hectáreas y capacidad para $8.3 \times 10^6 \text{ m}^3$, ambas derivadoras estarán comunicadas por un túnel-canal de 3.8 km aproximadamente.

La función principal de las dos cortinas será derivar el agua a la boquilla San Agustín por medio de un pequeño túnel y canal.

San Agustín

Aquí será necesario almacenar el agua de los ríos Azul y Jataté, así como la que se derive de los ríos Yalchiptic y Tzaconejá, para tal propósito se proyecta una cortina de 50m de altura y 710m de longitud en la corona a la cota 1235 mnm lo que formará un lago artificial extendido en 2580.8 hectáreas y capacidad para $408.1 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Al igual que las dos presas Yalchiptic-Tzaconejá, ésta del sitio San Agustín tendrá la función de almacenar y derivar agua, ahora para la cuenca del río Tacotalpa. Para el efecto se proyecta un túnel de 5.2km de longitud, el portal de entrada estaría ubicado en la parte noreste del vaso de San Agustín en la cota 1230 msnm.

Una vez lograda la transferencia de agua a la cuenca del río Tacotalpa, se proyectan varias obras para conducir el líquido al sitio Cancuc y de ahí a la presa Chacté.

Boquilla Chacté

Se proyecta construir una cortina de 150m de altura aproximadamente con desplante en la cota 800 msnm, la longitud en el coronamiento será de 270 m, se calcula que el vaso tiene una superficie de 4735.5 hectáreas y capacidad para $3785.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ a la cota 950 msnm.

Se plantea la construcción de un túnel de 6 km hasta la rampa de caída libre, la obra de toma se ha proyectado a la elevación 935 msnm ubicada en la margen izquierda, el portal de salida, pozo de oscilación y casa de máquinas estarán ubicados aguas abajo del sitio de cortina sobre el río Tacotalpa y muy cerca del proyecto Hidroeléctrico de Itzantún.

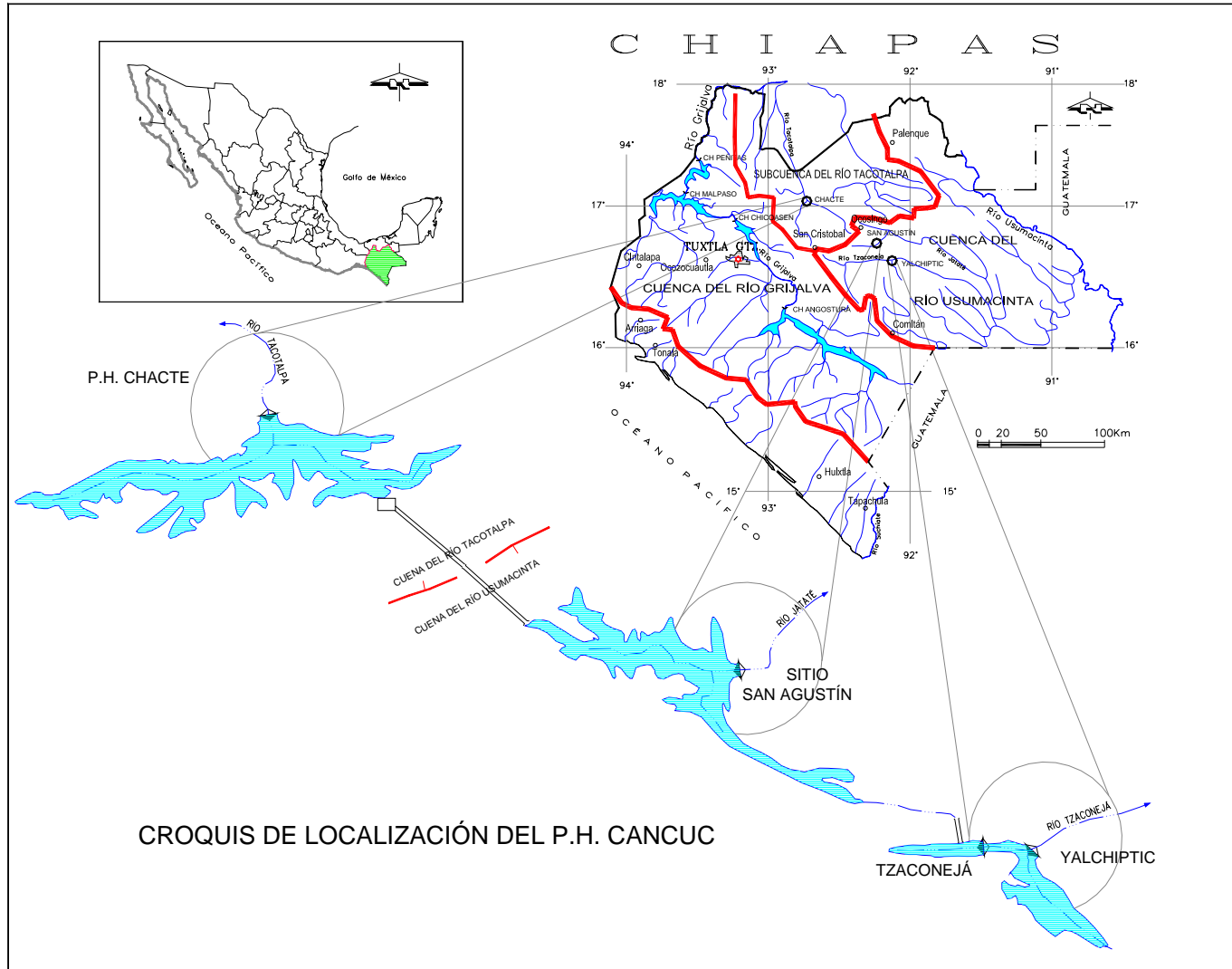


Fig. 2

I. ASPECTOS GEOGRÁFICOS

I.1 Localización geográfica

Las obras que se proyectan están localizadas en la parte centro-oriente del Estado de Chiapas, la zona que enmarca al proyecto Cancuc está limitada por las coordenadas geográficas siguientes: 16°39' a 16°58' latitud norte y 92°00' y 92°25' longitud oeste.

Respecto a la ubicación geográfica de los diferentes sitios de presa proyectados son:

BOQUILLA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		No. VÉRTICE
	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	
Tzaconejá	16° 41' 13'' .932	92° 01' 02'' .829	ED-56
San Agustín	16° 46' 25'' .834	92° 07' 20'' .770	ED-55
Chacté	16° 56'' 11'' .712	92° 20'' 41'' .618	ED-60

Las posiciones geográficas corresponden a los vértices georeferenciados en las boquillas respectivas con equipo Surveyor MX-1502 de Magnavox.

I.2 Vías de comunicación

Boquilla Yalchiptic - Tzaconejá

A este sitio se llega, partiendo de la ciudad de San Cristóbal de las Casas, por la carretera federal No.190, hacia la ciudad de Comitán hasta el km 96 (11 km desde San Cristóbal), se toma la desviación a la carretera estatal No.166 hacia la Ciudad de Palenque, pasando por los poblados de Oxchuc y Abasolo hasta llegar al paraje Cushuljá con un recorrido de 63 km. En este paraje hay una desviación hacia el Sureste que lleva al poblado de Altamirano haciendo un recorrido de 29 km hasta el desvío a la ciudad de Comitán. En esta camino Altamirano- Comitán se recorren 6 km y finalmente llegar a la unión de los

ríos Yalchiptic y Tzaconejá, haciendo un recorrido total de 109 km desde San Cristóbal de las Casas, Chis.

Por la vía aérea es posible llegar en avioneta hasta el poblado de Altamirano que se encuentra a 7 km del sitio de boquilla, en helicóptero se puede bajar en la boquilla misma.

Boquilla San Agustín

Haciendo el mismo recorrido antes descrito hasta el paraje Cushuljá, se transita la carretera Cushuljá-Altamirano por la cual se recorren 8 km. Hasta llegar al rancho San Agustín, ahí hay un camino que se desvía hacia el Este para llegar al paraje Chalam del Carmen después de recorrer 1.6 km, este paraje está en la boquilla misma del proyecto.

A este lugar es posible llegar en avioneta o helicóptero hasta el campamento Buenos Aires que se localiza a 3 km de Chalam del Carmen.

Boquilla Chacté

Haciendo el recorrido descrito para las anteriores boquillas hasta el poblado de Oxchuc, se continúa a 14 km por la carretera hacia Palenque hasta la desviación del poblado Tolbiljá y se recorren 22 km de terracería por la sierra hasta llegar al paraje y cañón de Chacté haciendo un recorrido total de 89 km desde San Cristóbal de las Casas.

Por la vía aérea solo es posible llegar en helicóptero para lo cual se cuenta con suficiente espacio en el poblado Chacté y en la entrada al cañón.

I. 3 Clima y vegetación

Geográficamente, Chiapas se encuentra en la zona intertropical, pero debido su accidentado relieve topográfico sus condiciones climatológicas son muy variadas.

Le corresponden los vientos alisios del noroeste que llegan en forma continua pero variable en la humedad que contienen, observándose también una circulación de vientos variables.

Los vientos alisios del Noroeste, que durante el invierno y primavera contienen humedad, llegan a la Meseta Central produciendo lluvias abundantes por lo que al continuar su desplazamiento descienden con escasa humedad transformándose en aire seco

que absorbe la humedad del suelo, plantas y aire que se encuentra por su paso en la Depresión Central.

Los vientos que provienen del Pacífico se les ha llamado monzones y descargan su humedad en la costa al chocar con la Sierra Madre. Los meses más lluviosos son, en general, Agosto, Septiembre y Octubre debido a que en esta época del año los vientos alisios y los monzones cargados de humedad coinciden en territorio chiapaneco.

Con el fin de conocer y definir las características climatológicas de la región, se analizó la información recopilada en las estaciones climatológicas e hidrométricas operadas por la División Hidrométrica de la CFE ubicadas en la zona de estudio, así como también la carta de climas; Villahermosa 15Q-DGGTN.

Las características climatológicas de la zona, complementadas con la información de las estaciones climatológicas de la SARH, son muy variadas debido al marcado contraste en el relieve topográfico ya que el terreno se eleva rápidamente de 800 a 2850 msmm dando lugar a que se manifiesten diferentes climas.

En la zona de Bachajón y Ocosingo se observa un clima cálido - húmedo con lluvias en verano y temperatura media anual de 22° C, con precipitación media anual de 1800mm.

En la parte central predomina el clima semicálido-húmedo con lluvias en verano y comprende la mayor parte de la zona que es una franja con dirección NW-SE, abarcando los poblados de Oxchuc, Cushuljá, San Agustín y Altamirano, con una precipitación media anual entre 1500 y 1800 mm y temperatura media anual de 20° C.

En la zona sur occidental que comprende el poblado de Chanal, la Sierra del Nis y el cañón de Huixtán se observa un clima templado sub-húmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 20° C y precipitación media anual de 1500mm.

En la parte septentrional⁴ del área se tiene un clima semicálido a húmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 21° C y precipitación media anual de 1800 mm, comprendiendo los parajes de Chacté Independencia, Bapush y Chilil.

En la misma parte norte y central del área, muy cerca del parte aguas Usumacinta-Grijalva, se observa un clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano, temperatura media

⁴ Septentrión (*septentriones*, las siete estrellas de la Osa Menor. El Norte, punto cardinal Septentrional; que está al Norte, la parte norte

anual de 22° C y precipitación media anual de 1800 mm. Esta zona comprende los parajes de Tenango, El Rosario y Tzajaljá.

De las tablas de precipitación y los planos de isoyetas medias anuales se observa que aún cuando prácticamente en todo el año ocurren precipitaciones, es posible definir el período de Mayo a Octubre como de precipitación máxima, meses en los que la altura de agua de lluvia registradas es superior a los 1000⁵ mm, con una altura de precipitación máxima de 3500 mm normalmente registrada en el mes de Septiembre.

También se observa que la precipitación se incrementa de oriente a poniente, variando de 1598 mm en Altamirano hasta 1950 mm en Abasolo.

En la parte noreste se presenta un pequeño descenso de altura de lluvia, respecto a la parte central, donde se registra 1650 mm en la estación de aforo de Chacté.

Es de observarse que no obstante haber en la zona una precipitación abundante y similar en los tres lugares importantes del proyecto; Altamirano, San Agustín y Chacté, la situación del cañón de Chacté dentro de la cuenca del río Tacotalpa no le permite captar suficiente agua para mantener en operación los generadores que se pretenden instalar ahí.

De aquí surge la idea de aprovechar las bondades topográficas del cañón dotándolo de las aguas de Altamirano y San Agustín.

Como consecuencia de la abundante precipitación y variedad de climas, la vegetación es de tipo selvático y bosques subtropicales, variando desde la sabana en las partes bajas del valle de Ocosingo y Chacté, hasta los bosques de conífera y caducifolio en las partes altas de la Sierra del Nis.

I. 4 Población y cultura

El estado de Chiapas ocupa una superficie de 73 887m² que representa el 3.8% del territorio nacional y es uno de los estados con mayor variedad de grupos étnicos que son; Choles, Zoques, Tojolabales, Tzotziles, Lacandones y Tzeltales, este ultimo grupo es el que puebla la mayor parte de la zona de estudio.

La población económicamente activa en el estado está representada por el 28% y se desempeña principalmente en la agricultura, el comercio y la explotación forestal ligada normalmente a la ganadería.

La mayor parte de las tierras aprovechables para uso agrícola son de temporal ya que las características del terreno así lo determinan, no obstante se tienen muy buenas cosechas en la parte de la Depresión Central pues son aprovechadas las aguas de la presa de La Angostura.

La aportación del estado de Chiapas a la producción nacional está integrada básicamente por maíz, trigo, algodón, hortalizas, plátano, café, caña de azúcar, tabaco, cacao, aguacate, limón, naranja y durazno.

En la ganadería se tienen mejores resultados, sobre todo con el ganado vacuno y en menor escala equino y ovino.

⁵ Se mencionan alturas de columna promedio de lluvia anual.

II. FISIOGRAFÍA DE LA ZONA

II. 1 Provincias fisiográficas

El Estado de Chiapas se caracteriza por presentar variados tipos de relieve, en este capítulo se describen las provincias fisiográficas⁶ que la mayoría de los autores coinciden para Chiapas. Los diferentes tipos de relieve existentes en el estado son franjas paralelas a la costa del Pacífico.

Planicie Costera del Pacífico

Sierra Madre de Chiapas

Depresión Central

Meseta Central

Sierras Plegadas

Planicie Costera del Golfo

Planicie Costera del Pacífico

Es una llanura de más de 280 km adyacente al océano Pacífico, comienza desde el Estado de Oaxaca en la laguna litoral denominada Mar Muerto, y se continúa hasta Guatemala. Se caracteriza por presentar una topografía plana suavemente inclinada hacia el mar. Los ríos que bajan de la Sierra Madre cruzan a lo ancho de esta franja y desembocan al mar o bien en lagunas y zonas pantanosas.

Sierra Madre de Chiapas

También llamada Sierra Cristalina, es una cadena de montañas orientadas de noroeste a sureste, paralela a la costa del Océano Pacífico. Hacia su extremo noroeste, en los linderos con el Estado de Oaxaca, la sierra tiene una elevación promedio de 1500 msnm y aumenta hacia el sureste en la frontera con Guatemala, donde tiene una altura promedio de 3000 msnm. La mayor elevación de esta provincia se localiza en el volcán de Tacaná (4060msnm).

⁶ *Fisiografía*; Descripción de la tierra y de los fenómenos naturales que en ella ocurren

La cresta de esta sierra sirve de parteguas continental, los ríos que drenan hacia la Planicie Costera del Pacífico son cortos y su cauce definido por una pendiente generalmente pronunciada.

Depresión Central

También conocida como Valle Central de Chiapas, esta provincia fisiográfica es una franja de terreno que se extiende desde los límites con Guatemala, donde la elevación promedio es de 600 msnm, hasta los límites con el Estado de Oaxaca donde la elevación promedio es de 400 msnm. En la parte noreste se encuentran mesetas inclinadas que descienden lentamente de suroeste a noreste, es en esta región fisiográfica donde se asienta la capital del estado, Tuxtla Gutiérrez.

Meseta Central

También conocida como Altiplanicie o Altos de Chiapas, se caracteriza por sus altas montañas con elevaciones de 2000 a 2400 msnm, se observa una rápida elevación en sus límites con la Depresión Central y en su parte intermedia forma largas mesetas. La serranía mas elevada corresponde al afloramiento de rocas sedimentarias⁷ que se encuentra al noroeste del camino entre San Cristóbal de Las Casas y Comitán

El drenaje de este sistema orográfico se vuelve muy variado por la naturaleza de las rocas que afloran. Tal es el caso de la caliza⁸, donde muchas veces los arroyos tienen cauces no integrados, una parte escurre sobre la superficie y la otra se infiltra y drena a través de cavernas de disolución, como ocurre en el cerrado valle de San Cristóbal de las Casas, cuyas aguas se pierden a través de cavidades de disolución en rocas calizas, ya en las partes bajas estos mismos arroyos emergen a la superficie como grandes manantiales.

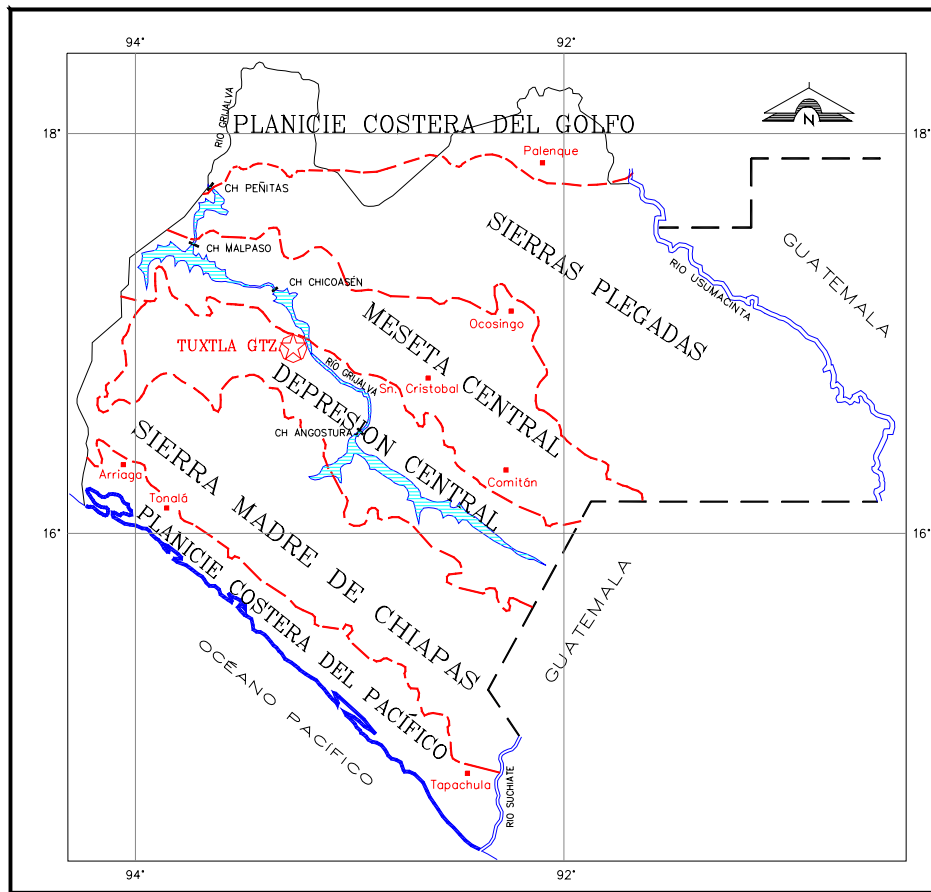
El área de estudio que nos ocupa está dentro de esta provincia fisiográfica, concretamente en la parte central de la misma.

⁷ *Roca sedimentaria*. Son aquellas que están constituidas de partículas derivadas de la desintegración de rocas preexistentes.

⁸ *Caliza*. Roca sedimentaria compuesta en gran parte por el mineral calcita, CaCO_3 , las rocas carbonatadas, caliza y dolomita, constituyen cerca del 22% de las rocas sedimentarias expuestas sobre el nivel del mar.

Sierras Plegadas

También conocida como Sierras Frontales, es un conjunto de cadenas montañosas orientadas de noroeste a sureste. La forma de estas sierras, vistas en planta, parecen ser largas canoas volteadas, dado su carácter profundamente abrupto, producto de un intenso fracturamiento y plegamiento de rocas, el rasgo mas conocido de esta zona es el volcán Chichonal. En esta provincia fisiográfica corren ríos caudalosos que forman angostos cañones con sierras altas y largos valles los cuales pueden ser aprovechados para proyectos hidroeléctricos.



Provincias Fisiográficas del Estado de Chiapas

Fig. 3

Planicie Costera del Golfo

Está caracterizada por una amplia llanura que se extiende hacia el norte a través del Estado de Tabasco hasta el Golfo de México. En ella los ríos Grijalva y Usumacinta escurren en cursos divagantes con poca velocidad, formando numerosos meandros y pantanos antes de desembocar en el Golfo de México.

II. 2 Geomorfología

En la zona existen dos tipos de estructuras morfológicas que se describen enseguida.

Tierras altas

En general se componen de sierras escarpadas que llegan a tener más de 2000 msnm, predominando las laderas de pendiente fuerte y separadas por profundos valles. Fisiográficamente pertenecen a la Meseta Central, estas sierras están compuestas por rocas calizas principalmente, lo cual origina una morfología cárstica. Sus estructuras predominantes son las dolinas⁹, las cuales en apariencia son superficiales y de diámetro pequeño.

Los rasgos morfológicos más importantes son; el volcán de Tzontehuitz, la Meseta Central y la Sierra de Pantelhó en la parte norte; la Sierra del Nis y el Anticlinal¹⁰ Soledad en el sur.

Tierras bajas

De manera general están representadas por valles estrechos y alargados constituidos por materiales arcillo-arenosos y escasamente rocas calcáreas. Las formas existentes son características de un relieve joven donde los agentes erosivos actúan intensamente, siendo las aguas del escurrimiento los agentes erosivos moldeadores que predominan actualmente. Dentro de las Tierras Bajas, los rasgos morfológicos más notables son: El cañón de Chacté, el Valle de Chacté y el sinclinal Tenango.

⁹ *Dolina*.- Sumidero o depresión en la superficie del terreno causada por el derrumbe del techo de una caverna de disolución.

¹⁰ *Anticlinal*.- Configuración de las rocas estratificadas que se pliegan inclinándose en dos direcciones diferentes a partir de una cresta, semejante a un tejado de dos aguas. La configuración inversa es un Anticlinal.

II.3 Hidrografía

Dadas las características del relieve topográfico del área de estudio y principalmente a la presencia en ella del parteaguas Grijalva-Usumacinta, la extensión del sistema de drenaje es muy corto, sin embargo se describe la hidrografía correspondiente a la boquilla en cuestión.

Chacté.- El río Tacotalpa nace al norte de la ciudad de San Cristóbal de las Casas y al oeste del volcán Tzontehuitz, presenta una dirección general sureste-noroeste con una marcada tendencia hacia el norte, las principales corrientes que forman el río, en esta zona, son los ríos Chacté y San Pedro. El primero se forma en confluencia de los arroyos de Tenango, Ochupajá y el manantial del Lachebal. Estos arroyos se localizan al este del cañón de Chacté y fluyen de oriente a poniente dando lugar al río Chacté que registra un gasto medio de 27.82 m³/seg.

El origen del río San Pedro se localiza al poniente del cañón de Chacté y se forma de la confluencia del arroyo Los Chorros y el río Yochib. El primero nace en el manantial del mismo nombre y su escurrimiento presenta un rumbo principal noroeste-sureste. El río Yochib nace en la porción sureste del volcán Tzontehuitz, siendo un arroyo pequeño que confluye con el manantial de Naranja Seca, dando lugar al río Yochib, el cual desaparece en una caverna en el paraje Yochib aflorando 6 km aguas abajo muy cerca de su confluencia con el arroyo Los Chorros, formándose de esta manera el río San Pedro.

San Agustín.- En la zona de confluencia se tienen dos ríos principales que son el Jataté y el Azul, el primero nace cerca del paraje Tuxaquiljá y la colonia Mesbiljá, alojados en la parte baja de la Sierra del Nis, iniciando su escurrimiento con un rumbo general de noroeste-sureste con deflexión hacia el sureste en el paraje El Corralito, aguas abajo recibe el escurrimiento del arroyo La Florida, el cual drena sus aguas desde el poblado de Abasolo, continúa su curso hacia el sureste hasta unirse con el río Azul ya en la boquilla San Agustín.

