



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

6
25

FACULTAD DE INGENIERIA

"TOPOGRAFIA APLICADA AL PROYECTO
REGULADOR E HIDROELECTRICO
SAN RAFAEL, NAY."

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA

P R E S E N T A

PAUL REYES AYALA



MEXICO, D.F.

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-045/95

Señor
PAUL REYES AYALA
Presente.

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

"TOPOGRAFIA APLICADA AL PROYECTO REGULADOR E HIDROELECTRICO SAN RAFAEL, NAY."

- INTRODUCCION**
- I. ANTECEDENTES**
- II. DESCRIPCION DE LAS OBRAS QUE INTEGRAN EL PROYECTO**
- III. CONTROL TOPOGRAFICO DE LA CONSTRUCCION**
- IV. METODOS TOPOGRAFICOS PARA LA INSTRUMENTACION DE LA PRESA**
- V. MEMORIA FOTOGRAFICA**
- VI. CONCLUSIONES**

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 9 de mayo de 1995.
EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS/GMP:nl

A MIS PADRES

Que me han hecho sentir afortunado
y de quienes además me siento
orgullosa

AGRADECIMIENTOS :

A LA FACULTAD DE INGENIERIA

Y

A mis maestros

Por mi formación profesional

A LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

*Por las facilidades otorgadas para la elaboración de
este trabajo.*

I N D I C E

INTRODUCCION.....	1
<u>CAPITULO I ANTECEDENTES</u>	5
<u>CAPITULO II DESCRIPCION DE LAS OBRAS QUE INTEGRAN EL PROYECTO.</u> ..	32
II.1 OBRAS DE DESVIO.....	33
II.1.1 Canal de desvío	33
II.1.2 Ataguía de aguas arriba	36
II.1.3 Ataguía de aguas abajo.	39
II.2 OBRA DE CONTENCION	42
II.3 OBRA DE CONTROL Y EXCEDENCIAS.	45
II.4 OBRA DE TOMA	46
II.5 OBRAS DE INFRAESTRUCTURA	48
<u>CAPITULO III CONTROL TOPOGRAFICO DE LA CONSTRUCCION</u>	50
III.1 ALCANCE DE LOS SERVICIOS DE TOPOGRAFIA.....	51
III.1.1 Ambito de supervisión topográfica	55
III.1.2 Conciliaciones con el contratista ejecutor.	56
III.1.3 Documentación de respaldo para estimaciones mensuales. .	57
III.1.4 Planos de construcción.	73
III.1.5 Equipo topográfico.	75
III.1.6 Brigadas de topografía utilizadas	77
III.1.7 Bitácora de obra.	77
III.1.8 Desglose del costo de los servicios	78
III.2 ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS TOPOGRAFICOS PARA LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO.	87
III.2.1 Tolerancias	87
III.2.2 Batimetrías	90
III.2.3 Secciones transversales	92
III.2.3.1 Seccionamiento de terraplenes	94
III.2.3.2 Seccionamiento en excavaciones a cielo abierto. .	94

III.2.3.3	Cálculo de áreas	96
III.2.3.3.1	Uso del planímetro polar.	99
III.2.3.4	Cálculo de volúmenes.	103
III.2.4	Levantamientos topográficos	104
III.2.4.1	Configuración	112
III.2.4.1.1	Paquete surfer (versión 4.15)	113
III.2.4.1.2	Procedimiento de campo.	118
III.2.4.1.3	Cálculo de coordenadas.	120
III.2.4.1.4	Determinación de volúmenes por medio de curvas de nivel.	122
III.2.4.2	Curvas circulares simples	124
III.2.4.2.1	Elementos geométricos de una curva circular.	124
III.2.4.2.2	Trazo de las curvas en el terreno	126
III.2.4.2.3	Trazo de curvas en las obras de desvío.	127
III.2.4.2.4	Trazo de curvas en la obra de control y excedencias	130
III.2.4.2.5	Trazo de curvas en la obra de toma.	133
III.2.5	Verificaciones.	134
III.2.5.1	Colocación de anclaje	134
III.2.5.2	Concreto lanzado.	136
III.2.5.3	Barrenación de drenaje o inyección.	136
III.2.5.4	Orden de colado	136
III.2.5.4.1	Orden de segundos colados	141
III.2.5.5	Montaje de compuertas metálicas	141
III.2.5.6	Montaje de estructuras metálicas.	142
III.2.6	Replanteo y actualización de ejes, puntos de referencia, bancos de nivel y mojoneras.	142
III.2.7	Vialidades	147

CAPITULO IV METODOS TOPOGRAFICOS PARA LA INSTRUMENTACION DE LA

PRESA..... 149

IV.1 INSTRUMENTACION150

IV.2 ANTECEDENTES.151

IV.3 DESCRIPCION DE LA INSTRUMENTACION EMPLEADA. 153

IV.3.1 Inclínómetros.153

IV.3.2 Nivel Hidráulico157

IV.3.3 Acelerógrafos.159

IV.3.4 Piezómetros. 160

IV.3.5 Medidores de juntas (extensómetros).160

IV.3.6 Termómetros eléctricos 162

IV.4 PROCEDIMIENTOS PARA LA INSTALACION DE INSTRUMENTOS . 162

IV.4.1 Actividades que realiza la brigada de topografía. 163

IV.5 METODOS TOPOGRAFICOS DE PRECISION APLICADOS A LA
INSTRUMENTACION. 167

IV.5.1 Equipo topográfico de precisión utilizado 168

IV.5.2 Sistemas de trabajo (Triangulateración) 169

IV.5.2.1 Puntos de control superficial169

IV.5.2.2 Bases de centraje para distanciómetro171

IV.5.2.3 Mediciones angulares horizontales 173

IV.5.2.4 Mediciones angulares verticales173

IV.5.2.5 Medición electrónica de distancias. 174

IV.5.2.6 Registros de campo. 175

IV.5.2.7 Compensación de las figuras por mínimos cuadrados .195

IV.5.2.8 Cálculo de coordenadas de las bases de centraje. ...205

IV.5.2.9 Control planimétrico 209

IV.5.2.10 Control altimétrico. 212

CAPITULO V MEMORIA FOTOGRAFICA..... 213

CAPITULO VI CONCLUSIONES229

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

TOPOGRAFIA (del griego: Τόπος → topos, lugar y Γραφείν → graphein, describir)

Es la ciencia que trata de los principios y métodos empleados para determinar las posiciones relativas de puntos de la superficie terrestre, por medio de medidas, y usando los tres elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación.

La topografía define la posición y las formas circunstanciales del suelo, es decir, estudia en detalle la superficie terrestre y los procedimientos por los cuales se pueden representar, todos los accidentes que en ella existen, sean naturales o debidos a la mano del hombre.

La topografía tiene un campo de aplicación extenso, lo que la hace sumamente necesaria. Sin su conocimiento, un ingeniero no podría por sí sólo proyectar ninguna obra. La topografía también se utiliza para instalar maquinaria y equipo industrial; en la construcción de presas; para el montaje de estructuras metálicas; en la navegación através de las cartas náuticas para fijar la situación de puntos determinados; en cuestiones militares (táctica, estrategia, logística, etc.); etc.

Así pues, la topografía sirve y está en mayor o menor escala en casi todas las obras que el hombre hace o pretende hacer.

La Topografía Aplicada al Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, se refiere al conjunto de procedimientos y actividades de carácter topográfico, que se desarrollan antes de la construcción del proyecto, durante la construcción de cada una de las estructuras que conforman el proyecto y posteriores a la construcción del proyecto.

La actividad topográfica se limita al contexto dimensional, geométrico y de localización de puntos mediante el sistema de coordenadas propio del proyecto.

En esta tesis, se desarrolla la memoria descriptiva de la Topografía Aplicada al P.R.H. (Proyecto Regulador e Hidroeléctrico) San Rafael, que abarca desde los estudios topográficos preliminares al proyecto, hasta los trabajos topográficos posteriores a la construcción del mismo; la cuál se estructuró de acuerdo al período de ejecución de los trabajos y el alcance de la misma, es cubrir los procedimientos y actividades que se llevan a cabo de manera objetiva en este tipo de obras.

La Comisión Federal de Electricidad es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio acreditados en el artículo 8º de la Ley de Servicios Públicos de Energía Eléctrica, publicado en el diario oficial de la federación el día 22 de diciembre de 1975 y reformada por decreto publicado en el diario oficial de la federación el día 27 de diciembre de 1983.

El crecimiento del país demanda cada vez mayores consumos de energía eléctrica, teniendo la Comisión Federal de Electricidad que construir nuevos centros de generación de electricidad y obras derivadoras, con requerimientos de organización vanguardista que haga de todo el conjunto de elementos del orden civil, mecánico o eléctrico, un sistema integrado de confiabilidad.

El P.R.H. San Rafael, en el estado de Nayarit, es una de las obras derivadoras que integran la gran red de electrificación de la República Mexicana. En octubre de 1993, el gobierno mexicano a través de la Comisión Federal de Electricidad; previo concurso, delegó la construcción del proyecto a la empresa BUFETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S.A. de C.V. en base al contrato de obra pública No. 931031 titulado: " Construcción del Proyecto San Rafael, consistente en Reguladora, Derivadora y Central Hidroeléctrica localizado en el estado de Nayarit ".