El río Azul tiene su origen en la acumulación de las aguas de los numerosos manantiales que afloran a través de cavernas de disolución formadas sobre calizas en la parte baja de la Sierra del Nis. El escurrimiento de estas aguas tiene un rumbo general hacia el noreste hasta su unión con el río Jataté en el lugar antes citado.

Yalchiptic-Tzaconejá.- Comprende los ríos Tzaconejá y Yalchiptic, el primero tiene su origen al oeste del volcán Tzontehuitz, muy cerca del poblado de Huixtán, siendo en estos lugares donde se capta cerca del 40% del gasto total del río, otro 40% es aportado por el manantial denominado El Naranjal que aflora en el anticlinal Oxchuc ubicado en el cañón de Huixtán, 20 km aproximadamente al oeste de la boquilla, el otro 20% esta representado por el aporte de pequeños arroyos formados en la cuenca de captación. El río presenta un rumbo general este-oeste desde sus inicios hasta la salida del cañón en donde se le une el río Yalchiptic.

El río Yalchiptic presenta una cuenca de captación muy pequeña, teniendo su origen en el escurrimiento que aporta la cuenca misma y tres manantiales importantes los cuales contribuyen con el 80% del gasto aforado en la estación Yalchiptic que es de 15.53 m³/seg. El río tiene un curso con dirección Sureste-Noreste siguiendo la parte mas baja del anticlinal Honduras hasta su confluencia con el río Tzaconejá.

III. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para iniciar la organización los estudios de ingeniería civil de los diferentes sitios contemplados en el proyecto hidroeléctrico Cancuc, primeramente se recopiló toda la información disponible de los diferentes aspectos y útil para el trabajo de apoyo topográfico a los estudios geológicos de la zona. Dada la extensión del área de estudio y la separación de las diferentes obras proyectadas, se observó que sería poco funcional y económico que se abrieren varios frentes de trabajo de manera simultánea, por lo que dada la importancia del sitio llamado cañón de Chacté, se inició con la recopilación y análisis de los datos y material técnico y cartográfico referente a este lugar y de manera general fue el mismo procedimiento para todos los sitios del proyecto hidroeléctrico Cancuc.

III. 1 Fotogramétrica

En el año de 1977 la Comisión Federal de Electricidad, a través de la Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos encargó a la compañía GYMSA, el levantamiento fotogramétrico que cubriera los proyectos hidroeléctricos Cuitláhuac, Itzantún y Cancuc levantamiento que concluyó en 1979. Esta franja fotografiada va desde el poblado de Oxolotán en el Estado de Tabasco hasta Altamirano en el Estado de Chiapas, la cual está constituida por seis líneas integradas por 361 fotografías de las cuales el 60% son útiles para la zona del proyecto Cancuc.

La escala de las fotografías es 1:25 000 haciéndose dos restituciones para obtener planos topográficos escala 1:10 000 y 1:25 000 los planos a la primera escala se utilizaron principalmente para el anteproyecto de la obra civil y representación de información geológica de detalle, la segunda escala para el estudio de embalses, áreas y capacidades de los mismos, evaluación de afectaciones y vaciado de información geológica regional.

También se reunió material fotogramétrico del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), concretamente fueron 14 líneas de un vuelo

fotogramétrico escala 1:50 000 y 11 líneas de otro vuelo escala 1:10 000 que corresponden a la cuenca del río Chacté. Para propósitos de carácter regional se utilizaron cartas topográficas del INEGI a las escalas 1:50 000 y 1:100 000.

Es necesario mencionar que todo el material fotogramétrico es de utilidad tanto para fines topográficos como geológicos, por lo cual se obtuvo la información de una gran extensión, que para fines topográficos parece demasiada, no así para los propósitos geológicos.

III. 2 Topográfica

A pesar del extenso cubrimiento aerofotográfico, y sobre todo al necesario control terrestre para la restitución fotogramétrica, físicamente se perdió la gran mayoría de puntos de control terrestre de aquel trabajo, sobre todo los que serían útiles en las proximidades de las boquillas de posibles presas, por lo cual la Comisión Federal de Electricidad no contaba con información topográfica confiable, tanto en el aspecto vertical como en el sentido horizontal.

El único antecedente que se tenía es el de un Banco de Nivel ubicado en el poblado de Ocosingo, establecido por personal de CFE en el año de 1976, el cual formó parte del control que se extendió desde el denominado “Sistema Malpaso”, que es el que se estableció para el control vertical de las Centrales Hidroeléctricas de Malpaso, Chicoasén, La Angostura y Peñitas, pero dada la distancia recorrida en la extensión de las nivelaciones, el equipo utilizado como niveles de burbuja tipo inglés y americano pero sobre todo al personal que la llevó a cabo, todos fueron topógrafos prácticos habilitados durante la construcción de la presa de La Angostura, no se le dio mucha confianza a esta información.

Por lo anterior, se optó por establecer un banco de nivel en algún lugar accesible y útil de la boquilla Chacté. Este banco de nivel se ligaría posteriormente a algún banco de nivel del INEGI. Para este propósito se buscó información de las líneas de nivelación establecidas en la zona por el INEGI, concluyéndose que el más viable sería el BN-562 ubicado en las proximidades de San Cristóbal de las Casas, de la línea Pomoca-Chenalhó-San Cristóbal-Parral.

III. 3 Geodésica

Este aspecto es muy importante para el control horizontal de todo el sistema, porque permite, entre otras cosas, su integración al sistema geográfico nacional a través de la red geodésica nacional y desde luego a los actuales y futuros trabajos de CFE.

Al inicio de los trabajos topográficos que nos ocupan, no se contaba con información de este tipo por parte de la CFE, no así por parte del INEGI, pero dada la escasez de recursos y prioridad de algunos trabajos para la prospección geológica se utilizaron algunos vértices del control terrestre del levantamiento fotogramétrico de GYMSA, control que pertenece a un sistema de coordenadas arbitrario dejándose pendiente su liga a la red geodésica nacional y ante la expectativa de que en breve se contaría con equipo y personal entrenado para el establecimiento de vértices georeferenciados con receptores de señales satelitales (geoceiver) del Sistema Transit como es el Satellite Surveyor MX-1502 de Magnavox.

En forma por demás resumida, el sistema Transit¹¹ de navegación marina por satélite fue concebido como resultado de combinarse una necesidad vital con la tecnología moderna. La necesidad fue el tener información renovada con precisión para los equipos de navegación por inercia a bordo de los submarinos Polaris. La nueva tecnología espacial nació debido al satélite Sputnik I, el cual fue puesto en órbita el 4 de octubre de 1957. a los doctores William H. Guier y George C. Weiffenbach del Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad Johns Hopkins les llamó la atención la sustancial desviación de frecuencias Doppler en las señales de radio de este primer satélite artificial. Este interés los guió a

desarrollar algoritmos para determinar la órbita completa del satélite por medio de cuidadosas mediciones Doppler¹² desde una sola estación terrestre. En base a estos logros, los doctores Frank T. McClure y Richard B. Kershner, también del mismo laboratorio, sugirieron la posibilidad de invertir el proceso, es decir la posición de un navegador podría determinarse con mediciones Doppler desde un satélite cuya órbita se conoce con precisión.

Debido a esta confluencia de necesidad con tecnología disponible, en diciembre de 1958 se sentaron las bases para el desarrollo del Transit. Bajo el liderazgo del Dr. Kershner se establecieron tres tareas básicas; el desarrollo de satélites apropiados, la formulación de un modelo del campo gravitacional terrestre que permitiese determinar con precisión las órbitas de los satélites y el desarrollo de equipos capaces de presentar resultados de utilidad práctica para la navegación. El Transit se convirtió en un sistema operacional en enero de 1964 y fue autorizado para usos comerciales en julio de 1967 vendiéndose las primeras unidades un año después.

Desde entonces el número de usuarios comerciales creció rápidamente y sobrepasó ampliamente las aplicaciones gubernamentales y militares, dando paso inclusive, en 1993, a su conversión al Global Positioning System (GPS) y a todas las tecnologías integradas en los Sistemas de Información Geográfica (GIS) actuales.

¹¹ *The Navy Navigation Satellite System: Description and Status.*- Stansell Thomas A. 1968

¹² *Efecto Doppler.* Desviación de la frecuencia recibida a causa del movimiento relativo entre el emisor y receptor. Doppler Cristian.- Matemático y físico austriaco (1803-01853) que realizó importantes estudios de acústica y óptica.

IV. CONTROL TOPOGRÁFICO

IV.1 Generalidades

En la medida que se avanza en los estudios de detalle del sitio elegido para el emplazamiento de la cortina, la información debe ser cada vez mas precisa y confiable desde el punto de vista que se hace necesario establecer relaciones de posición de los accidentes topográficos, rasgos geológicos y apoyo de control para estudios de geofísica y barrenación ubicados dentro de la zona de estudio.

Estudios de detalle

Se realizan principalmente durante la etapa de investigación de la factibilidad, resultando útiles en la concepción, diseño y elaboración del proyecto ejecutivo, durante la construcción y aún en la operación de la obra. En términos generales, los procedimientos de estudios detallados se dividen en dos tipos; Métodos Indirectos y Métodos Directos. Estos procedimientos no se usan prioritariamente, aunque por lo regular los métodos indirectos son primeramente aplicados y nunca uno sustituye al otro.

Métodos indirectos

Básicamente son técnicas de exploración que incluyen sensores remotos y métodos geofísicos que se aplican con el propósito de hacer un reconocimiento preliminar del lugar donde se requiere principalmente una orientación y/o datos aproximados relacionados con la estratigrafía, discontinuidades y condiciones geológicas previas, otra técnica indirecta es el uso de imágenes de percepción remota y fotografías de la superficie terrestre que son utilizadas para su interpretación, lo que permite en poco tiempo definir las principales características geológicas de la zona a un costo reducido.

Es a partir de los estudios de detalle cuando se hace necesario el apoyo de la topografía para la ubicación de puntos y medición de distancias para la aplicación tanto de los métodos indirectos como los directos. El caso de los primeros se hace imprescindible en la aplicación de los métodos geofísicos, de los cuales haremos una breve descripción pues es una de las primeras actividades de apoyo de la topografía en los estudios de exploración. En

la aplicación de los métodos directos, la topografía está muy relacionada con casi todos ellos.

Los métodos geofísicos más utilizados en la ingeniería civil son; el sísmico de refracción y el eléctrico de resistividad. Estas técnicas están basadas en las variaciones (anomalías) de las propiedades de los materiales del subsuelo, que evidencian la existencia de cuerpos o estructuras a profundidad.

Método sísmico de refracción

Este consiste en medir el tiempo que transcurre para que las ondas sísmicas viajen desde el punto en que se originan, por medio de una explosión controlada, hasta los lugares de detección (geófonos), colocados en diferentes puntos cuya posición se determina mediante algún método topográfico.

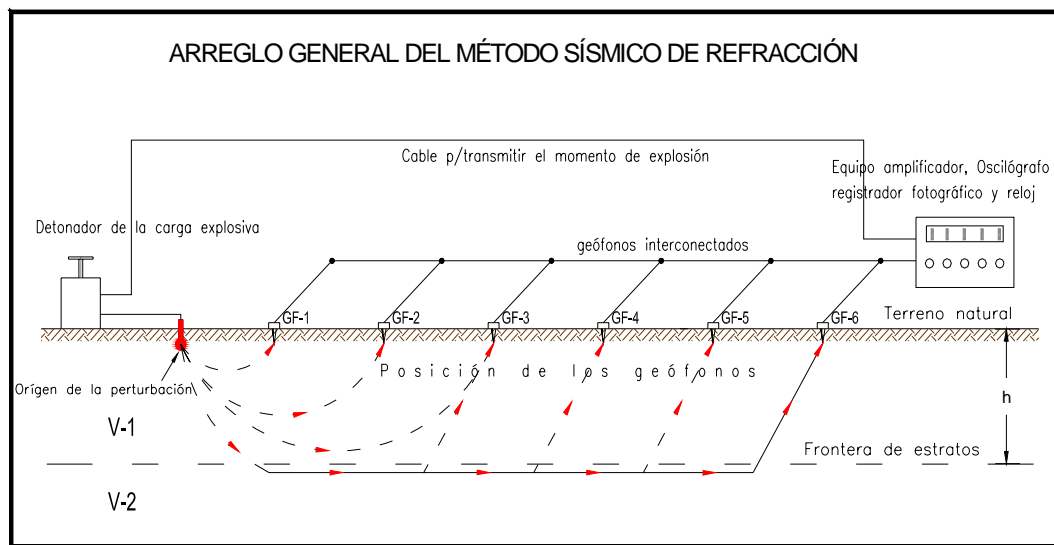


Fig.4

Las ondas sísmicas generadas artificialmente atraviesan los materiales a explorar y sus efectos, al atravesar las distintas capas de roca en la profundidad del terreno, son registradas por los oscilógrafos, se obtiene de esta manera una gráfica de tiempo-distancia por medio de la cual, el técnico especialista interpreta las velocidades de propagación de las ondas sísmicas a través de las diferentes capas de materiales y la profundidad a la que ocurren esos cambios.

Método eléctrico de resistividad

Existen varios métodos eléctricos de exploración que se basan en el estudio de la distribución de la corriente eléctrica en el subsuelo. Para fines de exploración, el método de resistividad es uno de los más utilizados y se basa en que los materiales del subsuelo presentan contrastes en su resistividad, según su densidad y contenido de agua. Consiste en hacer una serie de mediciones con corriente eléctrica inducida y registrada la respuesta de los materiales del subsuelo con un arreglo electródico tetrapolar para obtener la resistividad a distintas profundidades desde la superficie.

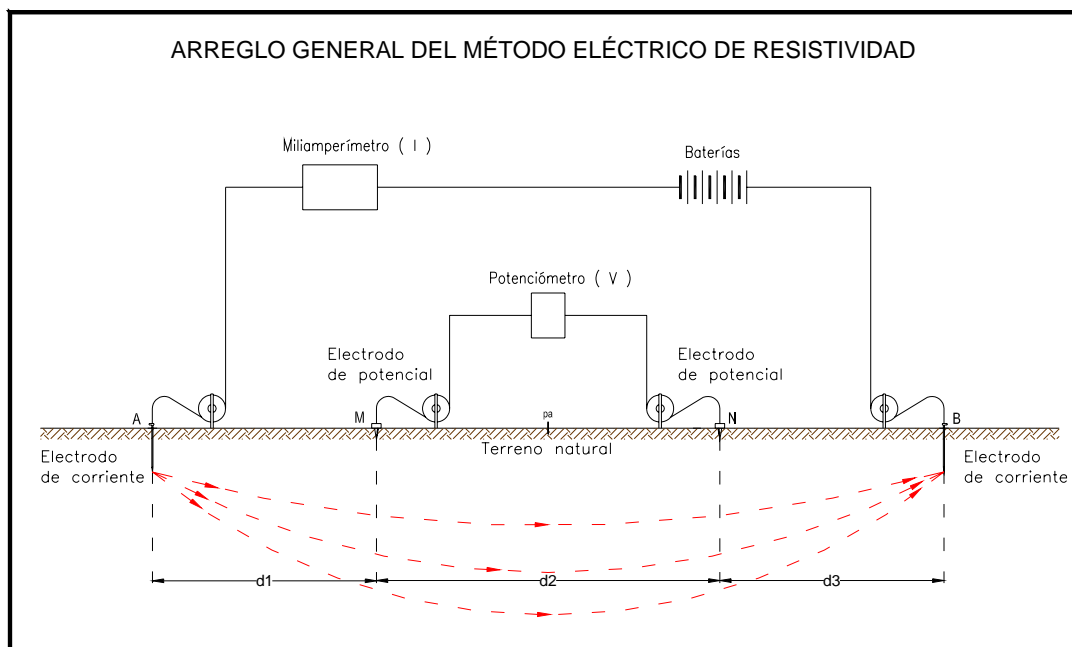


Fig.5

Los electrodos de potencial M y N, se fijan en una posición y se induce corriente eléctrica registrándose en los electrodos de corriente A y B que se colocan en varios lugares de acuerdo al arreglo elegido. La figura IV-2 muestra un arreglo de campo del método Schlumberger con los espaciamientos de electrodos más utilizados en la CFE.

Métodos directos

Necesariamente estos métodos se utilizan durante la exploración detallada ya que se requiere de información precisa acerca de las características y condiciones de los materiales del subsuelo así como de su posición horizontal y vertical de los puntos o líneas de exploración, básicamente estos métodos se clasifican en levantamientos superficiales y de obras subterráneas así como sondeos en roca.

Levantamientos geológicos superficiales

Son técnicas de exploración encaminadas a la búsqueda y observación de las características *in situ* de muestras de roca y suelos, que permiten conocer las condiciones generales del ambiente geológico de la zona estudiada.

En todo proyecto se realizan levantamientos regionales a escala entre 1: 25000 y 1:50000 y varios levantamientos locales a escala 1:10000 y 1:5000, en ambos se estudian minuciosamente los afloramientos y contactos, auxiliándose de brújula y altímetro principalmente y para el caso de los levantamientos locales se hace necesario el control topográfico.

Sondeos en roca

Se entiende por sondeos en roca a la recuperación de muestras, mediante perforaciones con barrenos, con las siguientes características; inalteradas, verdaderamente representativas del material con un alto porcentaje de recuperación y permitir identificar las características de la roca y su fracturamiento, tamaño y espaciamiento entre fracturas, grado de alteración y presencia de materiales de relleno en ellas.

Es de mucha importancia que todo este detalle esté bien ubicado dentro de un sistema de coordenadas y para ello es necesario el apoyo topográfico a la exploración.

Para cubrir este importante aspecto de los estudios, se hace necesario recurrir al uso de un sistema de coordenadas que nos permita controlar las relaciones geométricas entre líneas y puntos de referencia en el terreno y los planos para el proyecto de obras civiles.

El sistema de coordenadas adoptado para los estudios fue el mismo aplicado para el control terrestre de la restitución fotogramétrica mencionada en el capítulo III.2, que es de

tipo ortogonal con origen arbitrario y se le identifico como la red primaria en la zona de trabajo. Los levantamientos topográficos de apoyo a la exploración geológica, geofísica y del anteproyecto civil de detalle se realizaron densificando los puntos de control y referencia mediante poligonales cerradas y abiertas que constituyen la red secundaria.

Esta red secundaria se da por la necesidad de que los planos topográficos restituidos a las escalas 1:10 000, 1:25 000 y 1:50 000 no proporcionan suficiente detalle de las formas del terreno principalmente debido a la presencia de acantilados y fuertes cambios de pendiente cubiertos por abundante vegetación de variado tipo y altura, disminuyendo así la confiabilidad de la información de los planos topográficos producto de la restitución.

En lo referente al control vertical de la zona del P.H. Cancuc, debido a las causas mencionadas en el capítulo III.2, fue necesario recurrir a las líneas de nivelación establecidas por el INEGI, ya que inclusive se tenía duda de la exactitud en la información proporcionada por el posicionamiento por satélite. La red de control vertical lo integran poco mas de 20 bancos de nivel establecidos con nivelaciones diferenciales confiables tanto por el equipo y método aplicado, normalmente doble altura de aparato y escasamente el de ida y regreso, como por las tolerancias preestablecidas; $12\text{mm}\sqrt{K}$ denominada de tercer orden y asociada comúnmente a trabajos de ingeniería civil. Debido a las características del terreno, no fue posible definirse algún recorrido de circuito para estar en la posibilidad de ajustar por medio de mínimos cuadrados.

IV.2 Orientación astronómica

Los trabajos topográficos requieren ser controlados direccionalmente a través de la red de coordenadas que servirá de referencia y además para tener la certidumbre de rumbo o azimut en los desplazamientos en la zona de estudio y sobre todo si ésta es de considerable extensión territorial.

Esta dirección de control está definida por el ángulo de la línea a orientar respecto a la dirección fija denominada meridiano astronómico del lugar. Conociéndose como meridiano astronómico del lugar a la traza que resulta de la intersección de la superficie de la tierra con el plano vertical que pasa por los polos y además contiene el punto de observación que es también un extremo de la línea a orientar. Por lo antes dicho se establece que a todo punto de la superficie terrestre le corresponde un meridiano y que éste, además de pasar por los polos, tiene una dirección fija.

Partiendo de esta condición invariable se puede establecer, con ayuda de los astros, el equipo y método adecuado, la dirección horizontal de referencia para los desplazamientos horizontales en la zona de trabajo.

Se entiende por orientar una línea; ejecutar las operaciones de campo y gabinete necesarias para determinar el ángulo que forma ésta con el meridiano que pasa por cualquiera de sus extremos, al ángulo así determinado se le llama azimut astronómico.

Los métodos utilizados para definir el azimut astronómico de una línea son varios e implican, según el método, observaciones de estrellas o el Sol y su aplicación la dictan los elementos con los que se dispongan así como la época del año, para el caso de la estrella polar.

En general las observaciones al Sol son más sencillas pues no se requiere de la identificación de las estrellas, pero tienen el inconveniente que no se pueden considerar con tanta precisión comparadas con las estrellas. Sin embargo el Sol se puede observar a horas cómodas y precisión suficiente para la mayoría de los trabajos topográficos.

Sin embargo, actualmente existen varios accesorios óptico-mecánicos para hacer más seguras, cómodas, rápidas y precisas las observaciones solares como son:

Prismas oculares¹³, utilizados para visuales inclinadas de hasta unos 65° por encima del horizonte (25° del zenit), son prismas que se enchufan al ocular del anteojo y al microscopio de lectura de ángulos. Para la puntería hacia el sol u objetos brillantes se dispone de tres filtros amarillo, verde o negro según la necesidad del operador. Este dispositivo no permite hacer la puntería directa al centro del disco solar por lo que se realiza aplicando el procedimiento antes mencionado.

Prisma solar¹³ (sistema del Prof. Roelofs). Con este accesorio se logra hacer más sencillas las observaciones al sol, el prisma va montado sobre el objetivo del anteojo y produce cuatro imágenes del sol formando un pequeño cuadrilátero simétrico en el centro. Poniendo la cruz del centro de la retícula exactamente en el centro de esta figura cuadrada, se logra apuntar al centro del sol con una sola visual. La observación y el cálculo se hacen más sencillos y también la precisión es mejor porque la pequeña figura céntrica es mucho más fácil de seguir el borde del sol. La puntería hacia el sol en realidad se hace tan sencilla como apuntar a una estrella.

Declinación del Sol

Para calcular la latitud o el azimut por observaciones solares, es necesario conocer la declinación del Sol en el instante de la observación. La declinación en un instante dado se obtiene interpolando entre valores publicados en las efemérides del Sol para el día y año en que se haga la observación. Se puede utilizar cualquiera de los tipos comunes de elementos como las **Efemérides Americanas** y el **Almanaque Náutico** que informan de la declinación aparente para todos los días del año para el instante de la hora 0^h civil de Greenwich y se adapta especialmente para usarse cuando se conoce la hora legal o la hora de Greenwich. Estas publicaciones se editan en los Estados Unidos y por ello no es fácil conseguir las, no obstante en México se dispone del **Anuario del Observatorio Astronómico Nacional** que publica, entre otros datos, la declinación del Sol en el instante de su paso por el meridiano 0° al Oeste de Greenwich para todos los días del año y es el más comúnmente empleado en las orientaciones astronómicas ordinarias.

¹³ Accesorios de equipos Wild Heerbrugg.

Medida de los ángulos

Siempre que se hacen observaciones para determinar el azimut, parte del trabajo de campo consiste en medir el ángulo horizontal entre el cuerpo celeste y una señal de referencia sobre la superficie del terreno, como las visuales que se dirigen al cuerpo celeste son generalmente muy inclinadas, es extremadamente importante que el eje horizontal esté en ajuste con respecto al eje vertical y que el tránsito se nivele cuidadosamente, además las visuales deben hacerse con el telescopio en su posición normal e invertida.

Procedimiento para hacer las observaciones

Como el Sol es grande, su diámetro angular aparente es de aproximadamente $32'$, no se puede visar su centro con precisión a excepción de usar aditamentos especiales o que el observador cuente con bastante habilidad y experiencia, es mejor hacer coincidir tangencialmente los hilos reticulares a los bordes del disco solar.