A partir de enero de 1994, la supervisión del proyecto se ejecutó a través de la contratista supervisora CALIDAD Y TECNICA INDUSTRIAL S.A. DE C.V. en base al contrato de obra pública no. 933035 titulado: " Supervisión del Proyecto San Rafael, consistente en Reguladora, Derivadora y Central Hidroeléctrica localizado en el estado de Nayarit ".

El Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael ubicado en el estado de Nayarit, entre los municipios de Tepic y del Nayar ha requerido no sólo de estudios preliminares sobre aspectos hidrológicos, topográficos, geológicos, de reasentamientos humanos, económicos: el impacto ambiental también ha sido prioritario en su planeación.

Nuestra profesión se apoya casi totalmente en las matemáticas, ciencia abstracta que en ocasiones nos hace perder la dimensión que el impacto de las obras en que intervenimos puede tener en el medio ambiente; pero esto no debe servirnos de pretexto para afectar de forma inmoderada un patrimonio que pertenece a todos, tenemos que buscar opciones que permitan seguir construyendo sin alterar el ambiente.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

ASPECTOS GENERALES

A partir del año 1963, se han estado realizando una serie de estudios a todo lo largo del cauce del Río Santiago, con el propósito de encontrar sitios que reúnan las mejores condiciones para la ubicación de obras de almacenamiento de agua con fines hidroeléctricos.

La construcción del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, en el estado de Nayarit fue autorizada por decreto presidencial, teniendo que iniciar la Comisión Federal de Electricidad los trabajos por administración directa en tanto se desarrollaba el concurso por convocatoria pública, para que la obra concluyera el 04 de julio de 1994 dentro de la anterior administración del Poder Ejecutivo Federal, sólo iniciando las obras Comisión por administración directa se daban las condiciones para el desvío del río en enero de 1994 y así iniciar los trabajos de desplante de las estructuras; estas actividades se desarrollaron al amparo de un acuerdo de obra por administración directa No. SDC-CPH-6HXA1-93/1, consistente en la excavación de desvío y formación de plataformas que sirvieran para el desplante de las Ataguías aguas arriba y aguas abajo del proyecto.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto de la Presa San Rafael se localiza sobre el Río Santiago, a 16.8 Km aguas abajo del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa; siendo los objetivos del proyecto los siguientes:

A) Mitigación del impacto al ecosistema acuático manteniendo un gasto uniforme del Río Santiago.

B) Garantizar la demanda de riego actual y futura de 124,100 Has.

C) Regulación y cambio del régimen de descargas del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa para las necesidades urbanas, recreativas y de pesca que actualmente se desarrollan aguas abajo.

D) Generación de energía eléctrica: Potencia equipable: 21,600 KW

Generación media anual : 154,100 KWH

El dimensionamiento del embalse se estableció a partir de las necesidades de riego definidas por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y que consideran una extracción máxima de 187.5 m³/s durante las 24 horas del día, de los cuales 91.5 m³/s serán conducidos a la zona de riego ubicada en las márgenes del Río San Pedro; 96.0 m³/s se destinarán para satisfacer las demandas de la zona de riego del bajo Río Santiago. Se incluyen en este caudal, 50.0 m³/s requeridos para propósitos de conservación ecológica.

El eje del Proyecto San Rafael se eligió considerando las características geológicas y topográficas de un conjunto de siete sitios analizados desde ambos puntos de vista. El identificado como "El Venado" ofrece condiciones adecuadas para la construcción de las obras y satisface la capacidad requerida para el cambio del régimen de extracciones del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, teniendo en cuenta los niveles de desfogue con los que operará la central y que deberán ser respetados para no provocar afectaciones a las unidades y a la producción de energía eléctrica.