El procedimiento para poner en coincidencia ambos hilos de la retícula tangentes a los bordes del Sol se ilustra enseguida:

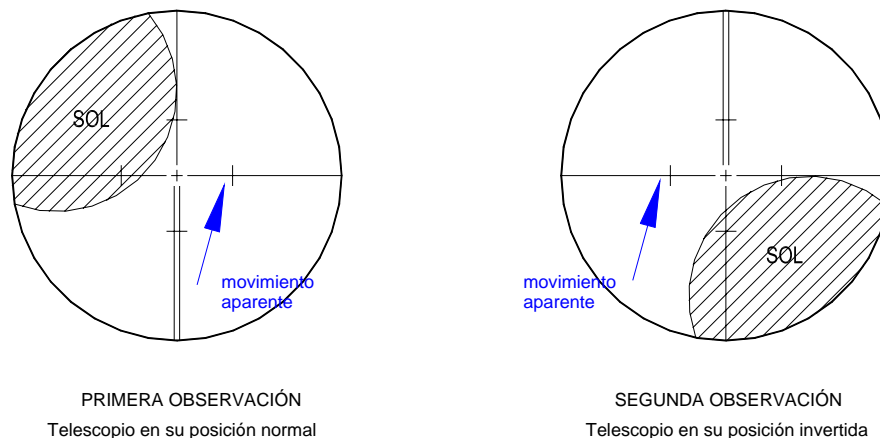


Fig.6

La posición del Sol se muestra en el campo visual del telescopio poco antes de ponerse en tangencia, durante su trayectoria ascendente por la mañana. Para el primer par de observaciones el hilo horizontal de la retícula se ubica a una pequeña distancia arriba del borde inferior del Sol como se ilustra. Al aumentar la altura del Sol, el hilo horizontal se

aproxima a la tangencia debido a su movimiento aparente, al mismo tiempo el hilo vertical se mantiene continuamente en el borde derecho del Sol con el tornillo tangencial del movimiento superior (particular). El instante en que los hilos horizontal y vertical son simultáneamente tangentes al disco solar, se suspende el movimiento del telescopio, se registra la hora y se leen los ángulos de los círculos horizontal y vertical del tránsito. Se invierte el telescopio y se hace la segunda observación con el Sol en el cuadrante inferior derecho, ahora se coloca el hilo vertical a una corta distancia del borde izquierdo de disco solar y debido a traslado aparente hacia arriba, el Sol se aproximará a su tangencia con el hilo vertical, mientras esto ocurre se mantiene el hilo horizontal tangente en su borde superior con ayuda del tornillo de tangencial del movimiento particular. Al momento de presentarse la tangencia simultánea en ambos hilos reticulares se anotan los datos de hora y ángulos horizontal y vertical.

Respecto al orden de las tangencias que integran una serie de observación, existen varios arreglos dependiendo éstos de la técnica de observación del operador o de un orden establecido por requisito de trabajo, sin embargo todos deben completar pares de tangencia en posición directa e inversa del telescopio para asegurar la eliminación de ciertos errores instrumentales.

Para hacer las observaciones en la tarde, el procedimiento es similar con la diferencia que el Sol se visa primero en el cuadrante superior derecho y después en el inferior izquierdo.

Orientación de la línea ED-60 / M1

En todo proyecto u obra importante debe incluirse la definición del concepto de dirección de control y referencia, sobre todo al principio de los trabajos topográficos que establecen las posiciones de control, por ello en el proyecto hidroeléctrico Cancuc, para el caso del sitio denominado Chacté se verificó el control direccional por medio de la detección de la meridiana del lugar, y consecuentemente del azimut de la línea entre el vértice **ED-60** y el punto **M1**, mediante la observación astronómica al sol.

Notas de campo de orientación astronómica para determinación del azimut

Transito en el vértice ED-60



Poblado: Chacté, Mpio. de Ocosingo Edo. de Chiapas

Observó: José Rodríguez A.

Fecha: 24 de Mayo de 1984

Calculó: Jesús Arrona Robles

Latitud: 16° 56' 11" N **Longitud:** 92° 20' 41" W **presión:** 670.56 mmHg **temperatura:** 18° C

SERIE	PUNTO VISADO *	POS. ANTEOJO	θ	Φ	HORA(T.C.)
	M-1	Directa	180° 00' 00"		
	 Sol	Directa	304° 14' 25"	57° 27' 27"	7 ^h 59 ^m 52 ^s
	 Sol	Inversa	123° 41' 54"	303° 40' 13"	8 ^h 02 ^m 27 ^s
	M-1	Inversa	359° 59' 59"		
S u m a s			247° 56' 19"	113° 47' 14"	16 ^h 02 ^m 19 ^s
P r o m e d i o s			123° 58' 10"	56° 53' 37"	8 ^h 01 ^m 09.5 ^s
					8^h 04^m 47^s.58

* Los croquis representan la posición de la imagen del sol con respecto a los hilos reticulares.

Debido a que se desconocía el estado del reloj utilizado, se calculó primeramente la declinación y la altura verdadera del sol a la hora de observación, así como el ángulo horario para cada serie de observación, se realizaron seis cálculos del adelanto del reloj rechazándose la cuarta. Una vez establecido Δt promedio se corrigió la hora promedio de observación para cada serie y así se estuvo en la posibilidad de calcular la declinación a la hora de observación y consecuentemente todos los demás elementos para calcular finalmente el azimut para cada serie y obtener un promedio de todos ellos.

a).- Cálculo de la declinación del sol al observar:

Hora del centro:	8 ^h 01 ^m 09.5 ^s (8 ^h 04 ^m 47.58 ^s)
	-12 ^h 00 ^m 00 ^s
Intervalo:	-3 ^h 58 ^m 50.5 ^s (-3.980694)
Variación horaria el 24 de mayo/84	+27 ^{''} .6
Variación horaria el 25 de mayo/84	+26 ^{''} .7
Declinación a la hora base	20° 53' 56''
Corrección = ½(27 ^{''} .6+26 ^{''} .7)(-3.980694) = -108 ^{''} .0758	-0° 01' 48 ^{''} .07
Declinación a la hora de observación:	20° 52' 07 ^{''} .93 (20° 52' 09 ^{''} .56)

b).- Corrección de la altura del Sol por refracción y paralaje:

$$R = \gamma\beta\tau \quad \gamma = 60'' \cdot 6 \tan z' \quad \beta = \frac{P_1}{P_0} \quad \tau = \frac{1}{(1 + \alpha t)}$$

$$P = 8'' \cdot 8 \sin z' \quad P_0 = 762 \text{ mmHg} \quad P_1 = \text{presión de observación}$$

γ = refracción media β = factor barométrico τ = coeficiente termométrico

α = 0.004 coef. de dilatación del aire t = temperatura de observación

Distancia zenital aparente:	56° 53' 37''
Corrección por refracción:	+ 01' 16 ^{''} .29
Distancia zenital:	56° 54' 53 ^{''} .29
90° - Distancia zenital:	33° 05' 06 ^{''} .71
Corrección por paralaje:	+ 07 ^{''} .37
Altura verdadera	33° 05' 14^{''}.08

c).- Cálculo del Angulo Horario

Altura del sol (corrección por refracción y paralaje)	$h = 33^{\circ} 05' 14''.08$
Declinación del sol a la hora de observación	$\delta = 20^{\circ} 52' 07''.93$
Latitud del lugar de observación	$\varphi = 16^{\circ} 56' 11''$
Angulo Horario ($60^{\circ} 21' 15''.30$)	$4^h 01^m 25^s.02$

Nota: $24^h = 360^{\circ}$ $1^h = 15^{\circ}$ $1^m = 15'$ $1^s = 15''$

Del vértice ED60 se conocía previamente la posición geográfica, latitud y longitud, pues en él se realizó una determinación puntual de georeferenciación con equipo de posicionamiento satelital Geociever MX1502 de Magnavox.

Formula aplicada;
$$\cos AH = \frac{\sin h - \sin \delta \sin \varphi}{\cos \delta \cos \varphi}$$

$$\cos AH = \frac{\sin 33^{\circ} 05' 14''.08 - (\sin 20^{\circ} 52' 07''.93 \sin 16^{\circ} 56' 11''.71)}{\cos 20^{\circ} 52' 07''.93 \cos 16^{\circ} 56' 11''.71} \cong 0.49451478$$

d).- Cálculo de la hora de observación: $TML = (12 + E) - AH$

12 + E (hora de paso por el M90°)	$11^h 56^m 48^s.72$
- AH	$4^h 01^m 25^s.02$
TML	$7^h 55^m 23^s.70$
+ $\Delta\lambda$	$0^h 09^m 22^s.77$
TM90OWG	$8^h 04^m 46^s.47$
Tiempo de observación	$8^h 01^m 09^s.50$
Δt (estado del reloj utilizado)	$0^h 03^m 36^s.97$ *

* Nota: El reloj utilizado tiene este atraso

e).- Cálculo del azimut del Sol:

$$\cos Az = \frac{\text{sen } \delta - (\text{sen } \varphi \text{ sen } A)}{\cos \varphi \cos A}$$

$$\text{Cos Az} = \frac{\text{sen } 20^{\circ} 52' 09''.56 - (\text{sen } 16^{\circ} 56' 11''.71 \text{ sen } 33^{\circ} 05' 14''.08)}{\cos 16^{\circ} 56' 11''.71 \cos 33^{\circ} 05' 14''.08} = 0.24604506$$

Azimut_{Sol} = 75° 45' 23''.02

$$\begin{array}{r} 123^{\circ} 58' 10''.00 \\ - 75^{\circ} 45' 23''.02 \\ \hline 48^{\circ} 12' 46''.98 \\ 359^{\circ} 59' 60''.00 \\ \hline \mathbf{311^{\circ} 47' 13''.02} \end{array} \quad \mathbf{Azimut \ ED-60 / M-1}$$

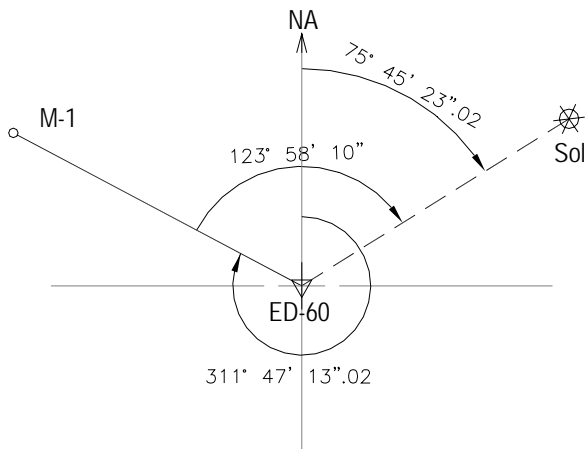






Fig.7

SERIE	PUNTO VISADO	POS ANTEOJO	θ	Φ	HORA(T.C.)	
2	M-1	Directa	180° 00'00"			
	 Sol	Directa	304° 26'17"	56° 09'22"	8 ^h 05 ^m 28 ^s	
	 Sol	Inversa	123° 51'43"	304° 50'52"	8 ^h 07 ^m 32 ^s	
	M-1	Inversa	0° 00'00"			
	Sumas			248° 18'00"	111° 18'30"	16 ^h 13 ^m 00 ^s
	Promedios			124° 09' 00"	55° 39' 15"	8 ^h 06 ^m 30 ^s



8^h 10^m 08^s.08

Declinación del Sol al observar	$\delta = 20^{\circ} 52' 11''.34$ ($20^{\circ} 52' 11''.98$)
Altura del Sol (corr. por refracción y paralaje)	$h = 34^{\circ} 19' 39''.46$
Angulo horario	$AH = 3^h 56^m 04^s.11$
Hora de observación:	8 ^h 06 ^m 30 ^s .00
12 + E	11 ^h 56 ^m 48 ^s .72
- AH	3 ^h 56 ^m 04 ^s .11
TML	8 ^h 00 ^m 44 ^s .61
+ $\Delta\lambda$	0 ^h 09 ^m 22 ^s .77
TM90 ^o WG	8 ^h 10 ^m 07 ^s .38
Hora de observación	8 ^h 06 ^m 30 ^s .00
Estado del reloj Δt	0 ^h 03 ^m 37 ^s .38
Azimut del Sol:	75° 56' 11''.29
Azimut ED-60 / M-1	311° 47' 11''.29

SERIE	PUNTO VISADO	POS ANTEOJO	θ	Φ	HORA(T.C.)
3	M-1	Directa	180° 00'00"		
	 Sol	Directa	304° 36'00"	55° 01'01"	8 ^h 10 ^m 20 ^s
	 Sol	Inversa	124° 02'19"	306° 07'54"	8 ^h 13 ^m 04 ^s
	M-1	Inversa	359° 59'59"		
	Sumas			248° 38'18"	108° 53'07"
Promedios			124° 19' 09"	54° 26' 33"	8 ^h 11 ^m 42 ^s

8^h 15^m 28^s.08

Declinación del Sol al observar	$\delta = 20^\circ 52' 12''.69$ (20° 52' 14''.33)
Altura del Sol (corr. por refracción y paralaje)	$h = 35^\circ 32' 24''.06$
Angulo horario	$AH = 3^h 50^m 50^s.68$
Cálculo de la hora de observación:	8 ^h 11 ^m 42 ^s .00
12 + E	11 ^h 56 ^m 48 ^s .72
- AH	3 ^h 50 ^m 50 ^s .68
TML	8 ^h 05 ^m 58 ^s .04
+ $\Delta\lambda$	0 ^h 09 ^m 22 ^s .77
TM90°WG	8 ^h 15 ^m 20 ^s .81
Hora de observación	8 ^h 11 ^m 42 ^s .00
Estado del reloj Δt	0 ^h 03 ^m 38 ^s .81
Azimet del Sol:	76° 06' 19''.17
Azimet ED-60 / M-1	311° 47' 10''.18

SERIE	PUNTO VISADO	POS ANTEOJO	θ	Φ	HORA(T.C.)
4	V-1	Directa	180° 00'00"		
	 Sol	Directa	304° 45'45"	53° 51'05"	8 ^h 15 ^m 24 ^s
	 Sol	Inversa	124° 12'39"	307° 30'02"	8 ^h 19 ^m 57 ^s
	M-1	Inversa	00° 00'00"		
	Sumas			248° 58'24"	106° 21'03"
Promedios			124° 29' 12"	53° 10' 31"	8 ^h 17 ^m 40 ^s

8^h 21^m 18^s.58

Declinación del Sol al observar	$\delta = 20^{\circ} 52' 15''.39$ (20° 52' 17''.04)
Altura del Sol (corr. por refracción y paralaje)	$h = 36^{\circ} 48' 29''.10$
Angulo horario	$AH = 3^h 45^m 23^s.10$
Cálculo de la hora de observación:	8 ^h 17 ^m 40 ^s .50
12 + E	11 ^h 56 ^m 48 ^s .72
- AH	3 ^h 45 ^m 23 ^s .10
TML	8 ^h 11 ^m 25 ^s .62
+ $\Delta\lambda$	0 ^h 09 ^m 22 ^s .77
TM90 ^o WG	8 ^h 20 ^m 48 ^s .39
Hora de observación	8 ^h 17 ^m 40 ^s .50
Estado del reloj Δt	0 ^h 03 ^m 07 ^s .89 *
Azimut del Sol:	76° 16' 26''.86
Azimut ED-60 / M-1	311° 47' 14''.86

* Rechazada para el promedio general de Δt

SERIE	PUNTO VISADO	POS ANTEOJO	θ	Φ	HORA(T.C.)
5	M-1	Directa	180° 00'00"		
	Sol	Directa	304° 57'05"	52° 27'01"	8 ^h 21 ^m 25 ^s
	Sol	Inversa	124° 21'46"	308° 45'14"	8 ^h 24 ^m 20 ^s
	M-1	Inversa	00° 00'01"		
	Sumas			249° 18'52"	103° 41'47"
Promedios			124° 39' 26"	51° 50' 53"	8 ^h 22 ^m 52 ^s

8^h 26^m 30^s.58

Declinación del Sol al observar	$\delta = 20^{\circ} 52' 17''.75$ (20° 52' 19''.39)
Altura del Sol (corr. por refracción y paralaje)	$h = 38^{\circ} 08' 10''.09$
Angulo horario	$AH = 3^h 39^m 40^s.26$
Cálculo de la hora de observación:	8 ^h 22 ^m 52 ^s .50
12 + E	11 ^h 56 ^m 48 ^s .72
- AH	3 ^h 39 ^m 40 ^s .26
TML	8 ^h 17 ^m 08 ^s .46
+ $\Delta\lambda$	0 ^h 09 ^m 22 ^s .77
TM90°WG	8 ^h 26 ^m 31 ^s .23
Hora de observación	8 ^h 22 ^m 52 ^s .50
Estado del reloj Δt	0 ^h 03 ^m 38 ^s .73
Azimet del Sol:	76° 26' 32''.62
Azimet ED-60 / M-1	311° 47' 06''.62

SERIE	PUNTO VISADO	POS ANTEOJO	θ	Φ	HORA(T.C.)
6	M-1	Directa	180° 00'00"		
	Sol	Directa	305° 05'23"	51° 21'46"	8 ^h 26 ^m 05 ^s
	Sol	Inversa	124° 28'25"	309° 45'10"	8 ^h 28 ^m 39 ^s
	M-1	Inversa	359° 59'59"		
	Sumas			249° 33'47"	101° 36'36"
Promedios			124° 46' 53"	50° 48'18"	8 ^h 27 ^m 22 ^s

8^h 31^m 00^s.08

Declinación del Sol al observar	$\delta = 20^\circ 52' 19''.78$ (20° 52' 21''.42)
Altura del Sol (corr. por refracción y paralaje)	$h = 39^\circ 10' 47''.81$
Angulo horario	$AH = 3^h 35^m 10^s.97$
Cálculo de la hora de observación:	8 ^h 27 ^m 22 ^s .00
12 + E	11 ^h 56 ^m 48 ^s .72
- AH	3 ^h 35 ^m 10 ^s .97
TML	8 ^h 21 ^m 37 ^s .75
+ $\Delta\lambda$	0 ^h 09 ^m 22 ^s .77
TM90 ^O WG	8 ^h 31 ^m 00 ^s .52
Hora de observación	8 ^h 27 ^m 22 ^s .00
Estado del reloj Δt	0 ^h 03 ^m 38 ^s .52
Azimut del Sol:	76° 34' 05''.44
Azimut ED-60 / M-1	311° 47' 11''.94

Δt promedio de cinco observaciones (se rechazó la No.4): **$\Delta t = 0^h 03^m 38^s.08$**

Azimut promedio para la línea ED-60 / M-1: **$Az = 311^\circ 47' 11''.32$**

IV.3 Secciones transversales

En el proceso de estudio de factibilidad del proyecto hidroeléctrico Cancuc, principalmente en apoyo a la exploración geológica y geofísica en los estudios de detalle mencionados al principio del presente capítulo, se aplican los métodos directos e indirectos mencionados. La exploración se basa principalmente en levantamientos superficiales de las características del terreno a lo largo de secciones transversales a un eje de apoyo de las mismas, estas secciones normalmente se disponen de manera paralela entre sí y al rumbo general del río en su transcurso dentro del estrechamiento que será utilizado para la construcción de la cortina. Dadas las características selváticas de los sitios, para el levantamiento de las secciones se requiere hacer brecha a rumbo fijo y es así como se trazan y señalan los puntos de referencia para el geólogo que hará el reconocimiento superficial.

El trazo y levantamiento de estas secciones tiene el propósito de conocer el perfil topográfico del terreno así como la ubicación de los puntos de referencia identificados por el geólogo como pueden ser contactos litológicos, fallas, fracturas, muestras de roca que le serán útiles, para los técnicos del equipo geofísico la importancia se enfoca a la ubicación regular de distancias regulares de acuerdo a la separación requerida por el método que se aplique.

Pueden aplicarse dos criterios para el trazo y/o levantamiento de secciones dependiendo de los estudios que se realizarán en ellas.

Si la sección se hace para el estudio geológico únicamente, puede trazarse la línea con su respectiva brecha y levantar el perfil de la misma y posteriormente levantar los puntos de los cuales el geólogo haya tomado muestras de roca o marcado el lugar de toma de rumbo y echado de los afloramientos detectados en la trayectoria. Este criterio implica más trabajo de campo para el topógrafo, pues la sección será recorrida dos veces.

El segundo criterio consiste en trazar la línea levantando los datos necesarios para estar en la posibilidad de dibujar el perfil del terreno, adicionalmente ir estableciendo marcas a distancias regulares de 20 o 25m que servirán de referencia tanto para el geólogo

como a las brigadas de exploración geofísica, la información así referida les permitirá hacer sus interpretaciones y vaciado de resultados en el dibujo del perfil de la sección y la planta topográfica que mostrará la ubicación de la sección con todos los puntos de referencia marcados en el terreno. De esta manera se recorre una sola vez la sección no afectando significativamente la precisión de ubicación de la información de la geología y geofísica generalmente en planos de escalas 1: 000 y 1: 5000.

Estas secciones se pueden trazar y levantar con variado equipo y métodos topográficos, pero el de estadia proporciona buenos resultados, con la ventaja adicional que es rápido en su aplicación debido a la cantidad mínima de equipo que es necesario trasladar en el recorrido de las brechas normalmente de pronunciadas pendientes y el proceso de la información de campo es muy sencilla con la ayuda de calculadoras programables.

Posterior al estudio regional de la zona del proyecto Cancuc, se hace necesario enfocar los levantamientos a zonas más reducidas entorno al probable sitio de presa, tal es el caso de los lugares; Cañón de Chacté, la zona del túnel de transferencia, la boquilla San Agustín y el sitio Yalchiptic-Tzaconejá. En todos ellos se han realizado levantamientos topográficos sistemáticos, es decir, establecimiento de control, seccionamiento para exploración, perfiles hidráulicos, configuración del terreno en zonas de interés, etc. De echo es una forma integral de realizar el apoyo topográfico al estudio de factibilidad de un proyecto con fines hidroeléctricos, es por ello que se ha tomado un ejemplo representativo de los distintos sitios que integran el P.H. Cancuc.

Tal es el caso más significativo de las secciones transversales de las cuales se hacen decenas en el proyecto, perfiles del terreno que cada cual esencialmente son todas diferentes pero que en general se hacen en ellas procesos similares, como la construcción del perfil topográfico con sus referencias de campo, el vaciado de la información colectada por parte del geólogo y del geofísico y finalmente el resultado de la integración general de toda la información en conjunto. Enseguida se presenta una sección típica que muestra los diferentes usos e interpretaciones que se hacen en ella.

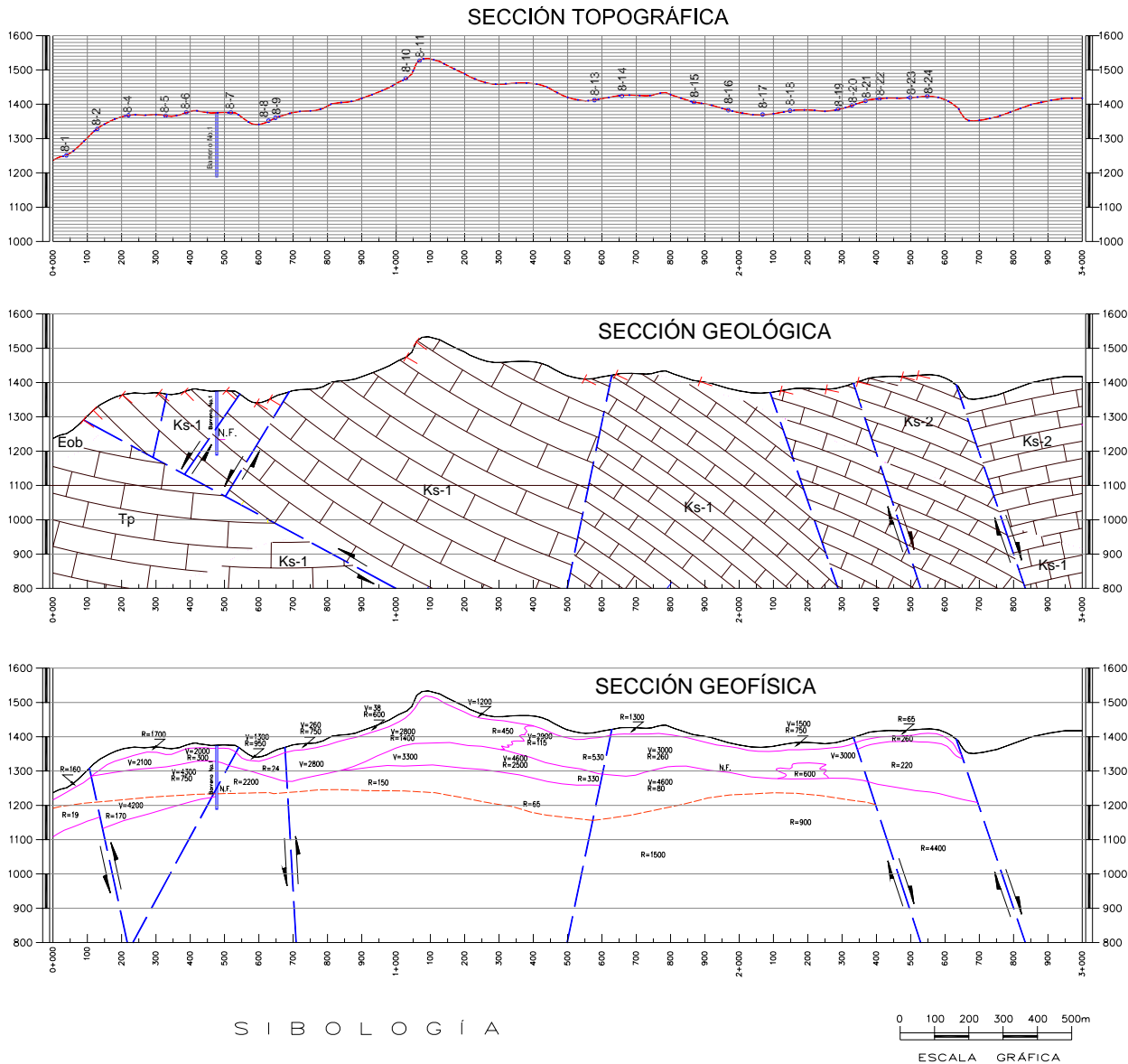


Fig.8

IV.4 Configuración en la boquilla San Agustín

Con el propósito de evaluar las distintas alternativas de cortina del anteproyecto y posteriormente del diseño de la obra civil, se plante la necesidad de generar el plano base topográfico de áreas específicas que permita apoyar los estudios de funcionalidad y costos de la obra civil de la obra. Este plano base topográfica se requiere de escala 1:1000 y en ocasiones 1:500 con curvas de nivel a cada metro. Estos levantamientos se realizan en los cuatro sitios de cortina por igual, refiriéndonos en adelante solamente a la configuración topográfica del sitio San Agustín.

El sitio presenta dos zonas marcadamente distintas en cuanto a las formas del terreno, la primera es de pendientes suaves con pastizal para la ganadería en la cual se ubica el poblado Chalam del Carmen y la segunda presenta pendientes fuertes con vegetación abundante y alta que forman las pequeñas montañas en el lugar y es donde se empotrará lateralmente la cortina del lugar.

Ante el reto planteado por las condiciones contrastadas del terreno, el método de levantamiento aplicado resultó de la combinación del de radiaciones con el de cuadrículado, pero con la variante de que en vez de la cuadrícula se trazaron solamente las líneas en un solo sentido resultando un seccionamiento cuya orientación coincidiera con la de las secciones transversales trazadas para el estudio regional de geología y geofísica del sitio, se muestran en el plano No.5 San Agustín. Las radiaciones se realizan coincidentes a la sección respectiva y solo en los casos de la existencia de detalles significativos entre dos secciones contiguas como casas, puentes, caminos, etc. se miden visuales radiales hacia esos detalles cuya dirección de apoyo es la de la propia sección en cuestión.

El control principal de este sitio lo constituye la línea que une los vértices ED-57 y V1, siendo esta orientada mediante la observación de alturas absolutas del sol y de ED-57 se determinó su posición geográfica con el equipo Surveyor Magnavox MX-1502, así como también la poligonal cerrada establecida para efectos de control del levantamiento de configuración topográfica del lugar.

Con el objetivo de que el polígono cerrado de apoyo en la zona garantice la confianza requerida acorde a la utilidad de los planos por generar, se establece que la precisión sea de al menos 1: 10 000 y tolerancia de cierre angular de $30''\sqrt{n}$, el polígono se estableció preferentemente en la zona plana para evitar principalmente la mayor cantidad

de estaciones y lados cortos. En los lados de dirección Este-Oeste, se marcaron las secciones con separación de 20m entre sí y posteriormente se levantaron las secciones con dirección de norte a sur, como se muestra en la siguiente figura:

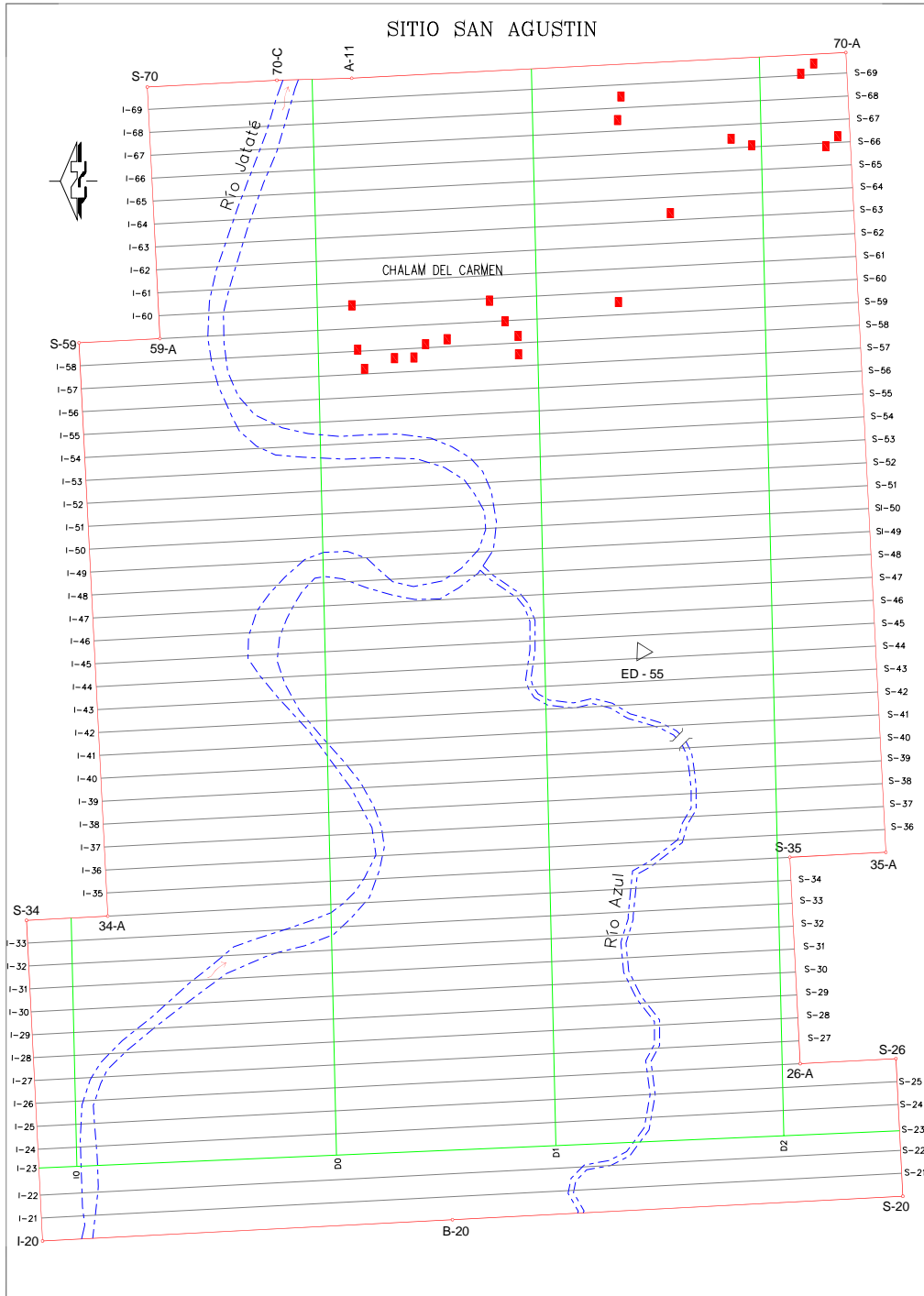


Fig.9

No obstante el rango corto de cobertura o influencia de cada sección, que es de 10m a cada lado de sí misma, muchas veces no se configuraran adecuadamente algunos detalles significativos del terreno o de infraestructura como pueden ser montículos, dolinas, nacimientos de manantial, casas, tramos de río y hasta cañadas, entonces se requiere hacer visuales radiales o hasta alguna poligonal auxiliar, todo esto con el propósito de que sea cubierta suficientemente la zona de configuración.

Algunos problemas típicos de esta metodología son resueltos por cualquiera de los procedimientos que se han combinado, radiaciones y cuadrícula, como se describe enseguida:

1.- Obstáculos en la trayectoria de la sección; situación que se presenta con regularidad en la zona poblada con casas, linderos o árboles, se resuelve este contratiempo aplicando cualquiera de los métodos conocidos para salvar un obstáculo. De ser mas práctico, algunas veces se resuelve continuando la sección obstaculizada partiendo desde la sección contigua como se muestra en la figura siguiente:

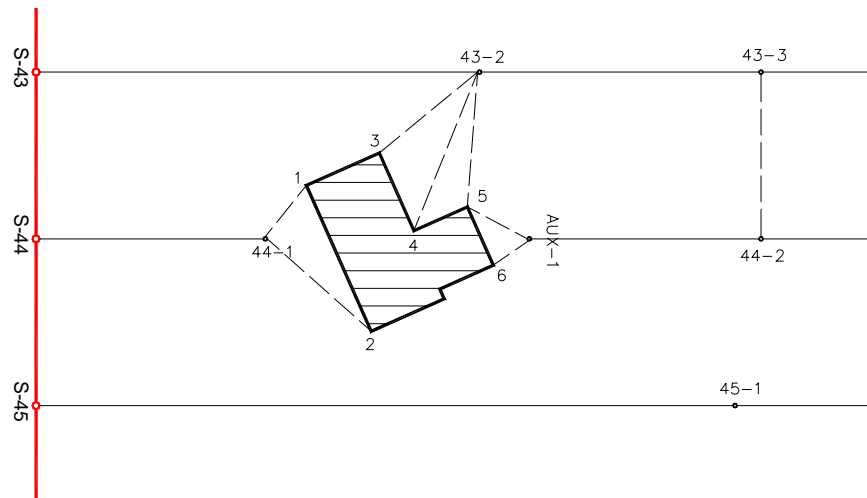


Fig.10

El obstáculo se presenta en el levantamiento de la sección S44, que es perpendicular a la línea de poligonal de apoyo S43 – S45, al llegar al cambio de estación S44-1 y la sección ya no se prolongará pero se levantan los detalles mediante mediciones radiales de ángulos y distancias. Se observa también que la sección adyacente S43 ya fue levantada sin ningún problema, entonces se aprovecha el punto de estación 43-3 para determinar el punto

44-2 mediante trazos auxiliares con las distancias y cambios de dirección adecuados se retoma la trayectoria de la sección obstaculizada S-44.

La solución al problema presentado depende de las condiciones del terreno y a la magnitud del obstáculo, una inspección rápida nos proveerá de los elementos de juicio para la aplicación del método adecuado.

2.- Las secciones llevan una dirección similar al de una cañada o río y no la cruzan adecuadamente.

En algunas ocasiones se presenta esta situación en la cual las secciones llevan una trayectoria “paralela” y por lo tanto se tendrán pocos detalles de la topografía en ese lugar como serían los puntos A, B y C mostrados en la figura adjunta:

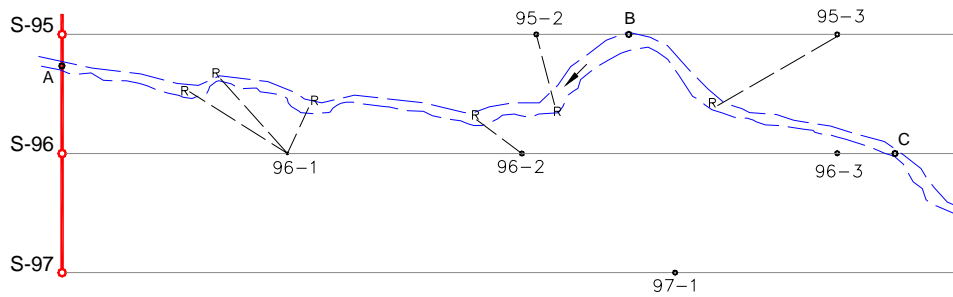


Fig.11

Con la información así colectada se tendría deficiencia de datos deduciendo o simulando la trayectoria del escurrimiento, para evitarlo se hacen mediciones radiales a los puntos significativos de cambios de dirección del río representados por la letra R

Cuando las dimensiones de la cañada o escurrimiento provocan que las visuales sean muy inclinadas o se requiera de brecheo excesivo, la solución será detallar esa parte con la ayuda de poligonal auxiliar siguiendo la trayectoria del escurrimiento.

Notas de campo de polígono cerrado para trasladar coordenadas al levantamiento de configuración del sitio San Agustín.

Poblado: Chalam del Carmen, Mpio. de Ocosingo

Levantó: Jesús Arrona Robles

Estado: Chiapas

Equipo: Wild T-2 / DI4S

Fecha: Enero de 1995

LADO		ANG. HORIZONTAL		DIST. INCL. m	ANGULO VERTICAL		h m	rr m	DIST. HOR. m	DIST. VERT. m
EST	PO	POS. DIR. o , “	POS. INV. o , ”		POS. DIR. o , ”	POS. INV. o , ”				
ED-55	V1	00 00 04	180 00 06							
	X1	133 34 36	313 34 38	158.997	90 20 07	269 39 55	1.58	1.58	158.995	-0.929
	Prom.	133 34 32	133 34 32		90 20 06					
X1	ED-55	00 00 19	180 00 21							
	X2	182 20 51	02 20 52	277.996	89 41 23	270 18 41	1.575	1.575	277.992	1.508
	Prom.	182 20 32	182 20 31		89 41 21					
X2	X1	00 01 22	180 01 23							
	X3	122 17 32	302 17 30	47.395	89 13 16	270 46 48	1.635	1.635	47.391	0.644
	Prom.	122 16 10	122 16 07		89 13 14					
X3	X2	00 00 15	180 00 16							
	X4	185 16 46	05 16 46	206.998	90 12 26	269 47 36	1.610	1.610	206.997	-0.747
	Prom.	185 16 31	185 16 30		90 12 25					
X4	X3	00 00 13	180 00 12							
	X5	169 43 12	349 43 11	100.500	89 57 26	270 02 36	1.620	1.620	100.500	0.075
	Prom.	169 42 59	169 42 59		89 57 25					
I-23 (X5)	X4	00 00 29	180 00 30							
	X6	164 47 06	344 47 07	59.993	89 09 35	270 50 27	1.620	1.620	59.987	0.880
	Prom.	164 46 37	164 46 37		89 09 34					
I-20 (X6)	X5	00 00 41	180 00 41							
	X7	80 11 53	260 11 53	304.992	89 09 49	270 50 11	1.605	1.605	304.985	2.145
	Prom.	80 11 12	80 11 12		89 09 49					
X7	X6	00 00 34	180 00 35							
	X8	138 14 58	318 14 58	63.999	89 45 26	270 14 35	1.585	1.585	63.999	0.271
	Prom.	138 14 24	138 14 23		89 45 25					

Notas de campo de polígono cerrado para trasladar coordenadas al levantamiento de configuración del sitio San Agustín. (continuación)

Poblado: Chalam del Carmen, Mpio. de Ocosingo

Levantó: Jesús Arrona Robles

Estado: Chiapas

Equipo: Wild T-2 / DI4S

Fecha: Enero de 1995

LADO		ANG. HORIZONTAL		DIST. INCL. <i>m</i>	ANGULO VERTICAL		<i>h</i> <i>m</i>	<i>rr</i> <i>m</i>	DIST. HOR. <i>m</i>	DIST. VERT. <i>m</i>
EST	PO	POS. DIR. ° , ' , ''	POS. INV. ° , ' , ''		POS. DIR. ° , ' , ''	POS. INV. ° , ' , ''				
X8	X7	00 00 32	180 00 34							
	X9	172 00 18	352 00 20	344.957	90 53 59	269 06 00	1.605	1.605	344.915	-5.416
	Prom.	171 59 46	171 59 46		90 53 59					
X9	X8	00 00 29	180 00 31							
	X10	240 15 34	60 15 35	34.564	92 34 12	267 25 50	1.600	1.600	34.530	-1.549
	Prom.	240 15 05	240 15 04		92 34 11					
X10	X9	00 00 38	180 00 36							
	ED-55	94 52 15	274 52 11	86.941	87 53 56	272 06 06	1.550	1.550	86.883	3.187
	Prom.	94 51 37	94 51 35		87 53 55					
ED-55	X10	00 01 20	180 01 21							
	X1	70 06 32	250 06 31	158.997	90 20 07	269 39 55	1.610	1.610	158.995	-0.929
	Prom.	70 05 12	70 05 10		90 20 06					

La información de campo así colectada se revisa que cumpla con la tolerancia de cierre angular preestablecido de acuerdo a la importancia del levantamiento.

En la planilla de cálculo correspondiente al levantamiento anterior, se presenta la secuencia para determinar las coordenadas horizontales *X* e *Y*. Para la definición de la componente *Z*, se analizan los desniveles o sea las distancias verticales que se obtienen a través de sencillos cálculos trigonométricos o directamente de la información procesada que despliega el distanciómetro basado en el ángulo vertical y la distancia inclinada medida directamente.

El procedimiento para calcular el desnivel entre la estación y el punto medido, que puede ser una radiación o un cambio de estación, pues generalmente se conoce la

elevación del punto inicio o de cualquier vértice de la poligonal y en base a esta información es posible determinar la altura (Z) de cada vértice de acuerdo al siguiente razonamiento:

$$\mathbf{Elev\ i = Elev\ o + i + Vert.\ Dist. - rr}$$

Elev. i : es la coordenada Z del punto hacia el cual medimos la distancia inclinada y el ángulo vertical

Elev o : es la coordenada Z (arbitraria o referida a una superficie de nivel controlada) del punto de estación

i : es la altura del instrumento

Vert. Dist.: es la distancia vertical o desnivel entre el centro óptico del instrumento

y

la señal

rr : es la altura de la señal sobre el terreno (prismas).

Notas de campo de polígono cerrado envolvente a la zona de configuración del sitio San Agustín.**Poblado:** Chalam del Carmen, Mpio. de Ocosingo**Levantó:** Jesús Arrona Robles**Estado:** Chiapas**Equipo:** Wild T-2 / DI4S**Fecha:** Enero de 1995

LADO		ANG. HORIZONTAL		DIST. INCL. m	ANGULO VERTICAL		h m	rr m	DIST. HOR. m	DIST. VERT. m
EST	PO	POS. DIR. o , “	POS. INV. o , ”		POS. DIR. o , ”	POS. INV. o , ”				
I-20	S-34	00 00 01	179 59 59							
	B-20	90 00 01	270 00 00	364.224	89 58 53	270 01 05	1.52	1.520	364.224	0.116
	Prom.	90 00 00	90 00 01		89 58 54					
B-20	I-20	00 00 00	180 00 01							
	S-20	180 00 00	00 00 00	400.211	91 03 20	268 56 38	1.58	1.580	400.143	-7.377
	Prom.	180 00 00	180 00 00		91 03 21					
S-20	B-20	00 00 00	179 59 59							
	S-26	90 00 01	270 00 00	120.087	88 08 13	271 51 45	1.466	1.466	120.024	3.904
	Prom.	90 00 00	90 00 01		88 08 14					
S-26	S-20	00 00 00	180 00 00							
	26-A	90 00 00	269 59 59	85.135	91 23 52	268 36 06	1.660	1.660	85.110	-2.077
	Prom.	90 00 00	89 59 59		91 23 53					
26-A	S-26	00 00 00	179 59 59							
	S-35	270 00 00	90 00 00	180.087	89 12 19	270 47 39	1.520	1.520	180.070	2.497
	Prom.	270 00 00	89 59 59		89 12 20					
S-35	26-A	00 00 01	180 00 01							
	35-A	270 00 01	90 00 01	96.802	61 51 04	298 08 56	1.544	1.544	85.353	45.668
	Prom.	270 00 00	90 00 00		61 51 04					
35-A	S-35	00 00 01	179 59 59							
	70-A	90 00 00	270 00 00	698.506	92 42 44	267 17 14	1.465	1.465	697.723	-33.061
	Prom.	89 59 59	90 00 01		92 42 45					
70-A	35-A	00 00 00	180 00 00							
	A-11	90 00 00	270 00 00	439.457	92 10 47	267 49 11	1.575	1.575	439.139	-16.718
	Prom.	90 00 00	90 00 00		92 10 48					

Notas de campo de polígono cerrado envolvente a la zona de configuración del sitio San Agustín.**Poblado:** Chalam del Carmen, Mpio. de Ocosingo**Levantó:** Jesús Arrona Robles**Estado:** Chiapas**Equipo:** Wild T-2 / DI4S**Fecha:** Enero de 1995

LADO		ANG. HORIZONTAL		DIST. INCL. m	ANGULO VERTICAL		h m	rr m	DIST. HOR. m	DIST. VERT. m
EST	PO	POS. DIR. o , “	POS. INV. o , ”		POS. DIR. o , ”	POS. INV. o , ”				
A-11	70-A	00 00 00	180 00 00							
	70-C	181 23 41	01 23 41	66.670	94 52 30	265 07 28	1.374	1.374	66.429	-5.666
	Prom.	181 23 41	181 23 41		94 52 31					
70-C	A-11	00 00 00	180 00 00							
	S-70	178 36 17	358 36 17	128.434	63 44 31	296 15 27	1.500	1.500	115.182	56.820
	Prom.	178 36 17	178 36 17		63 44 32					
S-70	70-C	00 00 00	180 00 00							
	59-A	90 00 00	270 00 00	222.934	99 57 18	260 02 40	1.470	1.470	219.570	-38.540
	Prom.	90 00 00	90 00 00		99 57 19					
59-A	S-70	00 00 00	180 00 00							
	S-59	270 00 00	90 00 00	72.687	81 18 13	278 41 45	1.610	1.610	71.852	10.990
	Prom.	270 00 00	270 00 00		81 18 14					
S-59	59-A	00 00 00	180 00 01							
	34-A	90 00 00	270 00 01	500.618	92 04 51	267 55 07	1.640	1.640	500.288	-18.180
	Prom.	90 00 00	90 00 00		92 04 52					
34-A	S-59	00 00 00	179 59 59							
	S-34	270 00 00	89 59 59	72.729	83 38 42	276 21 16	1.550	1.550	72.282	8.050
	Prom.	270 00 00	90 00 00		83 38 43					
S-34	34-A	00 00 01	180 00 00							
	I-20	90 00 01	269 59 59	279.882	91 18 55	268 41 03	1.390	1.390	279.808	-6.426
	Prom.	90 00 00	89 59 59		91 18 56					

V. AJUSTE Y CÁLCULO DE COORDENADAS

El mapeo de los trabajos de apoyo topográfico a estudios de geología y geofísica se realiza en planos escala 1:20 000 y 1:50 000 y si es posible disponer de escalas mas grandes como 1:10 000 para esta tipo de estudios es mas que suficiente, pero para el diseño de las obras civiles de retención como ataguías , túneles de desvío, la cortina misma, la casa de máquinas, etc. se hace necesario contar con planos topográficos de escalas 1:1000 y 1:2000, por ello en cada una de las presas derivadoras de Yalchiptic, San Agustín y retención en el sitio Chacté se realizó el levantamiento a detalle de los sitios mencionados.

El sitio Chacté es un estrechamiento topográfico de difícil acceso pues se trata de un “cañón” de gran tamaño y el levantamiento topográfico con métodos directos sería difícil y tardado, por ello la Comisión Federal de Electricidad resolvió hacer un trabajo de fotogrametría en la entrada del estrechamiento. Para la restitución respectiva se realizó el “picado” de puntos en fotografías aéreas del sitio para el control terrestre y posteriormente su localización y determinación de la posición geográfica a través de la medición de las relaciones geométricas entre ellos y respecto de un sistema de coordenadas.

Es así como se estableció un triangulo en la entrada del estrechamiento “cañón de Chacté y para que sirviera de apoyo y control de las mediciones radiales hacia los puntos identificados para el control terrestre de la posterior restitución de las formas topográficas del cubrimiento fotográfico programado.

De este triangulo y las posiciones ligadas a él se midieron los elementos de ángulos y distancias, definiéndose los promedios angulares y valores reducidos de las distancias, para posteriormente realizar el ajuste simultáneo de los elementos del triangulo y también el ajuste angular por estación hacia los puntos radiales. Con el resultado de este ajuste, el conocimiento de la posición geográfica del uno de los vértices del triángulo, ED-60, y la dirección azimutal del lado ED-60 a M-1, definida mediante el método de observación de alturas absolutas del sol, se determinó la posición geográfica del resto de puntos.