LOCALIZACIÓN

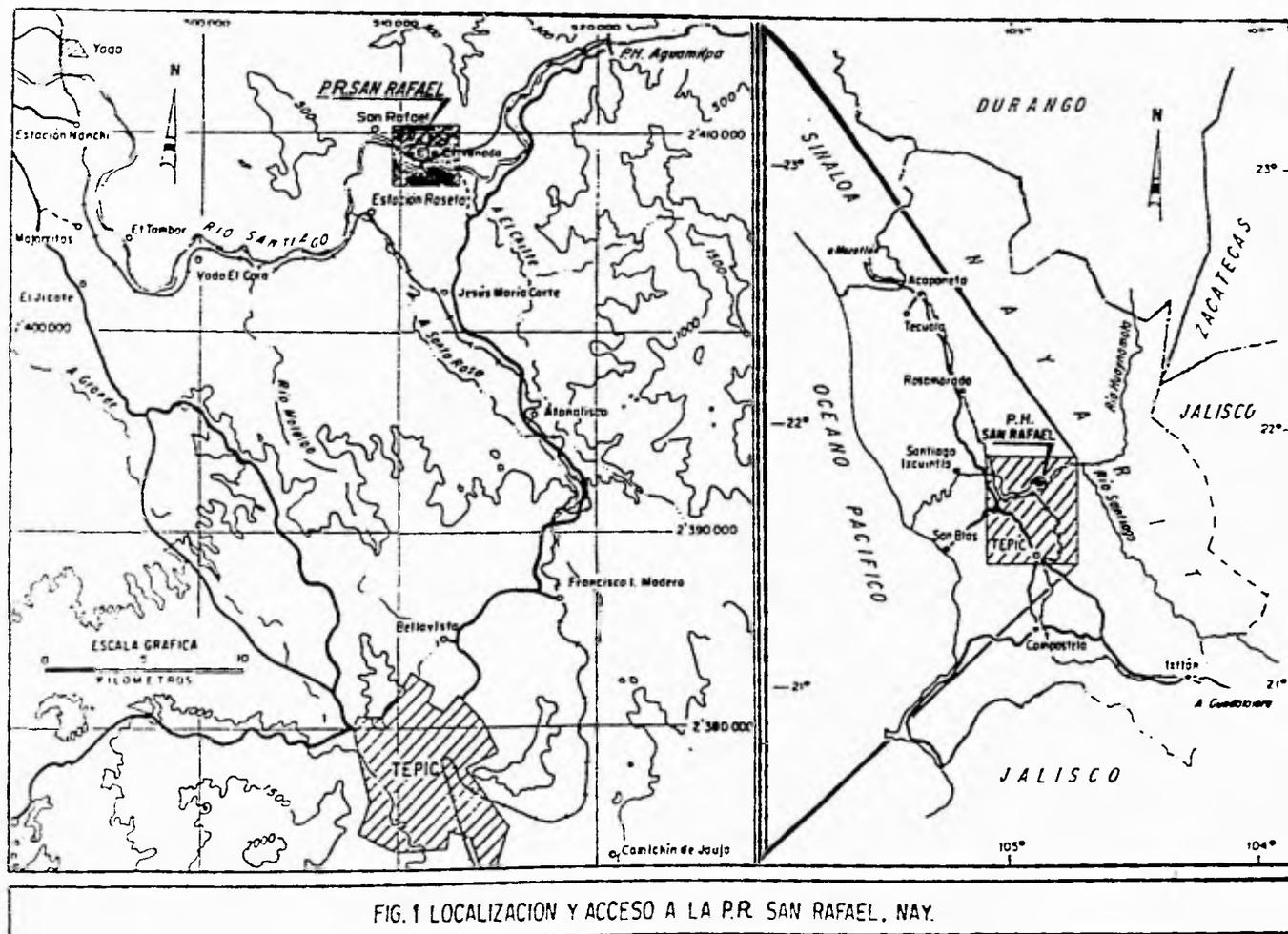
Geográficamente el área del proyecto se localiza entre las coordenadas 21°46'05" y 21°47'53" de Latitud Norte y 104°51'15" y 104°56'08" de Longitud Oeste.

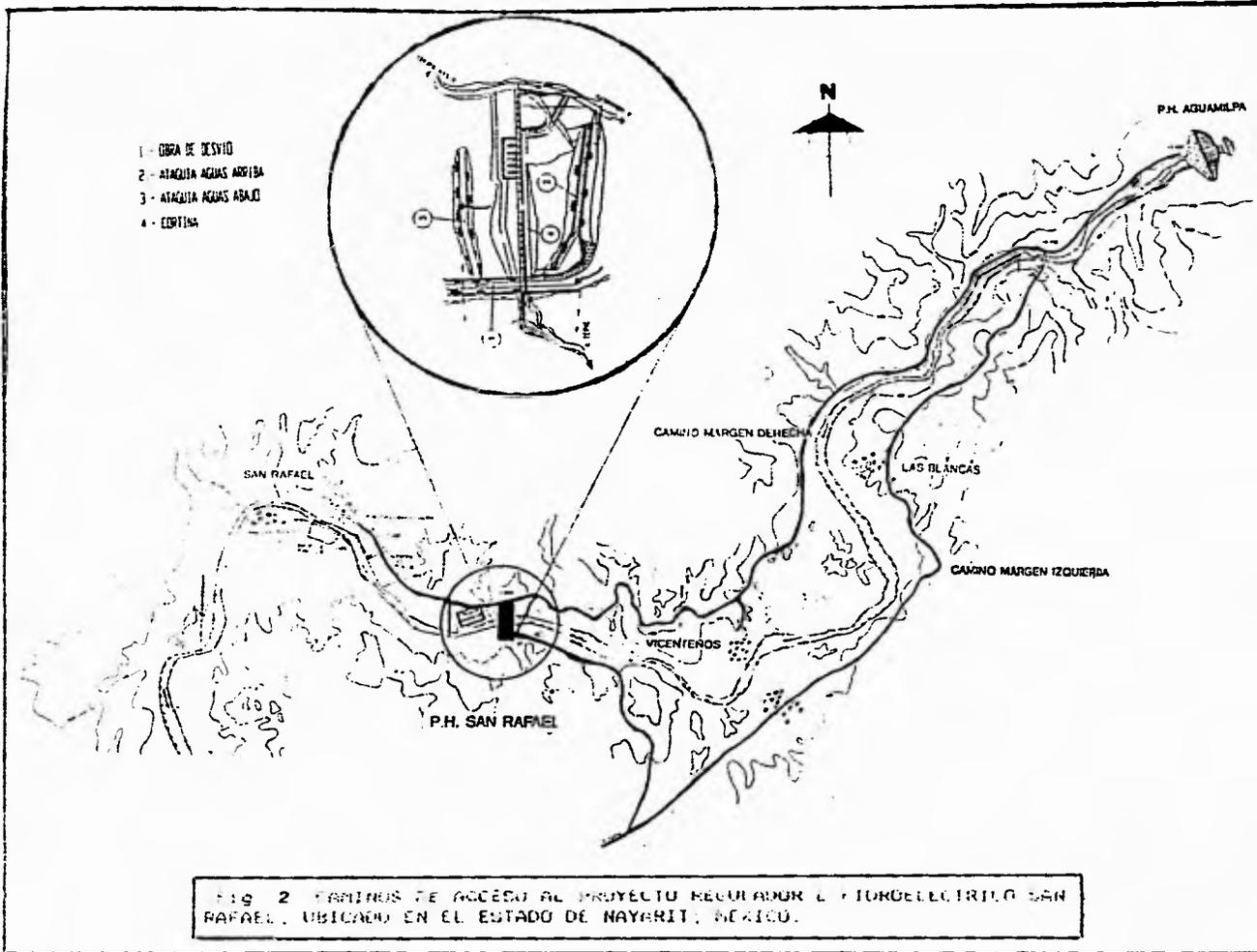
El sitio del Proyecto San Rafael se encuentra a una distancia de 27 km en línea recta de la ciudad de Tepic, capital del estado de Nayarit, y a 16.8 km aguas abajo del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa sobre el Río Santiago (Fig. 1). En la figura 1 se muestran coordenadas geográficas y coordenadas UTM (Proyección Universal Transversal de Mercator).

ACCESO

El acceso al sitio del proyecto, por la margen izquierda del Río Santiago, se logra recorriendo la carretera Tepic - Aguamilpa hasta el km 35, donde se toma una desviación hacia la izquierda por un camino de terracería en el cual se recorren 4.5 Km para llegar a la boquilla.

Por la margen derecha, el acceso es posible desde el Proyecto Aguamilpa (fin de la carretera Tepic - Aguamilpa, con un desarrollo de 42 km), recorriendo 11.3 km del camino de terracería construido sobre la margen derecha del Río Santiago y que se utilizó inicialmente para el acarreo de los materiales provenientes de los bancos de grava requeridos para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa (Fig. 2).





FISIOGRAFIA.

El área del Proyecto San Rafael se ubica en la subprovincia de Sierra de Pie de Monte, perteneciente a la provincia Sierra Sepultada, en el límite con las subprovincias Sierra de Sinaloa - Nayarit. La primera presenta una etapa de madurez temprana y se observa constituida por cerros y lomas altas de formas subredondeadas, que contrastan con algunos rasgos más jóvenes, cortadas por arroyos en forma de "V"; la segunda subprovincia presenta una etapa de madurez tardía, con aspecto plano y estrecho y en ella se observan lomas de poca altura y llanuras bajas.

HIDROGRAFÍA

En la cuenca propia del proyecto se presenta el sistema de drenaje característico de la región, manifestado por una serie de arroyos localizados en ambos márgenes, siendo estos tributarios del cauce principal del Río Santiago. El régimen hidrológico de estas corrientes superficiales se puede considerar de características torrenciales, con avenidas en la época de lluvias y con estiaje severo. El afluente más importante que llegará al vaso de San Rafael es el denominado arroyo del Chilte, que confluye por la margen izquierda.

EL RÍO SANTIAGO

En un país semiárido como México, el Río Santiago es uno de los más importantes y cuenta con un potencial de generación de 11,221 GWH anuales distribuidos en 12 proyectos principales (con más de 100 MW) y 16 secundarios; de estos, sólo 6 se encuentran en operación, San Rafael en construcción y el resto en diversas etapas de estudio desde identificación hasta factibilidad (Tabla 2.1).

El área de la cuenca del Río Santiago es de 75,651 km² con un escurrimiento medio anual de 6,376 millones de m³ y un volúmen medio mensual escurrido de 661 millones de m³.