V.1 CÁLCULO Y AJUSTE DEL TRIÁNGULO ED-60 / M-1 / R-5

1.- Resumen de observaciones de campo

Vértice ED-60

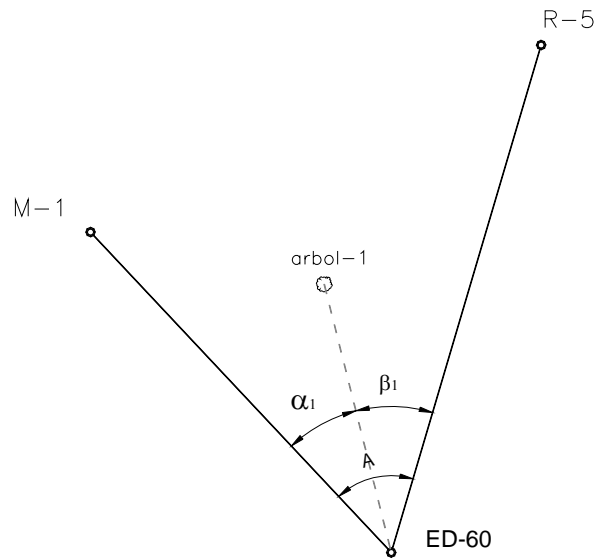
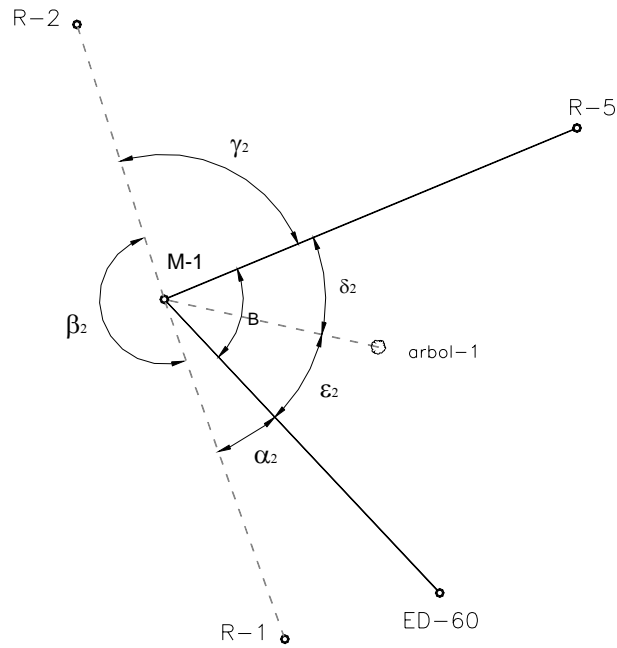


Fig.12

Ángulos horizontales	Distancias zenitales (φ)	Distancias (m)
$\alpha = 28^{\circ} 03' 49''$	ED-60/árbol-1 = $92^{\circ} 35' 07''$	ED-60/árbol-1 = 551.894
$\beta = 31^{\circ} 35' 21''$		ED-60/M-1 = 1317.600
$\alpha + \beta = 59^{\circ} 39' 09''$		ED-60/M-1 = 1311.216 *
$\alpha + \beta = 59^{\circ} 39' 11''$		*Distancia horizontal

Nota: Elevación de ED-60 = **805.890**, ligado al BN-Chacté y éste a su vez al BN-562 del INEGI, que se encuentra en el poblado Chenaló, Chiapas.

Vértice M-1



Ángulos horizontales	Distancias zenitales (φ)	Distancias (m)
$\alpha. = 23^{\circ} 39' 15''$	M-1/R-1 = $95^{\circ} 23' 39''$	M-1/R-2 = 939.276
$\beta. = 181^{\circ} 53' 39''$	M-1/R-2 = $73^{\circ} 49' 39''$	M-1/R-5 = 1455.878 *
$\nu. = 85^{\circ} 06' 49''$	M-1/R-5 = $77^{\circ} 19' 01''$	M-1/R-1 = 1173.944
$\delta. = 51^{\circ} 50' 48''$	M-1/ED-60 = $95^{\circ} 42' 22''$	R-1/M-1 = 1173.944
$\epsilon. = 17^{\circ} 29' 34''$	M-1/árbol-1 = $100^{\circ} 14' 17''$	R-1/M-1 = 1168.753 *
$\alpha. + \beta. = 205^{\circ} 32' 52''$	R-1/M-1 = $84^{\circ} 36' 50''.88$	R-1/M-1 = 110.274 **
$\beta. + \nu. = 267^{\circ} 00' 24''$		*Distancia horizontal
$\delta. + \epsilon. = 69^{\circ} 20' 21''$		** Distancia vertical

Vértice R-5

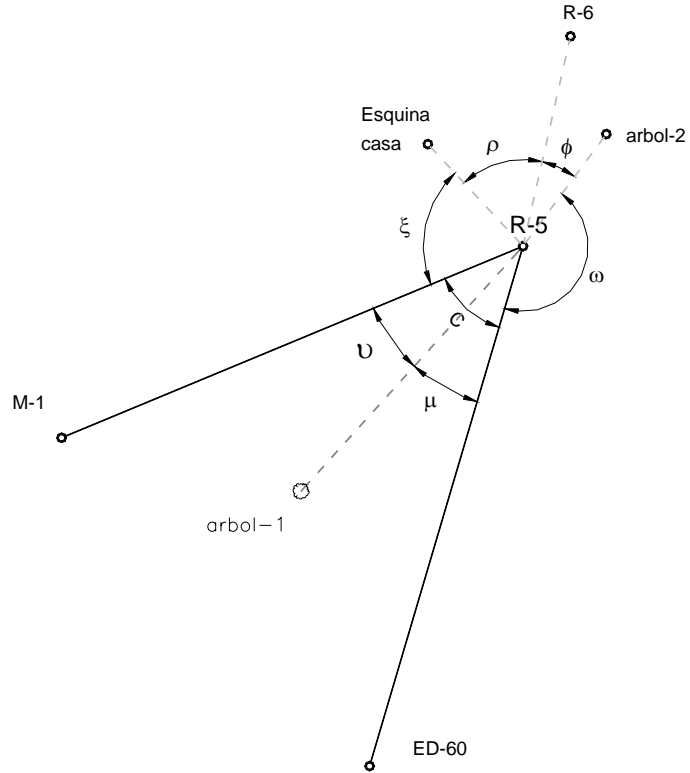


Fig.14

Ángulos horizontales	Distancias zenitales (ρ)	Distancias (m)
$\mu = 14^{\circ} 36' 42''$	R-5/ED-60 = $106^{\circ} 12' 39''$	R-5/árbol-2 = 5.75
$\nu = 36^{\circ} 23' 38''$	R-5/árbol-1 = $112^{\circ} 58' 20''$	R-5/esquina casa = 16.22
$\xi = 69^{\circ} 38' 55''$	R-5/M-1 = $102^{\circ} 41' 37''$	R-5/R-6 = 626.154 *
$\rho = 55^{\circ} 47' 13''$	R-5/R-6 = $80^{\circ} 29' 58''$	R-5/ED-60 = 1578.435
$\phi = 23^{\circ} 52' 57''$		
$\omega = 159^{\circ} 40' 28''$		
$\mu + \nu = 51^{\circ} 00' 22''$		
$\xi + \rho = 125^{\circ} 26' 09''$		*Distancia inclinada
$\phi + \omega = 183^{\circ} 33' 27''$		
$\rho + \phi = 79^{\circ} 40' 11''$		

Vértices R-2 y R-3

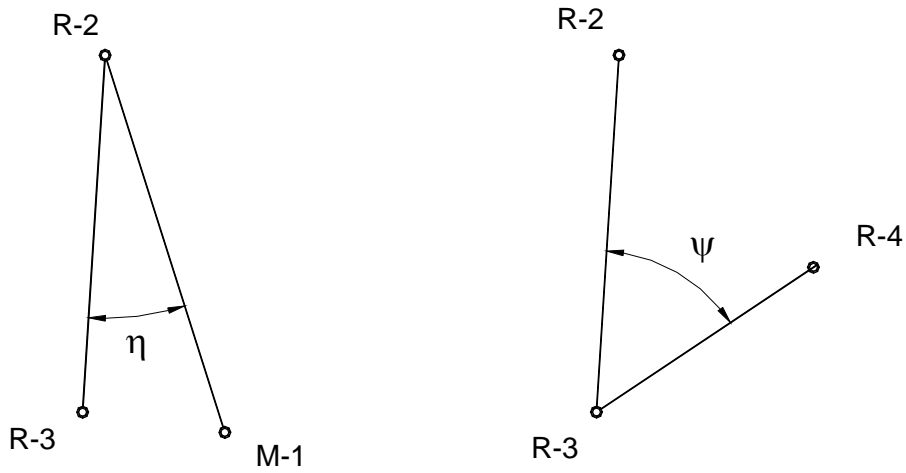


Fig.15

Ángulos horizontales	Distancias zenitales (φ)	Distancias (m)
$n = 21^{\circ} 16' 27''$	R-2/M-1 = $106^{\circ} 10' 58.66''$	R-2/M-1 = 939.276
$w = 52^{\circ} 44' 32''$	R-2/R-3 = $105^{\circ} 41' 55''$	R-3/R-2 = 848.907 *
	R-3/R-2 = $74^{\circ} 18' 39''$	R-3/R-4 = 14.380
	R-3/R-4 = $91^{\circ} 54' 19''$	*Distancia inclinada

2.- Reducción de las distancias al nivel del mar

A fin de tener un solo plano de referencia y disminuir así el error de escala, las distancias observadas en el campo se reducirán a la superficie de referencia denominada geoide, que físicamente es una superficie equipotencial coincidente con el nivel del mar.

Es importante hacer mención que los azimutes de las líneas se determinaron con los ángulos observados, esto desde luego introduce un error de dirección, no obstante éste es insignificante para la etapa del cálculo en que nos encontramos, pues el propósito por ahora es determinar, con la aplicación del teorema de Euler, el radio de curvatura ($R\alpha$) que corresponde al plano que contiene a la línea del azimut en cuestión.

Bajo estas consideraciones se hace la reducción de distancias aplicando las siguientes ecuaciones:

$$R\alpha = \frac{RN}{R\sin^2\alpha + N\cos^2\alpha} \quad \text{en donde:} \quad R = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\varphi)^3}}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\varphi)}}$$

$$b = B \left[1 - \frac{h}{R\alpha} + \frac{h^2}{(R\alpha)^2} \right]$$

En donde: **B** = distancia observada **h** = altitud media **b** = distancia reducida

Todos los cálculos realizados en adelante serán referidos al elipsoide de Clarke de 1866 cuyos parámetros son:

Semieje mayor de la elipse $a = 6\,378\,206.4$ m.

Semieje menor de la elipse $b = 6\,356\,583.8$ m.

(excentricidad)² $e^2 = 0.006\,768\,658$

Otra observación importante se hace respecto a las latitudes de los distintos puntos por determinar, éstas se definieron haciendo un cálculo preliminar aplicando las ecuaciones de Puissant para líneas cortas, apoyándonos en el conocimiento de la posición geográfica del vértice georreferenciado ED-60, el cual fue establecido con el equipo GEOCEIVER MX-1502 de Magnavox. Enseguida se listan las posiciones geográficas de los vértices y los azimutes de las líneas se muestran en el croquis.

VÉRTICE	ϕ NORTE	λOESTE
ED-60	16° 56' 11".712	92° 20' 41".618
M-1	16° 56' 40"	92° 21' 14"
R-5	16° 57' 02"	92° 20' 31"
R-6	16° 57' 21"	92° 20' 28"
R-2	16° 57' 07"	92° 21' 26"
R-3	16° 56' 40"	92° 21' 25"
R-1	16° 56' 05"	92° 20' 58"
Árbol-1	16° 56' 28"	92° 20' 48"

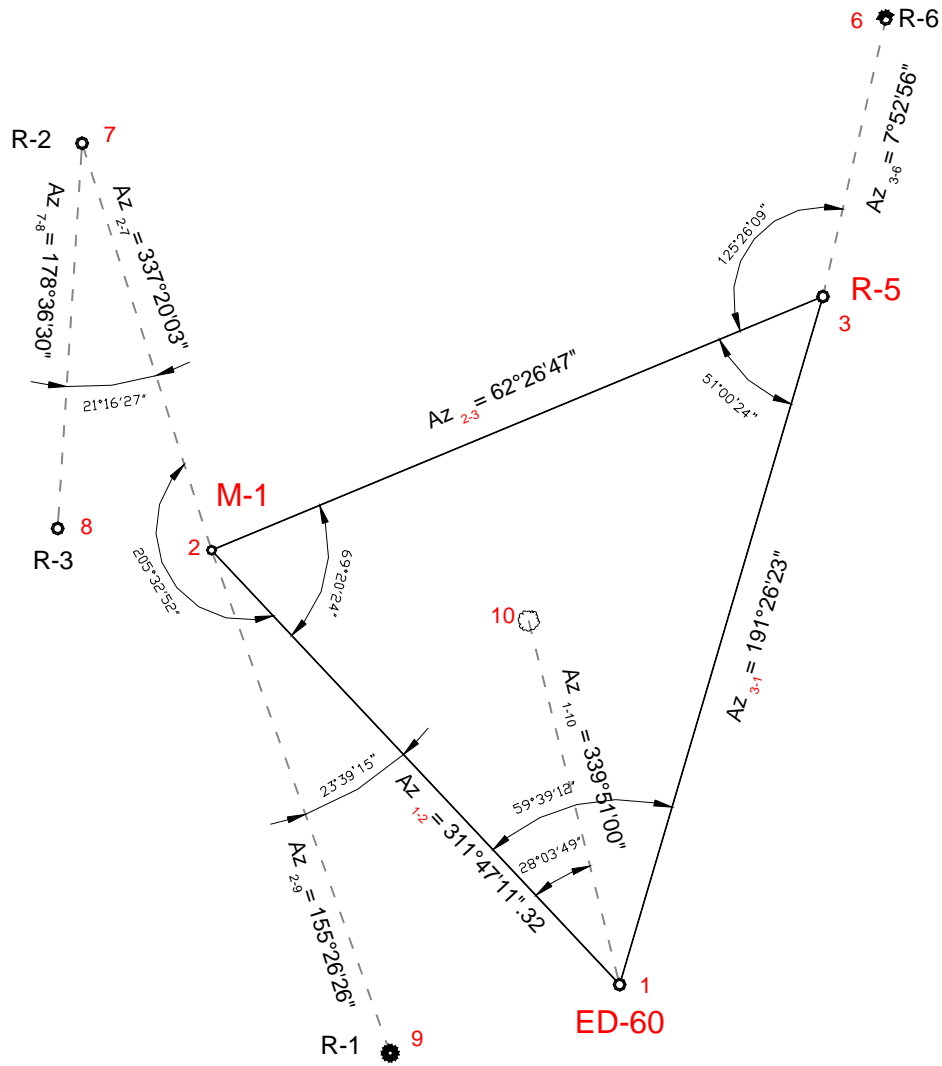


Fig.16

2.1- Cálculo de R, N y Ra

$$N_1 = \frac{6\ 378\ 206.4}{(1 - 0.006\ 768\ 658 \sin^2 16^\circ 56' 11''.712)^{1/2}} = 6\ 380\ 039.045m$$

$$R_1 = \frac{(6\ 378\ 206.4(1 - 0.006\ 768\ 658))}{(1 - 0.006\ 768\ 658 \sin^2 16^\circ 56' 11''.712)^{3/2}} = 6\ 340\ 496.793m$$

$$R\alpha_{12} = \frac{6\ 340\ 496.793(6\ 380\ 039.045)}{(6\ 340\ 496.793 \sin^2 311^\circ 47' 11'' + 6\ 380\ 039.045 \cos^2 311^\circ 47' 11'')} = 6\ 362\ 420.409m$$

2.2- Cálculo de la distancia reducida

$$ED60/M1 = 1\,311.216 \left[1 - \frac{871.391}{6\,362\,420.409} + \frac{(871.391)^2}{(6\,362\,420.109)^2} \right] = 1\,311.036m$$

$$M1/R5 = 1\,455.878 \left[1 - \frac{1\,100.715}{6\,371\,539.698} + \frac{(1\,100.715)^2}{(6\,371\,539.698)^2} \right] = 1\,455.626m$$

$$R5/ED60 = 1\,578.435 \left[1 - \frac{1\,035.213}{6\,342\,047.598} + \frac{(1\,035.213)^2}{(6\,342\,047.598)^2} \right] = 1\,578.177m$$

$$M1/R2 = 902.081 \left[1 - \frac{1\,066.536}{6\,346\,344.33} + \frac{(1\,066.536)^2}{(6\,346\,344.33)^2} \right] = 901.929m$$

$$R2/R3 = 817.260 \left[1 - \frac{1\,082.325}{6\,340\,527.245} + \frac{(1\,082.325)^2}{(6\,340\,527.245)^2} \right] = 817.120m$$

$$M1/R1 = 1\,168.753 \left[1 - \frac{880.547}{6\,347\,294.486} + \frac{(880.547)^2}{(6\,347\,294.486)^2} \right] = 1\,168.591m$$

$$R5/R6 = 617.566 \left[1 - \frac{1\,314.885}{6\,341\,246.208} + \frac{(1\,314.885)^2}{(6\,341\,246.208)^2} \right] = 617.438m$$

$$ED60/Arbol1 = 551.332 \left[1 - \frac{793.405}{6\,345\,164.584} + \frac{(793.405)^2}{(6\,345\,164.584)^2} \right] = 551.263m$$

3.- Análisis y ajuste del triángulo ED-60 / M-1 / R-5

Se ajustará el triángulo mostrado en la figura 16, según el método de mínimos cuadrados utilizando ecuaciones matriciales y haciendo intervenir simultáneamente a sus seis elementos como son los ángulos y distancias. El peso asignado a las observaciones es la unidad y considerando las dimensiones del triángulo no haremos intervenir el exceso esférico.

3.1 Observaciones

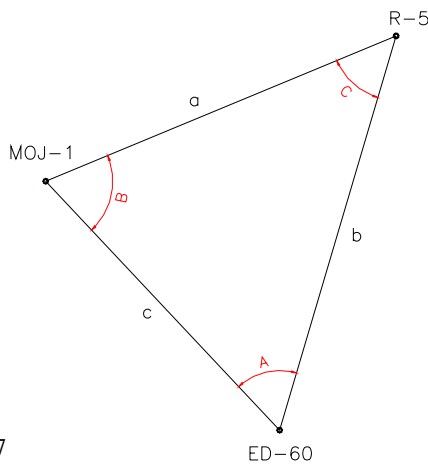


Fig.17

$$A = \alpha_1 + \beta_1 = 59^\circ 39' 10''$$

$$B = \delta_2 + \varepsilon_2 = 69^\circ 20' 21''$$

$$C = \mu + \nu = 51^\circ 00' 22''$$

$$\Sigma = 179^\circ 59' 53''$$

$$a = 1455.626 \text{ m}$$

$$b = 1578.177 \text{ m}$$

$$c = 1311.036 \text{ m}$$

Las distancias medidas están corregidas por curvatura, refracción, y reducidas al nivel del mar.

$$Lb = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 59^\circ 39' 10'' \\ 69^\circ 20' 21'' \\ 51^\circ 00' 22'' \\ 1455.626 \\ 1578.177 \\ 1311.036 \end{bmatrix} \Rightarrow \text{Matriz de observaciones}$$

3.2 Número de ecuaciones de condición

$$\begin{array}{ll}
 r = n - u & \text{donde: } r = \text{número de ecuaciones de condición} \\
 r = 6 - 3 & n = \text{número de observaciones} \\
 r = 3 & u = \text{número mínimo de observaciones}
 \end{array}$$

3.3 Modelo matemático

$$F_1 = (A + B + C) - 180^\circ = 0$$

$$F_2 = \frac{a \sin B}{b \sin A} - 1 = 0$$

$$F_3 = \frac{a \sin C}{c \sin A} - 1 = 0$$

3.4 Ecuaciones a emplear

$$M = (BP^{-1}) B^1$$

$$K = -M^{-1} W$$

$$V = P^{-1} B^1 K$$

$$La = Lb + V$$

3.5 Estructura de la matriz B

$$B = \begin{bmatrix}
 \frac{\partial F_1}{\partial A} & \frac{\partial F_1}{\partial B} & \frac{\partial F_1}{\partial C} & \frac{\partial F_1}{\partial a} & \frac{\partial F_1}{\partial b} & \frac{\partial F_1}{\partial c} \\
 \frac{\partial F_2}{\partial A} & \frac{\partial F_2}{\partial B} & \frac{\partial F_2}{\partial C} & \frac{\partial F_2}{\partial a} & \frac{\partial F_2}{\partial b} & \frac{\partial F_2}{\partial c} \\
 \frac{\partial F_3}{\partial A} & \frac{\partial F_3}{\partial B} & \frac{\partial F_3}{\partial C} & \frac{\partial F_3}{\partial a} & \frac{\partial F_3}{\partial b} & \frac{\partial F_3}{\partial c} \\
 \frac{\partial A}{\partial A} & \frac{\partial B}{\partial B} & \frac{\partial C}{\partial C} & \frac{\partial a}{\partial a} & \frac{\partial b}{\partial b} & \frac{\partial c}{\partial c}
 \end{bmatrix}$$

Efectuando las derivadas parciales y sustituyendo, los términos donde intervienen las distancias, se multiplican por ρ'' con el propósito de homogeneizar las unidades dentro de la matriz B.

$$\rho'' = 1 \text{ Radián en segundos} = (180 \times 3600) / \pi = 206\,264.806247$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\cot A & \cot B & 0 & \frac{1}{a}\rho'' & -\frac{1}{b}\rho'' & 0 \\ -\cot A & 0 & \cot C & \frac{1}{a}\rho'' & 0 & -\frac{1}{c}\rho'' \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -0.5854589675 & 0.3770875204 & 0 & 141.7017876 & -130.6981449 & 0 \\ -0.5854589675 & 0 & 0.8096074478 & 141.7017876 & 0 & -157.3296281 \end{bmatrix}$$

Invertir o multiplicar matrices muchas veces puede significar un trabajo laborioso o complicado, no obstante se puede simplificar en gran medida con la ayuda de las computadoras tanto de escritorio, las de bolsillo como calculadoras programables.

$$M = \begin{bmatrix} 3 & -0.2083714471 & 0.2241484803 \\ -0.2083714471 & 37161.88665 & 20079.73937 \\ 0.2241484803 & 20079.73937 & 44833.00671 \end{bmatrix}$$

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 0.3333338339 & 0.0000036538 & -0.000003303 \\ 0.0000036538 & 0.0000355006 & -0.0000159 \\ -0.000003303 & -0.0000159 & 0.0000294263 \end{bmatrix}$$

$$B^1 = \begin{bmatrix} 1 & -0.5854589675 & -0.5854589675 \\ 1 & 0.3770875204 & 0 \\ 1 & 0 & 0.8096074478 \\ 0 & 141.7017876 & 141.7017876 \\ 0 & -130.6981449 & 0 \\ 0 & 0 & -157.3296281 \end{bmatrix}$$

3.6 Cálculo de los errores de cierre y formación de la matriz W

$$F_1 = A + B + C - 180^\circ = 179^\circ 59' 53'' - 180^\circ = -7''$$

$$F_2 = \frac{1455.626 \sin 69^\circ 20' 21''}{1578.177 \sin 59^\circ 39' 10''} - 1 = 0.000\ 054\ 161\ 5$$

$$F_3 = \frac{1455.626 \sin 51^\circ 00' 22''}{1311.036 \sin 59^\circ 39' 10''} - 1 = -0.000\ 057\ 927\ 6$$

$$W = \begin{bmatrix} -7 \\ 11.17160594 \\ -11.94842024 \end{bmatrix}$$

3.7 Ecuaciones normales

$$MK + W = 0 \quad \Rightarrow \quad \text{endonde: } M = (BP^{-1})B^1$$

$$M = \begin{bmatrix} 3 & -0.2083714471 & 0.2241484803 \\ -0.2083714471 & 37161.88665 & 20079.73937 \\ 0.2241484803 & 20079.73937 & 44833.00671 \end{bmatrix}$$

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 0.3333338339 & 0.0000036538 & -0.000003303 \\ 0.0000036538 & 0.0000355006 & -0.0000159 \\ -0.000003303 & -0.0000159 & 0.0000294263 \end{bmatrix}$$

$$K = -M^{-1} W$$

$$K = [-M^{-1}] \begin{bmatrix} -7 \\ 11.17160594 \\ -11.94842024 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.333256553 \\ -0.000561002 \\ 0.0005061053 \end{bmatrix}$$

3.8 Cálculo de la matriz de las variaciones

$$V = P^{-1} B^1 K = \begin{bmatrix} 2.333288693 \\ 2.333045006 \\ 2.3336663 \\ -0.0077789605 \\ 0.0733219207 \\ -0.0796253586 \end{bmatrix}$$