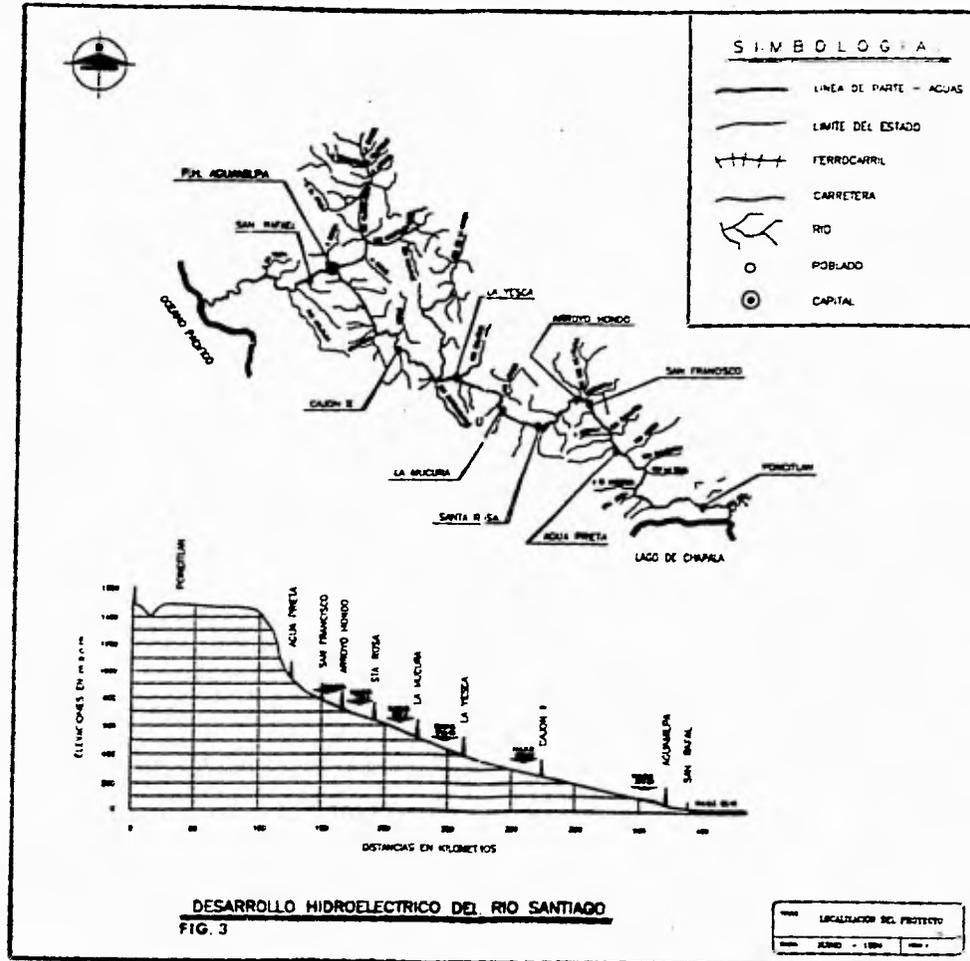
Se han estudiado una serie de bancos en una longitud de 15 km sobre el cauce del río aguas abajo del sitio del proyecto, todos con el fin de obtener los materiales de aluvión y finos para formar el cuerpo de la cortina y los agregados para fabricar el concreto.

Así pues, el Proyecto San Rafael, forma parte de un plan global de aprovechamiento del Río Santiago y su ubicación y dimensiones, son resultado del mejor esquema adoptado para el Río Santiago en su conjunto (fig. 3).

TABLA 2.1
POTENCIAL HIDROELECTRICO DEL RIO SANTIAGO

NUM	NOMBRE	CORRIENTE	PINS(MW)	GENERACION (GWH) TOTAL	Fp
1	AGUAMILPA*	SANTIAGO	960	2131	0.25
2	EL CAJON	SANTIAGO	680	1046	0.25
3	LA YESCA	SANTIAGO	440	1042	0.35
4	AGUA PRIETA*	AGUAS NEGRAS	480	959	0.39
5	LA MUCURA	SANTIAGO	290	807	0.29
6	SAN FRANCISCO	SANTIAGO	290	624	0.25
7	OCOTAN	ATENCO	240	536	0.25
8	SAN RAFAEL	SANTIAGO	150	406	0.20
9	ARROYO HONDD	SANTIAGO	160	348	0.25
10	EL CIRUELO	ATENCO	150	317	0.25
11	APOZOLCO	BOLAÑOS	120	269	0.25
12	SANTA ROSA*	SANTIAGO	61	266	0.50
13	EL TULLILO	ATENCO	110	249	0.25
14	HUAYNAMOTA	JESUS MARIA	90	206	0.25
15	POPOTITA	CAMOTLAN	85	194	0.25
16	BOLAÑOS	BOLAÑOS	80	180	0.25
17	SAN LUIS	BOLAÑOS	75	161	0.25
18	COLIMILLA*	SANTIAGO	51	159	0.36
19	JESUS MARIA	JESUS MARIA	60	136	0.25
20	SANTA ROSA 2	SANTIAGO	45	128	0.43
21	MOYAHUA	JUCHIPILA	45	102	0.25
22	CAPISTRANO	ATENCO	33	75	0.25
23	HUAZAMOTA	JESUS MARIA	33	74	0.25
24	PTE. GRANDE*	SANTIAGO	23	71	0.35
25	LAS JUNTAS*	SANTIAGO	15	64	0.49
26	MEZQUITIC	CHICO	21	47	0.25
27	CAMOTLAN	CAMOTLAN	20	45	0.25

* PLANTAS EN OPERACION
Pins= POTENCIA INSTALADA
Fp= FACTOR DE PLANTA



ESTUDIOS BÁSICOS DE ANTEPROYECTO

TOPOGRAFÍA

Los estudios topográficos previos a la construcción de las obras son de suma importancia, como es el caso del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, donde a lo largo de los años de estudios, se realizaron un sinnúmero de actividades topográficas como apoyo a las diferentes disciplinas de la ingeniería que intervinieron para definir la factibilidad del proyecto.

Se cuenta con un levantamiento aéreo-fotogramétrico del cauce del Río Santiago a escala 1:5000 y con un levantamiento topográfico a escala 1:1000 realizado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en el año de 1973, en la zona del eje del Proyecto; sin embargo, al llevar a cabo algunas verificaciones en el campo, se detectaron incongruencias en las elevaciones y en la configuración del terreno, por lo que se optó por desechar este levantamiento y realizar trabajos adicionales para sustentar convenientemente el proyecto de las obras. Entre ellos pueden citarse:

- Traslado del sistema de coordenadas locales y de elevaciones utilizados en el Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, a la zona del Proyecto San Rafael.
- Apoyo planimétrico y altimétrico a los trabajos geológicos y geofísicos.
- Configuración topográfica para elaborar un plano a escala 1:1000, con curvas de nivel a cada metro, en una superficie aproximada de 50 Ha.

La Comisión Federal de Electricidad realizó en 1963 una nivelación diferencial por todo el cauce del Río Santiago partiendo de la Central Hidroeléctrica Santa Rosa hasta San Blas, dejando establecidos una gran cantidad de Bancos de Nivel a lo largo del río. Estos trabajos se realizaron con la finalidad de dar elevación a los trabajos geológicos de exploración.

La Compañía Mexicana de Aerofoto S.A. realizó los planos fotogramétricos a escala 1:5000 y 1:2000, estos sirvieron para la localización y vaciado de los trabajos de exploración en la zona de este proyecto.

Para establecer puntos de control topográfico en el área del proyecto, se ligaron poligonales a la triangulación topográfica de Aguamilpa realizada en 1979 por la Compañía IPESA.

Esta triangulación se hizo midiendo los ángulos horizontales por el método de reiteraciones y los ángulos verticales por visuales recíprocas. Para conocer el acimut de los extremos de la triangulación se hicieron varias orientaciones astronómicas y la base fue medida con telurómetros C.A.1000, los vértices de esta triangulación van desde el M1 al M17 de los cuales se desprendieron otras poligonales secundarias para cada una de las alternativas en estudio. El sistema de coordenadas utilizado por IPESA en esta triangulación fue arbitrario, por tal motivo, con el fin de unificar el sistema de coordenadas en todos los proyectos del Pacífico Norte, fue necesario transformar de coordenadas arbitrarias a sistema geocéntrico. Tablas 2.2 y 2.3

Para este trabajo de transformación de coordenadas fue necesario dar coordenadas con equipo de posicionamiento doppler (geocéntrico) a una mojenera de cada una de las alternativas para de ahí ligar todos los vértices de la triangulación con este sistema, mismo que se utilizó para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa.

Comisión Federal de Electricidad mediante sus áreas de Topografía y de Geología de Construcción ubicó mojeneras ligadas a la triangulación antes mencionada, en ambas márgenes del Río Santiago; estas mojeneras representan las principales referencias topográficas del Proyecto San Rafael y se identifican como: SR1, SR2, SR3, SR4, SR5, SR6, SR7 y SR8.