3.9 Matriz de observaciones ajustadas

$$La = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 59^{\circ}39'10'' \\ 69^{\circ}20'21'' \\ 51^{\circ}00'22'' \\ 1455.626 \\ 1578.177 \\ 1311.036 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2''.33 \\ 2''.33 \\ 2''.33 \\ -0.007 \\ 0.073 \\ -0.079 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 59^{\circ}39'12''.33 \\ 69^{\circ}20'23''.33 \\ 51^{\circ}00'24''.33 \\ 1455.619 \text{ m} \\ 1578.250 \text{ m} \\ 1310.957 \text{ m} \end{bmatrix}$$

V.2 AJUSTE POR ESTACIÓN

1.- Ajuste del vértice M-1

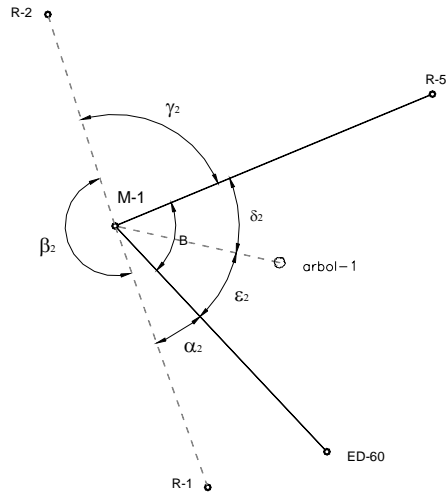


Fig.18

$$\beta_2 + \gamma_2 = 267^\circ 00' 24''$$

$$\alpha_2 = 23^\circ 39' 15''$$

$$\alpha_2 + \beta_2 = 205^\circ 32' 52''$$

$$\gamma_2 = 85^\circ 06' 49''$$

$$\beta_2 = 181^\circ 53' 39''$$

$$B = 69^\circ 20' 23''.33 *$$

* Ángulo ajustado en el triángulo ED-60 / M-1 / R-5

1.1 Observaciones

$$Lb = \begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \\ \gamma_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 23^\circ 39' 15'' \\ 181^\circ 53' 39'' \\ 85^\circ 06' 49'' \end{bmatrix} \Rightarrow \Sigma = 290^\circ 39' 49'' \quad \therefore \neq 6''.33$$

1.2 Número de ecuaciones de condición

$$r = n - u \quad \text{donde: } r = \text{número de ecuaciones de condición}$$

$$r = 5 - 2 \quad n = \text{número de observaciones}$$

$$r = 3 \quad u = \text{número mínimo de observaciones}$$

1.3 Modelo matemático

$$F_1 = \alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2 = 290^\circ 39' 36''.67$$

$$F_2 = \alpha_2 + \beta_2 = 290^\circ 39' 36''.67 - \gamma_2$$

$$F_3 = \beta_2 + \gamma_2 = 290^\circ 39' 36''.67 - \alpha_2$$

1.4 Estructura de la matriz B

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial \alpha_2} & \frac{\partial F_1}{\partial \beta_2} & \frac{\partial F_1}{\partial \gamma_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial \alpha_2} & \frac{\partial F_2}{\partial \beta_2} & \frac{\partial F_2}{\partial \gamma_2} \\ \frac{\partial F_3}{\partial \alpha_2} & \frac{\partial F_3}{\partial \beta_2} & \frac{\partial F_3}{\partial \gamma_2} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

1.5 Cálculo de los errores de cierre y formación de la matriz W

$$F_1 = 6".33$$

$$F_2 = 4".33$$

$$F_3 = 2".33$$

$$W = \begin{bmatrix} 6.33 \\ 4.33 \\ 2.33 \end{bmatrix}$$

1.6 Ecuaciones a emplear

$$M = B B^1 P^{-1}$$

$$K = -M^{-1} W$$

$$V = B^1 P^{-1} K$$

$$La = Lb + V$$

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \end{bmatrix} \Rightarrow M^{-1} = \begin{bmatrix} 3 & -2 & -2 \\ -2 & 2 & 1 \\ -2 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$K = [-M^{-1}] \begin{bmatrix} 6.33 \\ 4.33 \\ 2.33 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5.67 \\ 1.67 \\ 3.67 \end{bmatrix}$$

1.7 Cálculo de la matriz de variaciones

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -5.67 \\ 1.67 \\ 3.67 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.00 \\ -0.33 \\ -2.00 \end{bmatrix} \Rightarrow \Sigma = -6.33$$

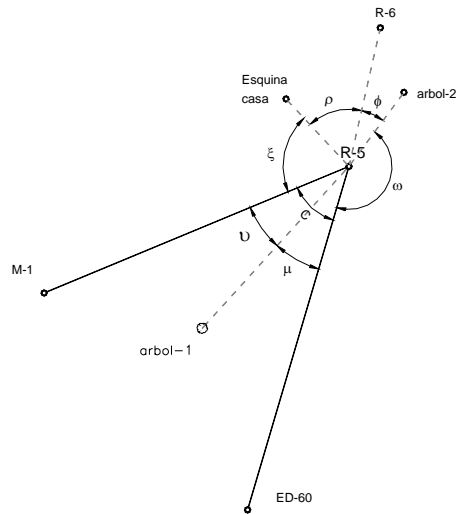
$$La = \begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \\ \gamma_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 23^\circ 39' 15'' \\ 181^\circ 53' 39'' \\ 85^\circ 06' 49'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -4.00 \\ -0.33 \\ -2.00 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 23^\circ 39' 11''.00 \\ 181^\circ 53' 38''.67 \\ 85^\circ 06' 47''.00 \end{bmatrix} \Rightarrow \Sigma = 290^\circ 39' 36''.67$$

$$\alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2 = 290^\circ 39' 36''.67$$

$$B = \frac{69^\circ 20' 23''.33}{360^\circ 00' 00''.00} *$$

* Ángulo ajustado en el triángulo ED-60 / M-1 / R-5

2.- Ajuste del vértice R-5



$$\xi = 69^{\circ} 38' 55''$$

$$\rho = 55^{\circ} 47' 13''$$

$$\phi = 23^{\circ} 52' 57''$$

$$\omega = 159^{\circ} 40' 28''$$

$$\xi + \rho = 125^{\circ} 26' 09''$$

$$\phi + \omega = 183^{\circ} 33' 27''$$

$$\rho + \phi = 79^{\circ} 40' 11''$$

$$C = 51^{\circ} 00' 24''.33 \quad *$$

Fig.19

* Ángulo ajustado en el triángulo ED-60/M-1/R-5

2.1 Observaciones

$$La = \begin{bmatrix} \xi \\ \rho \\ \phi \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 69^{\circ} 38' 55'' \\ 55^{\circ} 47' 13'' \\ 23^{\circ} 52' 57'' \\ 159^{\circ} 40' 28'' \end{bmatrix} \Rightarrow \Sigma = 308^{\circ} 59' 33'' \neq 2''.67$$

2.2 Número de ecuaciones de condición

$$r = n - u \quad \text{donde: } r = \text{número de ecuaciones de condición}$$

$$r = 7 - 3 \quad n = \text{número de observaciones}$$

$$r = 4 \quad u = \text{número mínimo de observaciones}$$

2.3 Modelo matemático

$$F_1 = \xi + \rho + \phi + \omega = (360^{\circ} - C) = 308^{\circ} 59' 35''.67$$

$$F_2 = \xi + \rho = 308^{\circ} 59' 35''.67 - \phi - \omega$$

$$F_3 = \phi + \omega = 308^{\circ} 59' 35''.67 - \xi - \rho$$

$$F_4 = \rho + \phi = 308^{\circ} 59' 35''.67 - \xi - \omega$$

2.4 Estructura de la matriz B

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial \xi} & \frac{\partial F_1}{\partial \rho} & \frac{\partial F_1}{\partial \phi} & \frac{\partial F_1}{\partial \omega} \\ \frac{\partial F_2}{\partial \xi} & \frac{\partial F_2}{\partial \rho} & \frac{\partial F_2}{\partial \phi} & \frac{\partial F_2}{\partial \omega} \\ \frac{\partial F_3}{\partial \xi} & \frac{\partial F_3}{\partial \rho} & \frac{\partial F_3}{\partial \phi} & \frac{\partial F_3}{\partial \omega} \\ \frac{\partial F_4}{\partial \xi} & \frac{\partial F_4}{\partial \rho} & \frac{\partial F_4}{\partial \phi} & \frac{\partial F_4}{\partial \omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

2.5 Cálculo de los errores de cierre y formación de la matriz W

$$\begin{aligned} F_1 &= -2'' .67 \\ F_2 &= -1'' .67 \\ F_3 &= -0'' .67 \\ F_4 &= -1'' .67 \end{aligned} \quad W = \begin{bmatrix} -2.67 \\ -1.67 \\ -0.67 \\ -1.67 \end{bmatrix}$$

2.6 Ecuaciones a emplear

$$M = B P^{-1} B^1$$

$$K = -M^{-1} W$$

$$V = P^{-1} B^1 K$$

$$La = Lb + V$$

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 0.25 & 0 & 0.5 & -0.5 \\ 0 & 0.5 & -0.5 & 0 \\ 0.5 & -0.5 & -0.5 & 0 \\ -0.5 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K = [-M^{-1}] \begin{bmatrix} -2.67 \\ -1.67 \\ -0.67 \\ -1.67 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1675 \\ 0.5 \\ 0.165 \\ 0.335 \end{bmatrix}$$

2.7 Cálculo de la matriz de variaciones

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.1675 \\ 0.5 \\ 0.165 \\ 0.335 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6675 \\ 1.0025 \\ 0.6675 \\ 0.3325 \end{bmatrix} \Rightarrow \neq + 2''.67$$

$$La = \begin{bmatrix} 69^\circ 38' 55'' \\ 55^\circ 47' 13'' \\ 23^\circ 52' 57'' \\ 159^\circ 40' 28'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.6675 \\ 1.0025 \\ 0.6675 \\ 0.3325 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 69^\circ 38' 55''.6675 \\ 55^\circ 47' 14''.0025 \\ 23^\circ 52' 57''.6675 \\ 159^\circ 40' 28''.3325 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi \\ \rho \\ \phi \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$\Sigma = 308^\circ 59' 35''.67$$

$$C + \xi + \rho + \phi + \omega = 51^\circ 00' 24''.33 + 308^\circ 59' 35''.67 = 360^\circ 00' 00''$$

\therefore C es el ángulo ajustado anteriormente en el triángulo ED-60/M-1/R-5

V.3 CÁLCULO DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS

1.- Coordenadas del vértice M-1

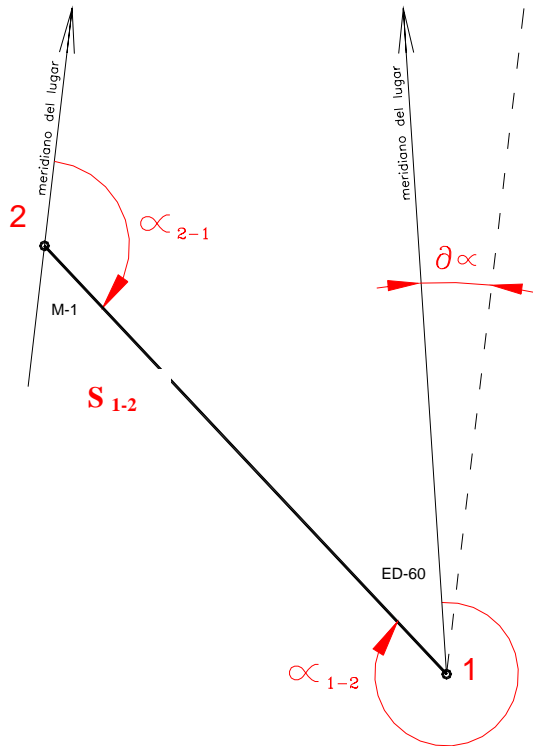


Fig.20

$$N_1 = \frac{a}{[1 - e^2 \sin^2 \varphi_1]^{1/2}} \quad R_1 = \frac{a(1 - e^2)}{[1 - e^2 \sin^2 \varphi_1]^{3/2}}$$

$$N_1 = \frac{6\,378\,206.4}{[1 - 0.006\,768\,658 \sin^2 16^\circ 56' 11''.712]^{1/2}} = 6\,380\,039.045 \text{ m}$$

$$R_1 = \frac{6\,378\,206.4(1 - 0.006\,768\,658)}{[1 - 0.006\,768\,658 \sin^2 16^\circ 56' 11''.712]^{3/2}} = 6\,340\,496.793 \text{ m}$$

Cálculo de un valor aproximado de $\Delta\varphi''_{1\rightarrow 2}$

$$\Delta\varphi''_{1\rightarrow 2} = \frac{1310.957}{6340496.793 \sin 1''} \cos 311^\circ 47' 11''.32 - \frac{(1310.957)^2 \tan 16^\circ 56' 11''.712 \sin^2 311^\circ 47' 11''.32}{2[(6340496.793)(6380039.045)] \sin 1''} - \frac{(1310.957)^3}{6340496.793 \sin 1''} \cos 311^\circ 47' 11''.32 \sin^2 311^\circ 47' 11''.32 \left(\frac{1+3 \tan^2 16^\circ 56' 11''.712}{6(6380039.045)^2} \right)$$

$$\Delta\varphi''_{1\rightarrow 2} = 28''.41748251$$

Cálculo de un valor exacto de $\Delta\varphi''_{1\rightarrow 2}$

$$\Delta\varphi''_{1\rightarrow 2} = \frac{1310.957}{6340496.793 \sin 1''} \cos 311^\circ 47' 11''.32 - \frac{(1310.957)^2 \tan 16^\circ 56' 11''.712 \sin^2 311^\circ 47' 11''.32}{2[(6340496.793)(6380039.045)] \sin 1''} - \frac{3(0.006768658) \sin 16^\circ 56' 11''.712 \cos 16^\circ 56' 11''.712 \sin 1''}{2(1-0.006768658)(\sin^2 16^\circ 56' 11''.712)} (28''.4174) - \frac{(1310.957)^3}{6340496.793 \sin 1''} \cos 311^\circ 47' 11''.32 \sin^2 311^\circ 47' 11''.32 \left(\frac{1+3 \tan^2 16^\circ 56' 11''.712}{6(6380039.045)^2} \right)$$

$$\therefore \Delta\varphi''_{1\rightarrow 2} = 28''.4174778902$$

Cálculo de φ_2

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi''_{1\rightarrow 2} \Rightarrow \varphi_2 = (16^\circ 56' 11''.712 + 0^\circ 00' 28''.417)$$

$$\therefore \varphi_2 = 16^\circ 56' 40''.129 \quad (\text{M}-1)$$

$$N'_1 = \frac{6\,378\,206.4}{\left[1 - 0.006\,768\,658 \sin^2 16^\circ 56' 40''.129\right]^{1/2}} = 6\,380\,040.704 \text{ m}$$

Cálculo de $\Delta\lambda_{1\rightarrow 2}$

$$\Delta\lambda_{1\rightarrow 2} = \frac{1\,310.957}{6\,380\,040.704 \sin 1''} \sin 311^\circ 47' 11''.32 \sec 16^\circ 56' 40''.129 -$$

$$\frac{1}{6} \frac{(1310.957)^3}{(6\,380\,040.704)^3 \sin 1''} \sin 311^\circ 47' 11''.32 \sec 16^\circ 56' 40''.129$$

$$\Delta\lambda_{1\rightarrow 2} = -33''.03624366$$

Cálculo de λ_2

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda_{1\rightarrow 2}$$

$\begin{array}{r} 92^\circ 20' 41''.618 \quad W \\ 00^\circ 00' 33''.036 \quad (-) \\ \hline \lambda_2 = 92^\circ 21' 14''.654 \quad W \quad (M-1) \end{array}$	}	<i>se suman porque la λ_1 es Oeste y $\Delta\lambda$ negativo</i>
---	---	---

Cálculo de la convergencia de meridianos

$$d\alpha'' = (-33''.036) \sin 16^\circ 56' 25''.92 \sec\left(\frac{28''.4174}{2}\right) +$$

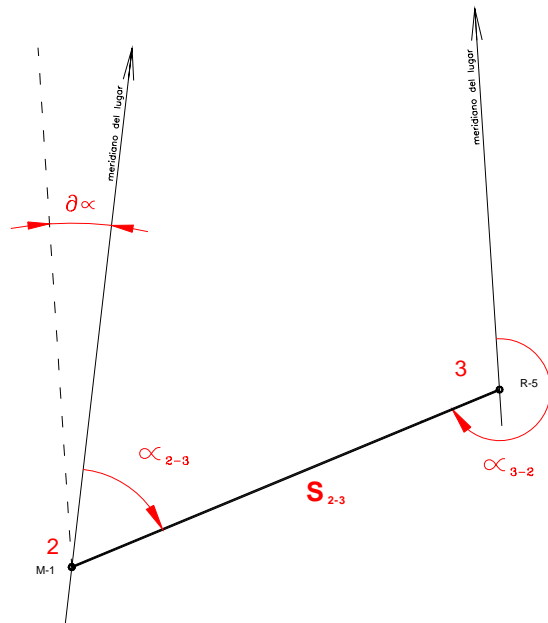
$$\frac{(-33.036)^3}{12} \sin 16^\circ 56' 25''.92 \cos^2 16^\circ 56' 25''.92 \sin^2 1'' = -9''.6260$$

Cálculo del azimut α_{2-1}

$$\alpha_{2-1} = \alpha_{1-2} + d\alpha + 180^\circ$$

$$\begin{array}{r} 311^\circ 47' 11''.320 \\ - 00^\circ 00' 09''.626 \\ \hline 311^\circ 47' 20''.946 \\ 180^\circ 00' 00'' \\ \hline 491^\circ 47' 20''.946 \\ - 360^\circ 00' 00'' \\ \hline \alpha_{2-1} 131^\circ 47' 20''.946 \end{array}$$

2.- Coordenadas del vértice R-5



$$\begin{aligned} \varphi_2 &= 16^\circ 56' 40''.129 \\ \lambda_2 &= 92^\circ 21' 14''.654 \\ S_{2-3} &= 1455.619 \text{ m} \\ \alpha_{2-3} &= 62^\circ 26' 57''.616 \end{aligned}$$

Fig.21

Cálculo de N_{2-3} y R_{2-3}	$N_{2-3} = 6\ 380\ 040.704 \text{ m}$
	$R_{2-3} = 6\ 340\ 501.740 \text{ m}$
Cálculo de un valor aprox. de $\Delta\varphi''_{2\rightarrow3}$	$\Delta\varphi''_{2\rightarrow3} = 21''.90110627$
Cálculo del valor exacto de $\Delta\varphi''_{2\rightarrow3}$	$\Delta\varphi''_{2\rightarrow3} = 21''.90110271$
Cálculo de φ_3 (R-5)	$\varphi_3 = 16^\circ 57' 02''.030$ (R-5)
Cálculo de N'_{2-3}	$N'_{2-3} = 6\ 380\ 041.984 \text{ m}$
Cálculo de $\Delta\lambda_{2\rightarrow3}$	$\Delta\lambda_{2\rightarrow3} = 43''.61816692$
Cálculo de λ_3 $\lambda_3 = (\lambda_2 + \Delta\lambda''_{2\rightarrow3})$	$\lambda_3 = (92^\circ 21' 14''.654 - 43''.618) = 92^\circ 20' 31''.036 \text{ W}$
Cálculo de convergencia de meridianos $d\alpha''$	$d\alpha'' = 12''.71450777$
Cálculo de $\alpha_{3-2} = \alpha_{2-3} + d\alpha + 180^\circ$	$\alpha_{3-2} = 62^\circ 26' 57''.616 + 12''.714 + 180^\circ$ $\alpha_{3-2} = 242^\circ 27' 10''.330$

3.- Coordenadas del vértice ED-60

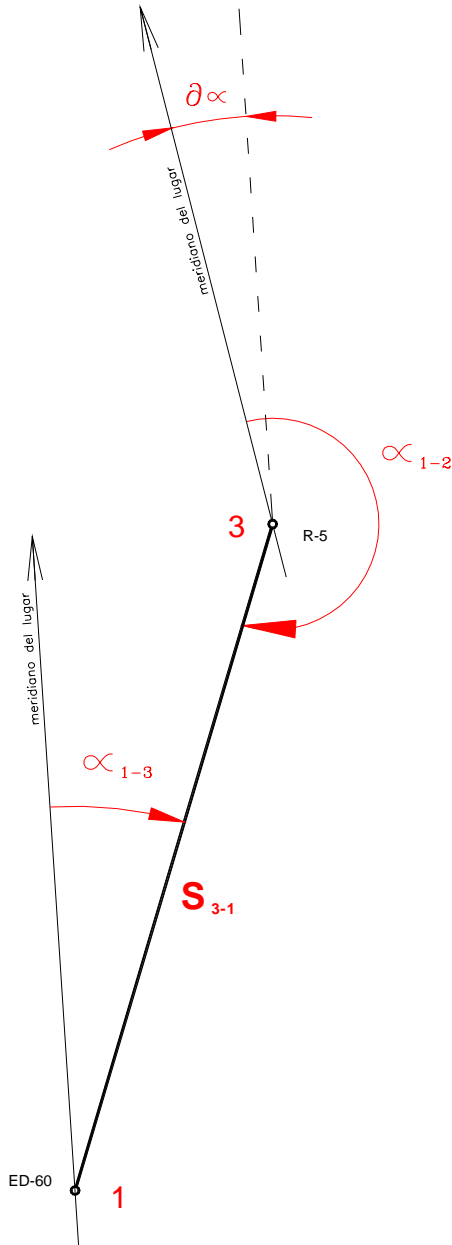


Fig.22

Cálculo de N_{3-1} y R_{3-1}	
$N_{3-1} = 6\ 380\ 041.984\ m$ $R_{3-1} = 6\ 340\ 505.554\ m$	
Cálculo de un valor aprox. de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{3-1} = -50''.32146920$	
Cálculo del valor exacto de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{3-1} = -50''.32146102$	
Cálculo de φ_1	$\varphi_1 = 16^\circ\ 56'\ 11''.709$
Cálculo de N'_{3-1}	$N'_{3-1} = 6\ 380\ 039.045\ m$
Cálculo de $\Delta\lambda''_{3-1}$	$\Delta\lambda''_{3-1} = -10''.584671$
Cálculo de λ_1	
$\lambda_1 = (92^\circ\ 20'\ 31''.036 - 10''.584) = 92^\circ\ 20'\ 41''.620\ W$	
Cálculo de convergencia de meridianos $d\alpha''$	
$d\alpha'' = -3''.084688$	
Cálculo de α_{1-3}	$\alpha_{1-3} = 191^\circ\ 26'\ 46''.000 - 3''.084 - 180^\circ$
$\alpha_{1-3} = \alpha_{3-1} + d\alpha'' - 180^\circ$	$\alpha_{1-3} = 11^\circ\ 26'\ 49''.084$

$\varphi_3 = 16^\circ\ 57'\ 02''.030\ N$
 $\lambda_3 = 92^\circ\ 20'\ 31''.036\ W$
 $S_{3-1} = 1\ 578.250\ m$
 $\alpha_{3-1} = 191^\circ\ 26'\ 46''.00$

4.- Coordenadas del vértice R-6

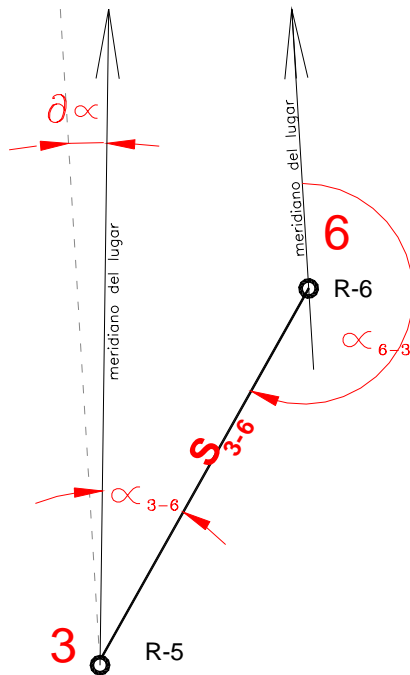


Fig.23

$\varphi_3 = 16^\circ 57' 02''.030 \text{ N}$
 $\lambda_3 = 92^\circ 20' 31''.036 \text{ W}$
 $S_{3-6} = 617.438 \text{ m}$
 $\alpha_{3-6} = 7^\circ 53' 20''.000$

Cálculo de N_{3-6} y R_{3-6}	
$N_{3-6} = 6\,380\,041.984 \text{ m}$ $R_{3-6} = 6\,340\,505.554 \text{ m}$	
Cálculo de un valor aprox. de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{3-6} = -19''.89595481$	
Cálculo del valor exacto de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{3-6} = -19.89595157$	
Cálculo de φ_6	$\varphi_6 = 16^\circ 57' 21''.926$
Cálculo de N'_{3-6}	$N'_{3-6} = 6\,380\,043.146 \text{ m}$
Cálculo de $\Delta\lambda''_{3-6}$	$\Delta\lambda''_{3-6} = -2''.86429056$
Cálculo de λ_6	
$\lambda_6 = (92^\circ 20' 31''.036 - 2''.864) = \mathbf{92^\circ 20' 28''.172 \text{ W}}$	
Cálculo de convergencia de meridianos $d\alpha''$	
$d\alpha'' = -0''.835206$	
Cálculo de α_{6-3}	$\alpha_{6-3} = 7^\circ 53' 20''.000$ $+ 0''.835 + 180^\circ$ $\alpha_{6-3} = 187^\circ 53' 20''.835$
$\alpha_{6-3} = \alpha_{3-6} + d\alpha'' + 180^\circ$	

5.- Coordenadas del vértice R-2

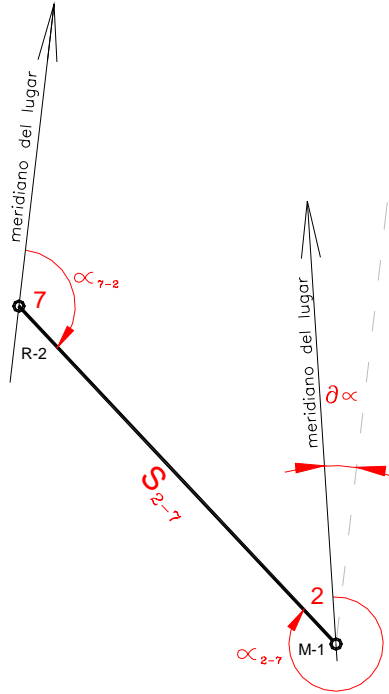


Fig.24

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= 16^\circ 56' 40''.129 \text{ N} \\ \lambda_2 &= 92^\circ 21' 14''.654 \text{ W} \\ S_{2-7} &= 901.929 \text{ m} \\ \alpha_{2-7} &= 337^\circ 20' 10''.616 \end{aligned}$$

Cálculo de N_{2-7} y R_{2-7}	
$N_{2-7} = 6\ 380\ 040.704 \text{ m}$ $R_{2-7} = 6\ 340\ 501.740 \text{ m}$	
Cálculo de un valor aprox. de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{2-7} = 27''.075195$	
Cálculo del valor exacto de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{2-7} = 27''.075191$	
Cálculo de φ_7	$\varphi_7 = 16^\circ 57' 07''.204$
Cálculo de N'_{2-7}	$N'_{2-7} = 6\ 380\ 042.286 \text{ m}$
Cálculo de $\Delta\lambda''_{2-7}$	$\Delta\lambda''_{2-7} = -11''.74600264$
Cálculo de λ_7	
$\lambda_7 = (92^\circ 21' 14''.654 - 11''.746) = \mathbf{92^\circ 21' 26''.400 \text{ W}}$	
Cálculo de convergencia de meridianos $d\alpha''$	
$d\alpha'' = -3''.424050$	
Cálculo de α_{7-2}	$\alpha_{7-2} = 337^\circ 20' 10''.616 - 3''.424 - 180^\circ$
$\alpha_{7-2} = \alpha_{2-7} + d\alpha'' - 180^\circ$	$\alpha_{7-2} = 157^\circ 20' 07''.192$

6.- Coordenadas del vértice R-3

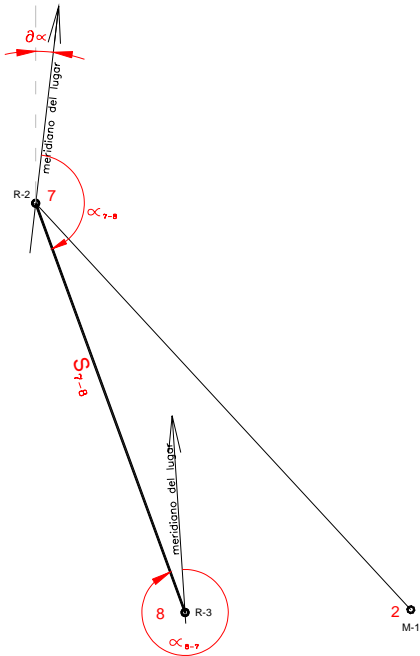


Fig.25

$\varphi_7 = 16^\circ 57' 07''.204 N$
 $\lambda_7 = 92^\circ 21' 26''.400 W$
 $S_{7-8} = 817.120 m$
 $\alpha_{7-8} = 178^\circ 36' 34''.192$

Cálculo de N_{7-8} y R_{7-8}	
$N_{7-8} = 6\ 380\ 042.286\ m$ $R_{7-8} = 6\ 340\ 506.455\ m$	
Cálculo de un valor aprox. de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{7-8} = -26''.574134$	
Cálculo del valor exacto de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{7-8} = -26''.574130$	
Cálculo de φ_8	$\varphi_8 = 16^\circ 56' 40''.630$
Cálculo de N'_{7-8}	$N'_{7-8} = 6\ 380\ 040.734\ m$
Cálculo de $\Delta\lambda''_{7-8}$	$\Delta\lambda''_{7-8} = -0''.67014613$
Cálculo de λ_7	
$\lambda_8 = (92^\circ 21' 26''.400 - 0''.670) = 92^\circ 21' 25''.730 W$	
Cálculo de convergencia de meridianos $d\alpha''$	
$d\alpha'' = 0''.195353$	
Cálculo de α_{7-2}	$\alpha_{8-7} = 178^\circ 36' 34''.192 + 0''.195 + 180^\circ$
$\alpha_{8-7} = \alpha_{7-8} + d\alpha'' + 180^\circ$	$\alpha_{8-7} = 358^\circ 36' 34''.387$

7.- Coordenadas del vértice R-1

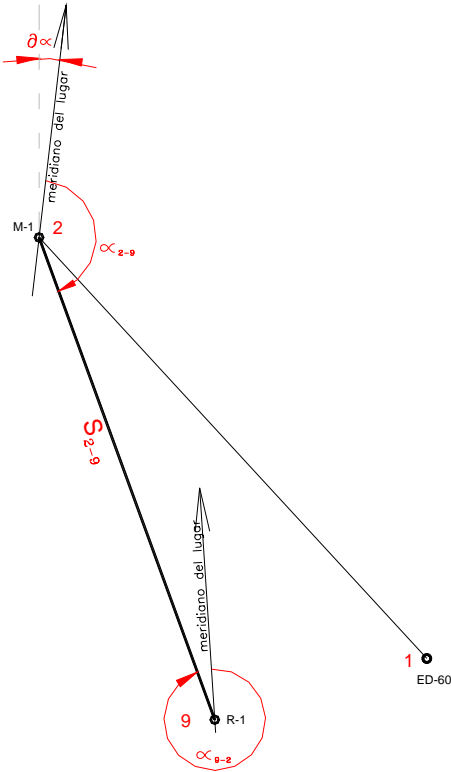


Fig.26

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= 16^\circ 56' 40''.129 \text{ N} \\ \lambda_2 &= 92^\circ 21' 14''.654 \text{ W} \\ S_{2-9} &= 1168.591 \text{ m} \\ \alpha_{2-9} &= 155^\circ 26' 31''.946 \end{aligned}$$

Cálculo de N_{2-9} y R_{2-9}	
$N_{2-9} = 6\,380\,040.704 \text{ m}$ $R_{2-9} = 6\,340\,501.740 \text{ m}$	
Cálculo de un valor aprox. de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{2-9} = -34''.577162$	
Cálculo del valor exacto de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{2-9} = -34''.577157$	
Cálculo de φ_9	$\varphi_9 = 16^\circ 56' 05''.552$
Cálculo de N'_{2-9}	$N'_{2-9} = 6\,380\,038.685 \text{ m}$
Cálculo de $\Delta\lambda''_{2-9}$	$\Delta\lambda''_{2-9} = -16''.41361877$
Cálculo de λ_9	
$\lambda_9 = (92^\circ 21' 14''.654 - 16''.414) = 92^\circ 20' 58''.240 \text{ W}$	
Cálculo de convergencia de meridianos $d\alpha''$	
$d\alpha'' = 4''.782349$	
Cálculo de α_{9-2}	$\alpha_{9-2} = 155^\circ 26' 31''.946 + 4''.782 + 180^\circ$
$\alpha_{9-2} = \alpha_{2-9} + d\alpha'' + 180^\circ$	$\alpha_{9-2} = 335^\circ 26' 36''.728$

8.- Coordenadas del vértice Árbol-1

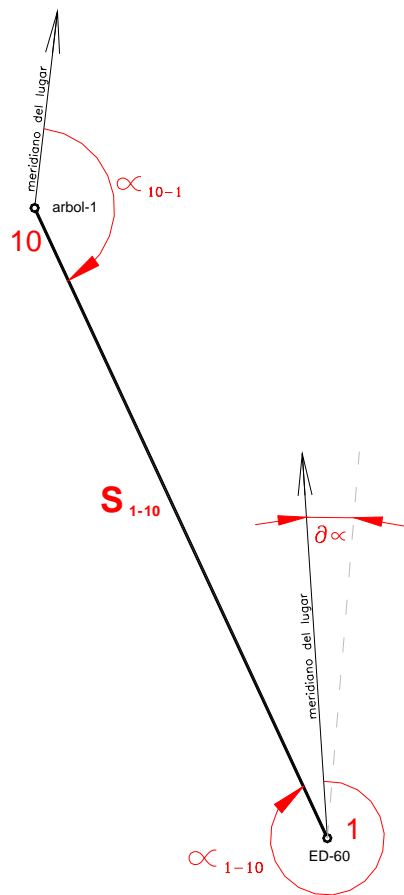


Fig.27

$\varphi_1 = 16^\circ 56' 11''.712 N$
 $\lambda_1 = 92^\circ 20' 41''.618 W$
 $S_{1-10} = 551.263 m$
 $\alpha_{1-10} = 339^\circ 51' 01''.485$

Cálculo de N_{1-10} y R_{1-10}	
$N_{1-10} = 6\ 380\ 039.045\ m$ $R_{1-10} = 6\ 340\ 496.793\ m$	
Cálculo de un valor aprox. de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{1-10} = 16''.835709$	
Cálculo del valor exacto de $\Delta\varphi''$	
$\Delta\varphi''_{1-10} = 16''.835706$	
Cálculo de φ_{10}	$\varphi_{10} = 16^\circ 56' 28''.548$
Cálculo de N'_{1-10}	$N'_{1-10} = 6\ 380\ 040.028\ m$
Cálculo de $\Delta\lambda''_{1-10}$	$\Delta\lambda''_{1-10} = -6''.41774888$
Cálculo de λ_{10}	
$\lambda_{10} = (92^\circ 20' 41''.618 + 6''.418) = 92^\circ 20' 48''.036 W$	
Cálculo de convergencia de meridianos $d\alpha''$	
$d\alpha'' = -1''.869825$	
Cálculo de α_{10-1}	$\alpha_{10-1} = 339^\circ 51' 01''.485 - 1''.870 - 180^\circ$
$\alpha_{10-1} = \alpha_{1-10} + d\alpha'' - 180^\circ$	$\alpha_{10-1} = 159^\circ 50' 59''.615$

V.4 TRANSFORMACION DE COORDENADAS GEOGRAFICAS A UTM

El tipo de coordenadas utilizado para este proyecto integral, denominado por la CFE, Sistema Cancuc, esta referido al NAD-27 cuyos parámetros principales son :

$a = 6\,378\,206.4\text{m}$ $b = 6\,356\,583.8$ $1/f = 294.9786982$ y $e^2 = 0.006\,768657$

1.- Vértice ED-60

$\varphi_1 = 16^\circ 56' 11''.712\ N$
 $\lambda_1 = 92^\circ 20' 41''.618\ W$

Zona geográfica: 15Q
 Meridiano central: $93^\circ\ W$

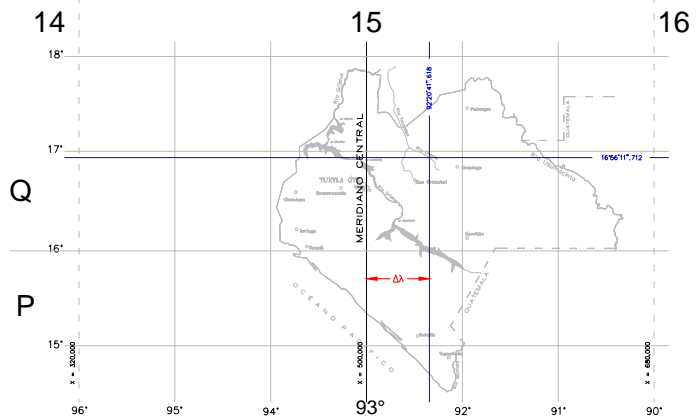


Fig.28

Calculo de la abscisa

$$X = 500000 \pm [(IV)p + (V)p^3 + B_5]$$

λ del meridiano central = $93^\circ 00' 00''.000$

λ del vértice ED-60 = $92^\circ 20' 41''.618$

$\Delta\lambda = 00^\circ 39' 18''.382$ $p = 0.0001$ $\Delta\lambda = 0.2358382$

$$(IV) = (N \cos \varphi \operatorname{sen} 1'' k_0 10^4)$$

$$(IV)p = [(6380039.045 \cos 16^\circ 56' 11''.712 \operatorname{sen} 1'') 0.9996 \times 10^4] 0.2358382 = 69\,756.00195$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} = \frac{e^2}{1 - e^2} \qquad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

$$(V) = \frac{\operatorname{sen}^3 1'' N \cos^3 \varphi}{6} (1 - \tan^2 \varphi + e'^2 \cos^2 \varphi) k_0 10^{12}$$

$$(V)p^3 = \frac{\text{sen}^3 1'' (6380039.045) \cos^3 16^\circ 56' 11''.712}{6} (1 - \tan^2 16^\circ 56' 11''.712 + 0.0068147849 \cos^2 16^\circ 56' 11''.712) 0.999 \times 10^{12} (0.2358382)^3 = 1.2705873907$$

$$B_5 = p^5 \frac{\text{sen}^5 1'' N \cos^5 \varphi}{120} (5 - 18 \tan^2 \varphi + \tan^4 \varphi + 14e'^2 \cos^2 \varphi - 58e'^2 \text{sen}^2 \varphi) k_0 10^{20}$$

$$B_5 = (0.2358382)^5 \frac{\text{sen}^5 1'' (6380039.045) \cos^5 16^\circ 56' 11''.712}{120} (5 - 18 \tan^2 16^\circ 56' 11''.712 + \tan^4 16^\circ 56' 11''.712 + 14(0.0068147849) \cos^2 16^\circ 56' 11''.712 - 58(0.0068147849) \text{sen}^2 16^\circ 56' 11''.712 (0.9996) (10^{20}) = 0.0000282315$$

$$\mathbf{X}_{ED-60} = 500\,000 + (69756.00195 + 1.2705873907 + 0.0000282315) = \mathbf{569\,757.273}$$

Calculo de la ordenada

$$Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$$

$$(I) = Sk_0 \quad k_0 = 0.9996$$

$$S = a \left[\begin{array}{l} \varphi \left(1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256} \right) - \text{sen} 2\varphi \left(\frac{3e^2}{8} + \frac{3e^4}{32} + \frac{45e^6}{1024} \right) + \text{sen} 4\varphi \left(\frac{15e^4}{256} + \frac{45e^6}{1024} \right) - \\ \text{sen} 6\varphi \left(\frac{35e^6}{3072} \right) \end{array} \right]$$

$$\varphi \text{ será dada en radianes; } \varphi \left(\frac{\pi}{180} \right)$$

$$S = 6378206.4 \left[\begin{array}{l} 0.295599201 \left(1 - \frac{0.082272^2}{4} - \frac{3(0.082272)^4}{64} - \frac{5(0.082272)^6}{256} \right) - \\ 0.557356425 \left(\frac{3(0.082272)^2}{8} + \frac{3(0.082272)^4}{32} + \frac{45(0.082272)^6}{1024} \right) + \\ 0.925516 \left(\frac{15(0.082272)^4}{256} + \frac{45(0.082272)^6}{1024} \right) - 0.979506 \left(\frac{35(0.082272)^6}{3072} \right) \end{array} \right]$$

$$(I) = 1873175.550 (0.9996) = 1872426.280$$

$$(II) p^2 = \left[\frac{N \operatorname{sen} \varphi \cos \varphi \operatorname{sen}^2 1''}{2} k_0 10^8 \right] p^2$$

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi)^{1/2}}$$

$$(II) p^2 = \left[\frac{6380039.045 \operatorname{sen} 16^\circ 56' 11''.712 \cos 16^\circ 56' 11''.712 \operatorname{sen}^2 1''}{2} (0.9996)(10^8) \right] (0.235838)^2$$

$$(II) p^2 = 116.1717793$$

$$(III) p^4 = \left[\left(\frac{\operatorname{sen}^4 1'' N \operatorname{sen} \varphi \cos^3 \varphi}{24} \right) (5 - \tan^2 \varphi + 9e^2 \cos^2 \varphi + 4e^4 \cos^4 \varphi) k_0 10^{16} \right] p^4$$

$$(III) = \left[\left(\frac{\operatorname{sen}^4 1'' (6380039.045) \operatorname{sen} 16^\circ 56' 11''.712 \cos^3 16^\circ 56' 11''.712}{24} \right) (5 - \tan^2 16^\circ 56' 11''.712) \right. \\ \left. + 9(0.0068147849) \cos^2 16^\circ 56' 11''.712 + 4(0.082551710737)^4 \cos^4 16^\circ 56' 11''.712 \right] (0.9996)(10^{16})$$

$$(III) p^4 = 1.8583146474251 (0.2358382)^4 = 0.005748782212$$

$$A_6 = p^6 \frac{\operatorname{sen}^6 1'' N \operatorname{sen} \varphi \cos^5 \varphi}{720} (61 - 58 \tan^2 \varphi + \tan^4 \varphi + 270e^2 \cos^2 \varphi - 330e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi) k_0 10^{24}$$

$$A_6 = (0.2358382)^6 \left(\frac{\operatorname{sen}^6 1'' (6380039.045) \operatorname{sen} 16^\circ 56' 11''.712 \cos^5 16^\circ 56' 11''.712}{720} \right) \\ (61 - 58 \tan^2 16^\circ 56' 11''.712 + \tan^4 16^\circ 56' 11''.712 + 270(0.08255171073)^2 \cos^2 16^\circ 56' 11''.712 \\ - 330(0.08255171073)^2 \operatorname{sen}^2 16^\circ 56' 11''.712) (0.9996)(10^{24})$$

$$A_6 = 0.0000002638$$

$$Y_{ED-60} = (I) + (II) p^2 + (III) p^4 + A_6$$

$$Y_{ED-60} = (1872426.235 + 116.1717404 + 0.0057487784 + 0.0000002638) = 1872542.458$$

$$\mathbf{Y_{ED-60} = (1872426.280 + 116.1717793 + 0.0057487822 + 0.0000002638) = 1872542.458}$$

2.- Vértice M-1

Vértice: M-1	$\varphi = 16^\circ 56' 40''.129 \text{ N}$	$\lambda = 92^\circ 21' 14''.654 \text{ W}$
Meridiano Central: 93°		Zona Geográfica: 15Q
Calculo de la Abscisa		
$\Delta\lambda = 0^\circ 38' 45''.346$	$p = 0.2325346$	$N = 6380040.704$
$X = 500\,000 \pm (IV)p + (V)p^3 + B_5$ $(IV)p = 68775.99794 \quad (V)p^3 = 1.21766107 \quad B_5 = 0.00002629$ $X_{M-1} = 568\,777.216$		
Calculo de la Ordenada		
$S = 1874049.078$	$k_0 = 0.9996$	
$Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$ $(I) = 1873299.458 \quad (II)p^2 = 112.98630975 \quad (III)p^4 = 0.00543504 \quad A_6 = 0.00000024$ $Y_{M-1} = 1\,873\,412.450$		

3.- Vértice R-5

Vértice: R-5	$\varphi = 16^\circ 57' 02''.030 \text{ N}$	$\lambda = 92^\circ 20' 31''.036 \text{ W}$
Meridiano Central: 93°		Zona Geográfica: 15Q
Calculo de la Abscisa		
$\Delta\lambda = 0^\circ 39' 28''.964$	$p = 0.2368964$	$N = 6380041.984$
$X = 500\,000 \pm (IV)p + (V)p^3 + B_5$ $(IV)p = 70063.8203 \quad (V)p^3 = 1.28725079 \quad B_5 = 0.00002883$ $X_{R-5} = 570\,065.108$		
Calculo de la Ordenada		
$S = 1874722.306$	$k_0 = 0.9996$	
$Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$ $(I) = 1873972.417 \quad (II)p^2 = 117.30187119 \quad (III)p^4 = 0.00585584 \quad A_6 = 0.00000027$ $Y_{R-5} = 1\,874\,089.725$		

4.- Vértice R-6

Vértice: R-6	$\varphi = 16^{\circ} 57' 21''.926 \text{ N}$	$\lambda = 92^{\circ} 20' 28''.172 \text{ W}$
Meridiano Central: 93°		Zona Geográfica: 15Q
Calculo de la Abscisa		
$\Delta\lambda = 0^{\circ} 39' 31''.828$	$p = 0.2371828$	$N = 6380043.146$
$X = 500\,000 \pm (IV)p + (V)p^3 + B_5$ $(IV)p = 70146.4753 \quad (V)p^3 = 1.29172002 \quad B_5 = 0.00002899$ $X_{R-6} = 570\,147.767$		
Calculo de la Ordenada		
$S = 1875333.902$	$k_0 = 0.9996$	
$Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$ $(I) = 1874583.769 \quad (II)p^2 = 117.61944647 \quad (III)p^4 = 0.00588547 \quad A_6 = 0.00000027$ $Y_{R-6} = 1\,874\,701.394$		

5.- Vértice R-2

Vértice: R-2	$\varphi = 16^{\circ} 57' 07''.204 \text{ N}$	$\lambda = 92^{\circ} 21' 26''.400 \text{ W}$
Meridiano Central: 93°		Zona Geográfica: 15Q
Calculo de la Abscisa		
$\Delta\lambda = 0^{\circ} 38' 33''.600$	$p = 0.2313600$	$N = 6380042.286$
$X = 500\,000 \pm (IV)p + (V)p^3 + B_5$ $(IV)p = 68425.87011 \quad (V)p^3 = 1.19904278 \quad B_5 = 0.00002561$ $X_{R-2} = 568\,427.069$		
Calculo de la Ordenada		
$S = 1874881.353$	$k_0 = 0.9996$	
$Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$ $(I) = 1874131.401 \quad (II)p^2 = 111.89147797 \quad (III)p^4 = 0.00532761 \quad A_6 = 0.00000023$ $Y_{R-2} = 1\,874\,243.298$		

6.- Vértice R-3

Vértice: R-3	$\varphi = 16^{\circ} 56' 40''.630 \text{ N}$	$\lambda = 92^{\circ} 21' 25''.730 \text{ W}$
Meridiano Central: 93°		Zona Geográfica: 15Q
Calculo de la Abscisa		
$\Delta\lambda = 0^{\circ} 38' 34''.270$	$p = 0.2314270$	$N = 6380040.734$
$X = 500\,000 \pm (IV)p + (V)p^3 + B_5$ $(IV)p = 68448.35638 \quad (V)p^3 = 1.20033926 \quad B_5 = 0.00002567$ $X_{R-3} = 568\,449.557$		
Calculo de la Ordenada		
$S = 1874064.478$	$k_0 = 0.9996$	
$Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$ $(I) = 1873314.852 \quad (II)p^2 = 111.9133388 \quad (III)p^4 = 0.00533226 \quad A_6 = 0.00000023$ $Y_{R-3} = 1\,873\,426.771$		

7.- Vértice R-1

Vértice: R-1	$\varphi = 16^{\circ} 56' 05''.552 \text{ N}$	$\lambda = 92^{\circ} 20' 58''.240 \text{ W}$
Meridiano Central: 93°		Zona Geográfica: 15Q
Calculo de la Abscisa		
$\Delta\lambda = 0^{\circ} 39' 01''.760$	$p = 0.2341760$	$N = 6380038.685$
$X = 500\,000 \pm (IV)p + (V)p^3 + B_5$ $(IV)p = 69\,264.98397 \quad (V)p^3 = 1.24397188 \quad B_5 = 0.00002725$ $X_{R-1} = 569\,266.228$		
Calculo de la Ordenada		
$S = 1872986.194$	$k_0 = 0.9996$	
$Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$ $(I) = 1872236.999 \quad (II)p^2 = 114.52978255 \quad (III)p^4 = 0.00558804 \quad A_6 = 0.00000025$ $Y_{R-1} = 1\,872\,351.535$		

8.- Vértice Arbol-1

Vértice: Arbol-1	$\varphi = 16^{\circ} 56' 28''.540 \text{ N}$	$\lambda = 92^{\circ} 20' 48''.036 \text{ W}$
Meridiano Central: 93°		Zona Geográfica: 15Q
Calculo de la Abscisa		
$\Delta\lambda = 0^{\circ} 39' 11''.964$	$p = 0.2351964$	$N = 6380040.028$
$X = 500\,000 \pm (IV)p + (V)p^3 + B_5$ $(IV)p = 69\,564.45312 \quad (V)p^3 = 1.26007334 \quad B_5 = 0.00002784$ $X_{\text{Arbol-1}} = 569\,565.713$		
Calculo de la Ordenada		
$S = 1873692.836$	$k_0 = 0.9996$	
$Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$ $(I) = 1872943.359 \quad (II)p^2 = 115.56845006 \quad (III)p^4 = 0.00568749 \quad A_6 = 0.00000026$ $Y_{\text{Arbol-1}} = 1\,873\,058.933$		

VI. CONCLUSIONES

El proyecto de transferencia Cancuc, como todo proyecto ingenieril, requiere de un proceso de concepción, de estudios de campo y oficina que ayuden a determinar su factibilidad técnica - económica antes de llegar a construirse. En el estudio intervienen distintas especialidades que aportan sus opiniones del comportamiento de los elementos y materiales naturales desde varios puntos de vista que integrados resultan en un mejor proyecto.

Se estima que hay al menos cuatro grandes áreas de la ingeniería que intervienen en un proyecto hidroeléctrico:

CIENCIAS DE LA TIERRA: Topografía / Geología / Geofísica / Geotecnia Suelos Rocas

CIENCIAS DEL AGUA: Hidrología / Hidráulica.

INGENIERÍA CIVIL: Obras hidráulicas / Análisis de estabilidad / Análisis estructural / Diseño / Economía.

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA: Turbinas / Generadores / Subestación Eléctrica / Líneas de Transmisión.

En todas estas ramas de la ingeniería, la topografía es parte importante, ya mencionamos parte los trabajos de apoyo a la Geología, Geofísica e Hidrología, desde las primeras etapas de factibilidad también la ingeniería civil requiere de planos topográficos para esbozar el diseño de las distintas obras hidráulicas de retención.

De manera importante, la topografía interviene en la etapa de construcción a través del replanteo de las obras proyectadas que van desde la localización y trazo del eje de la cortina, trazo y levantamiento a detalle de socavones y túneles exploratorios, túnel de desvío, localización de la curva de embalse, levantamientos topográficos para poblados de reacomodo afectados por el futuro lago artificial, trazo y levantamiento de caminos de acceso definitivo, etc.

En la etapa de equipamiento de las piezas electromecánicas, la topografía aporta su acciones en el replanteo de los sitios de desplante de las turbinas, tuberías reforzadas de

conducción, túneles de desfogue y aun en el montaje de los generadores se aplican métodos topográficos de precisión.

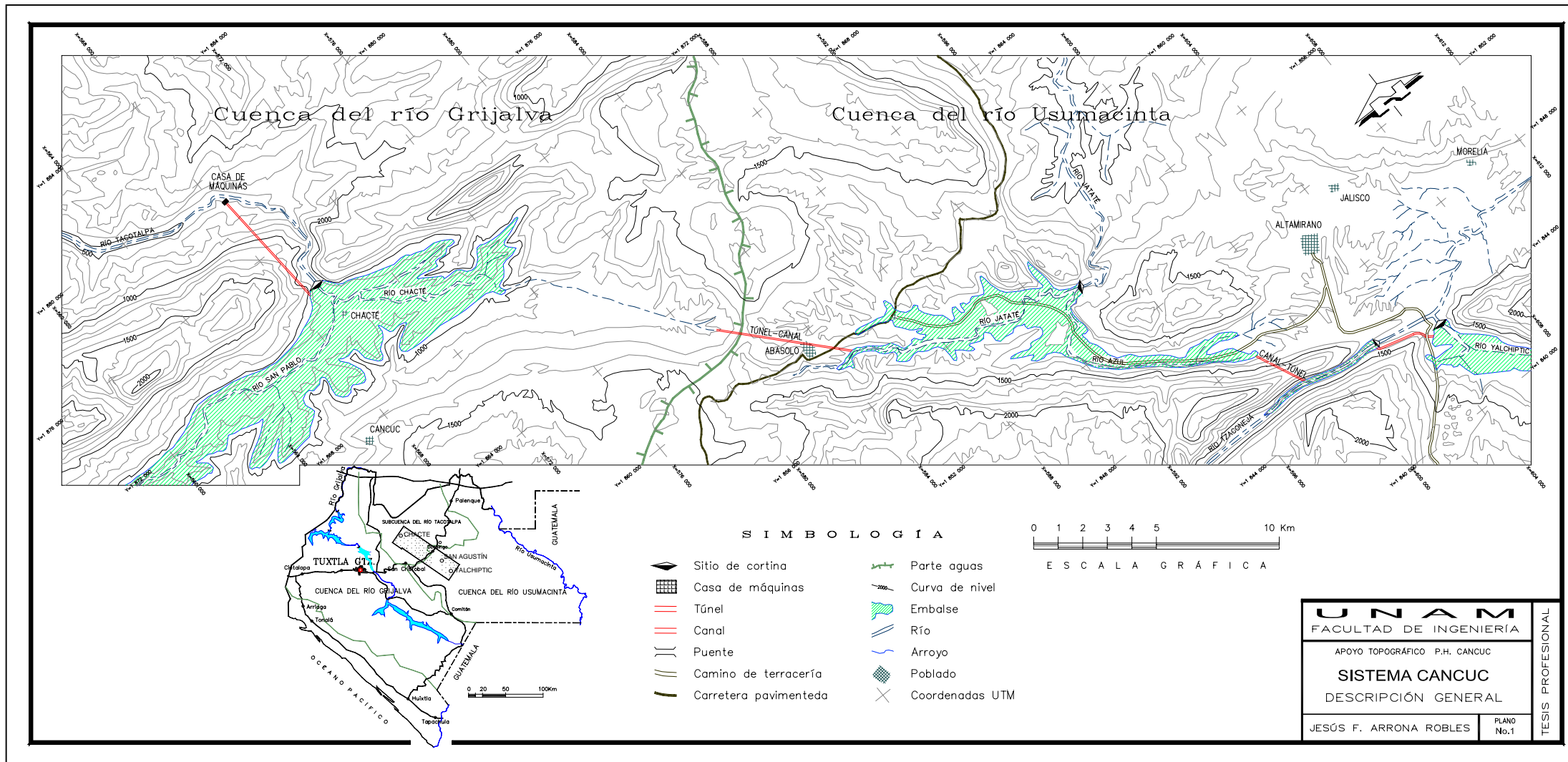
En las líneas que transportan la energía producida en las centrales hidroeléctricas hacia los centros de consumo, hay varias etapas en las que también la topografía proporciona su apoyo como ingeniería básica en su construcción.

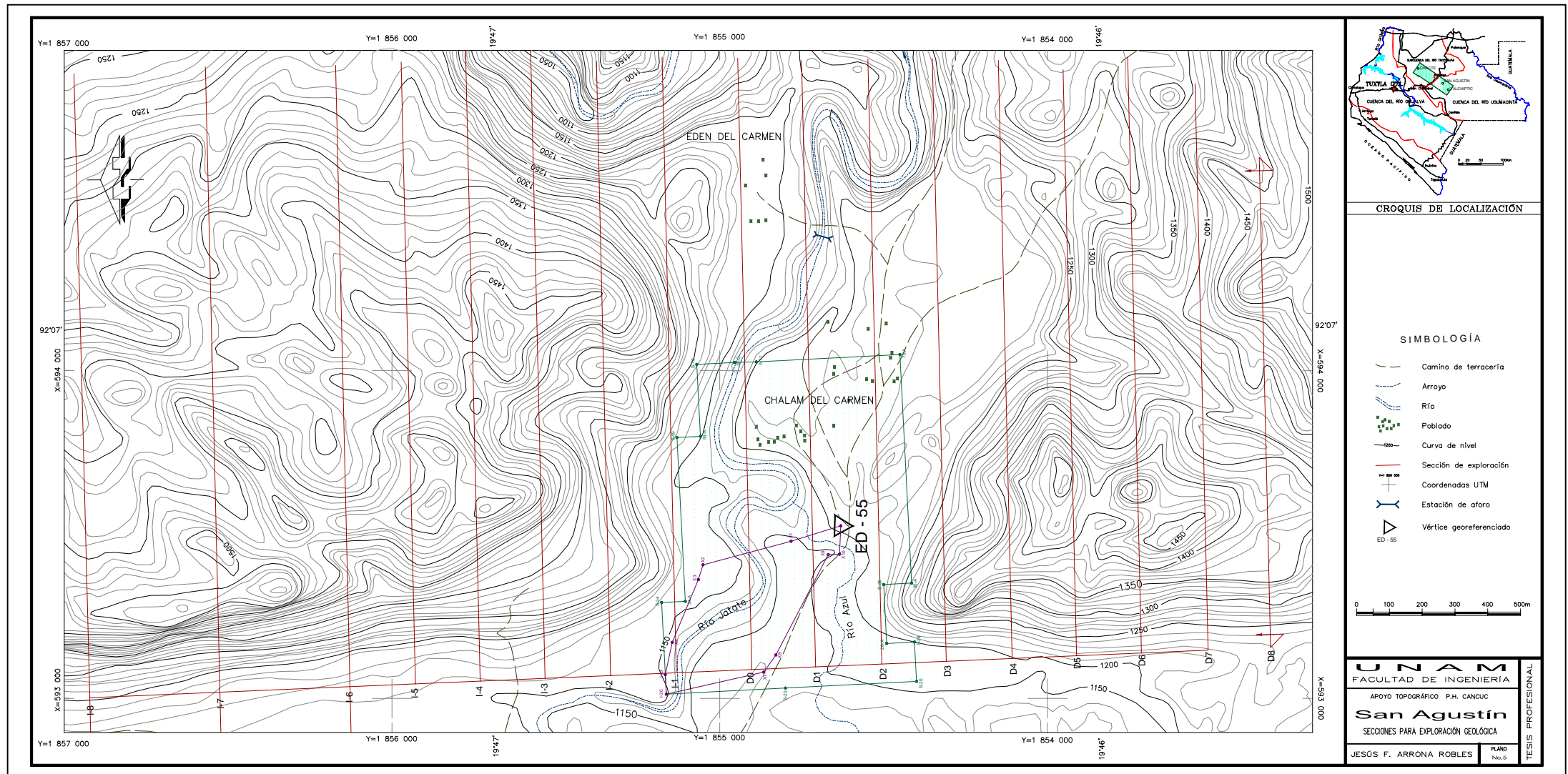
Debido al avance científico y tecnológico, en la actualidad algunos métodos topográficos se notan lentos y obsoletos ante el surgimiento de otras tecnologías y equipos de medición, recordemos que en el pasado reciente el uso de la tabla de logaritmos dio paso a las incipientes calculadoras científicas y éstas a las calculadoras programables para dejarles el paso a las computadoras de escritorio, no olvidemos que antes de tener acceso generalizado y personal a las computadoras hubo que utilizar las perforadoras de tarjetas para “escribirle” a la computadora central nuestros algoritmos y datos que resolvieran nuestros problemas y finalmente hoy día es común procesar datos y texto en computadoras portables con acceso a la Internet casi en cualquier lugar.

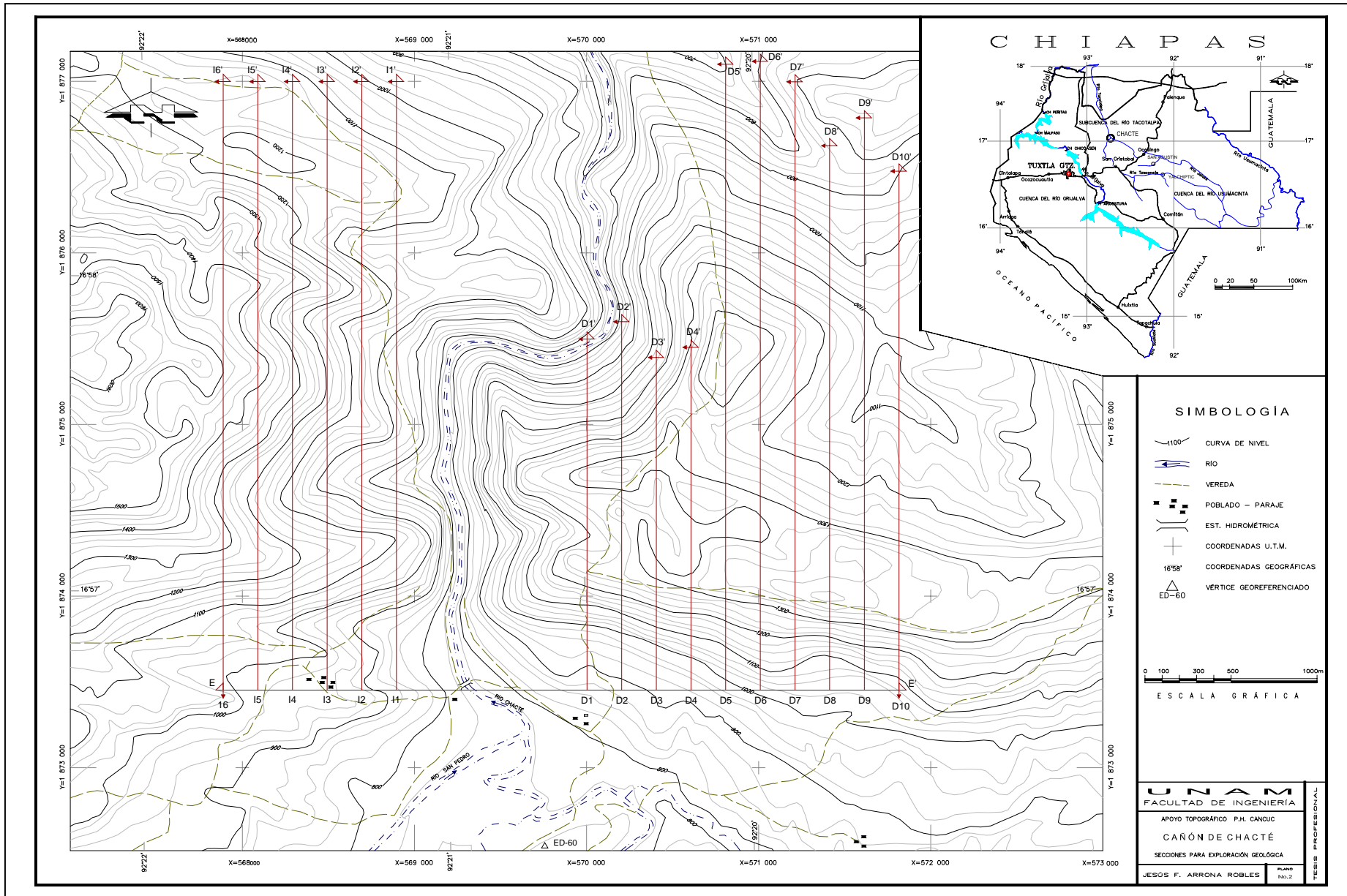
La tecnología para posicionamiento es otro aspecto que ha evolucionado enormemente con la disposición a la población civil de los sistemas satelitales, la medición de distancias, ángulos y el registro de campo es hoy tarea de manejo de archivos electrónicos, lo mismo ha ocurrido con el proceso de datos y la presentación de resultados en dibujos electrónicos, dando a la ingeniería topográfica la posibilidad de mejorar los tiempos de trabajo de campo y gabinete traduciéndose en resultados oportunos y confiables, además de reducir el impacto al medio ambiente.

La evolución no se detendrá en lo referente a los métodos y alcances de la topografía y es necesario adaptarnos al uso mas intenso de los Sistemas de Información Geográfica, potentes herramientas de creación y uso de bases de información que permiten ya hacer mejor uso de los levantamientos geográficos de campo en tiempo real.

ANEXOS







PLANILLA DE CÁLCULO DEL POLÍGONO CERRADO DE CONTROL EN ZONA DE DETALLE

SITIO SAN AGUSTÍN, MPIO. DE OCOSINGO, EDO. DE CHIAPAS

LADO		AZIMUT	DIST. HORZ.	PROYECCIONES		CORRECCION		PROY. CORREGIDAS		COORDENADAS (UTM)			VERT
EST	PO			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Z	
I-20	S-34	87°04'38"											
	B-20	177°04'38"	364.224	18.5717	-363.7502	0.0023	0.0488	18.5740	-363.7990	593031.527	1854799.244	1209.721	B-20
B-20	S-20	177°04'38"	400.143	20.4032	-399.6224	0.0025	0.0536	20.4057	-399.6760	593051.933	1854399.568	1202.344	S-20
S-20	S-26	87°04'38"	120.024	119.8678	6.1200	0.0146	-0.0008	119.8824	6.1192	593171.815	1854405.687	1206.248	S-26
S-26	26-A	357°04'38"	85.110	-4.3397	84.9992	-0.0005	-0.0114	-4.3392	84.9878	593167.476	1854490.675	1204.171	26-A
26-A	S-35	87°04'38"	180.070	179.8357	9.1817	0.0218	-0.0012	179.8575	9.1805	593347.333	1854499.856	1206.668	S-35
S-35	35-A	177°04'38"	85.353	4.3521	-85.2419	0.0005	0.0115	4.3526	-85.2534	593351.686	1854414.602	1252.336	35-A
35-A	70-A	87°04'38"	697.723	696.8153	35.5768	0.0846	0.0048	696.8999	35.5720	594048.586	1854450.174	1219.275	70-A
70-A	A-11	357°04'38"	439.139	-22.3916	438.5677	-0.0027	-0.0589	-22.3889	438.5088	594026.197	1854888.683	1202.557	A-11
A-11	70-C	358°28'20"	66.429	-1.7711	66.4053	-0.0002	-0.0089	-1.7709	66.3964	594024.426	1854955.079	1196.891	70-C
70-C	S-70	357°04'38"	115.182	-5.8731	115.0321	-0.0007	-0.0155	-5.8724	115.0166	594018.554	1855070.096	1253.711	S-70
S-70	59-A	267°04'38"	219.578	-219.2923	-11.1962	-0.0266	0.0015	-219.2657	-11.1977	593799.288	1855058.898	1215.171	59-A
59-A	S-59	357°04'38"	71.852	-3.6637	71.7585	-0.0004	-0.0096	-3.6633	71.7489	593795.625	1855130.647	1226.161	S-59
S-59	34-A	267°04'38"	500.288	-499.6372	-25.5096	-0.0607	0.0034	-499.5765	-25.5130	593296.048	1855105.134	1207.981	34-A
34-A	S-34	357°04'38"	72.282	-3.6856	72.1879	-0.0005	-0.0097	-3.6851	72.1782	593292.363	1855177.312	1216.031	S-34
S-34	I-20	267°04'38"	279.808	-279.4440	-14.2674	-0.0339	0.0019	-279.4110	-14.2693	593012.953	1855163.043	1209.605	I-20

L = 3697.205

$\Sigma=0.2525$

$\Sigma=0.2515$

$\Sigma(+)=1039.8458$ $\Sigma(+)=899.8292$

$\Sigma(+)=1039.9721$ $\Sigma(+)=899.7084$

$\Sigma(-)=1040.0983$ $\Sigma(-)=899.5877$

$\Sigma(-)=1039.9721$ $\Sigma(-)=899.7084$

Ex = 0.2525 Ey = 0.2415

$$E_t = \sqrt{0.2525^2 + 0.2415^2} = 0.349397 \quad C_x = \frac{0.2525}{2079.9441} = 0.0001213975 \quad C_y = \frac{0.2415}{1799.4169} = 0.0001342101 \quad E_o = \frac{0.349397}{3697.205} = 0.0000945031 = 1 : 10\,581$$

PLANILLA DE CÁLCULO DEL POLÍGONO CERRADO, TRASLADO DE COORDENADAS AL AREA DE DETALLE

SITIO SAN AGUSTÍN, MPIO. DE OCOSINGO, EDO. DE CHIAPAS

LADO		AZIMUT	DIST. HORZ.	PROYECCIONES		CORRECCION		PROY. CORREGIDAS		COORDENADAS (UTM)			VERT
EST	PO			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Z	
ED55	X-1	342°41'50"	158.995	-47.2885	151.7999	-0.0044	0.0082	-47.2841	151.8081	593479.146	1854782.507	1207.245	X-1
X-1	X-2	345°02'22"	277.992	-71.7647	268.5691	-0.0066	0.0146	-71.7581	268.5837	593407.388	1855051.091	1208.753	X-2
X-2	X-3	287°18'31"	47.391	-45.2450	14.0997	-0.0042	0.0008	-45.2408	14.1005	593362.147	1855065.191	1209.397	X-3
X-3	X-4	292°35'02"	206.997	-191.1241	79.4942	-0.0176	0.0043	-191.1065	79.4985	593171.041	1855144.690	1208.650	X-4
X-4	I-23	282°18'01"	100.500	-98.1930	21.4100	-0.0091	0.0012	-98.1839	21.4112	593072.857	1855166.101	1208.725	I-23
I-23	I-20	267°04'38"	59.987	-59.9090	-3.0587	-0.0055	-0.0002	-59.9035	-3.0585	593012.953	1855163.043	1209.605	I-20
I-20	X-7	167°15'50"	304.985	67.2373	-297.4811	0.0062	-0.0162	67.2435	-297.4649	593080.197	1854865.578	1211.680	X-7
X-7	X-8	125°30'13"	63.999	52.1002	-37.1677	0.0048	-0.0020	52.1050	-37.1657	593132.302	1854828.412	1211.951	X-8
X-8	X-9	117°29'59"	344.915	305.9441	-159.2625	0.0283	-0.0086	305.9724	-159.2539	593438.274	1854669.158	1206.535	X-9
X-9	X-10	177°45'03"	34.530	1.3551	-34.5034	0.0001	-0.0019	1.3552	-34.5015	593439.629	1854634.657	1204.986	X-10
X-10	ED55	92°36'39"	86.883	86.7928	-3.9577	0.0080	-0.0002	86.8008	-3.9575	593526.430	1854630.699	1208.174	ED55

L=1687.174

Σ=0.0948

Σ=0.0582

Σ(+)=513.4295 Σ(+)=535.3729

Σ(+)=513.4769 Σ(+)=535.4020

Σ(-)=513.5243 Σ(-)=535.4311

Σ(-)=513.4769 Σ(-)=535.4020

≠ 0.0948 ≠ 0.0582

$$E_t = \sqrt{0.0948^2 + 0.0582^2} = 0.1112397411$$

$$C_x = \frac{0.0948}{1020538} = 0.0000923118$$

$$C_y = \frac{0.0582}{10708040} = 0.0000543517$$

$$E_o = \frac{0.111239741}{1687174} = 0.0000659326 = 1: 15 167$$

BIBLIOGRAFÍA

Unidad de Estudios de Ingeniería Civil, C.F.E. 1989.- *Geología del Estado de Chiapas*. Informe inédito.

Estudios Geológicos del Medio y Alto Usumacinta, C.F.E. Agosto de 1984.- *Transferencia Cancuc, Usumacinta –Tacotalpa*. Informe inédito.

Estudios Geológicos del Medio y Alto Usumacinta, C.F.E. Marzo de 1982.- *Informe Geológico del Proyecto Hidroeléctrico Chacté, Cuenca del Alto Río Tacotalpa, Chiapas*. Informe inédito.

Instituto de Geografía UNAM, CETENAL, 1970.- *Carta de Climas Tuxtla Gutiérrez 15Q-VII. / Villahermosa 15Q-VIII. / Pijijiapan 15P-I. / Tapachula 15P-II*.

Medina Peralta Manuel, 1978 *Elementos de Astronomía de Posición* Edit. LIMUSA México.

Thomas A. Stansell, 1980 *El Sistema de Navegación por Satélite TRANSIT* Magnavox Company.

Medina Peralta Manuel, 1978 *Introducción a la geodesia geométrica y técnicas de las operaciones de campo* Edit. LIMUSA México ISBN 968-18-0112-1.

Luthe García Gualterio, 1979 *Fundamentos de Fotogrametría* Apuntes del curso C-2 Facultad de Ingeniería UNAM.

Frank Ayres Jr, 1970 *Teoría y Problemas de Matrices* Edit. Mc Graw-Hill México ISBN968-451-190-6.

Caire Lomelí Jorge, 1974 *La Proyección Cartográfica para Petróleos Mexicanos*. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Edición Especial.

James R. Smith, 1997 *Introduction to Geodesy, The History and Concepts of Modern Geodesy* Edit. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-16660-X.