TABLA 2.2 COORDENADAS DE LA TRIANGULACION TOPOGRÁFICA DE APOYO PRINCIPAL

VÉRTICE	X	Y	Z	UBICACION
V1	-120025.35	96550.64	58.230	A ABAJO DEL R.EL VICENTEÑO M.I
M.1	-119498.00	96661.33	169.040	A ABAJO DEL R.EL VICENTEÑO M.I
M.2	-118516.29	96176.08	106.560	RANCHO LAS BLANCAS M.I.
M.3	-119001.39	97319.98	166.010	RANCHO LAS BLANCAS M.D
M.4	-117347.26	97838.79	115.620	FRENTE AL ARROYO LA CANOA *
M.5	-118034.84	98890.64	102.060	A ARRIBA ARROYO CANOA M.D.
M.6	-116956.39	99901.92	270.040	A ABAJO ALTERN. EL SORDO M.I
M.7	-117537.14	100477.58	164.220	A ABAJO ALTERN. EL SORDO M.D
M.8	-116846.24	101048.92	247.920	A ABAJO ALTERN. EL SORDO M.D
M.9	-116150.61	101125.64	166.200	EJE ALTERN. EL SORDO M.I
M.10	-116057.87	101956.22	142.050	A ARRIBA ARROYO LOS BUEYES *
M.11	-115346.22	101920.97	172.870	A ABAJO ARROYO EL CARRIZAL @
M.12	-114189.90	103030.16	173.530	FRENTE AL ARROYO EL JIGUITE*
M.13	-113871.85	102832.29	125.050	JUNTO AL ARROYO EL JIGUITE @
M.14	-114154.68	103298.68	99.420	A ABAJO ALTERN. COLORINES M.I
M.15	-112882.01	103741.22	204.450	ALTERNATIVA COLORINES M.D
M.16	-112033.21	103682.20	220.640	A ARRIBA ALTERN. COLORINES *
M.17	-111525.40	103443.16	103.870	A ABAJO ALTERN. AGUAMILPA M.I
V2	-110451.03	103745.48	74.740	A ARRIBA ALTERN. AGUAMILPA *

* = MARGEN DERECHA (M.D)
 @ = MARGEN IZQUIERDA (M.I)

**TABLA 2.3 POLIGONAL SECUNDARIA EN LA ALTERNATIVA COLORINES LIGADA
A LA TRIANGULACION DE APOYO PRINCIPAL**

VÉRTICE	X	Y	Z	UBICACION
M-14	-113154.68	103298.68	99.220	M.I. SOBRE EL CAMINO A ABAJO DEL EJE *
1	-113024.62	103313.05	98.410	M.I. 350 m. A ABAJO DEL EJE *
2	-112961.60	103331.92	97.520	M.I. 250 m. A ABAJO DEL EJE *
J.1	-112845.50	103349.58	93.300	M.I. SOBRE EL CAMINO FRENTE AL SOCAVON *
3	-112596.33	103335.56	98.940	M.I. A 470 m. A ARRIBA DEL EJE *
4	-112424.62	103304.62	93.600	M.I. A 1100 m. A ARRIBA DEL EJE *
5	-112397.91	103328.73	96.180	M.I. A 1170 m. A ARRIBA DEL EJE *
6	-112310.10	103327.93	99.950	M.I. A ARRIBA DEL EJE Y SOBRE EL CAMINO *
7	-112322.67	103297.65	96.660	M.I. A ARRIBA DEL EJE Y SOBRE EL CAMINO *
8	-112174.91	103329.26	96.100	MARGEN IZQUIERDA ARRIBA DEL EJE *
9	-112120.88	103329.10	95.420	MARGEN IZQUIERDA ARRIBA DEL EJE *
10	-111910.21	103368.94	96.340	MARGEN IZQUIERDA ARRIBA DEL EJE *
11	-111899.70	103537.16	76.410	MARGEN DERECHA AGUAS ARRIBA DEL EJE *
12	-111988.78	103510.65	76.240	MARGEN DERECHA AGUAS ARRIBA DEL EJE *
13	-112274.25	103457.99	75.780	MARGEN DERECHA AGUAS ARRIBA DEL EJE *
14	-112428.74	103471.93	74.800	MARGEN DERECHA AGUAS ARRIBA DEL EJE *
15	-112787.00	103490.10	74.270	MARGEN DERECHA AGUAS ARRIBA DEL EJE *
16	-113060.31	103461.71	73.020	MARGEN DERECHA AGUAS ARRIBA DEL EJE *
17	-113410.92	103347.43	73.360	MARGEN DERECHA AGUAS ARRIBA DEL EJE *
18	-113501.74	103283.05	77.260	MARGEN DERECHA AGUAS ARRIBA DEL EJE *
I	-113584.68	103230.68	73.680	MARGEN IZQUIERDA AGUAS ABAJO DEL EJE *
19	-113468.25	103071.06	107.520	MARGEN IZQUIERDA SOBRE EL CAMINO
Z	-113331.61	103196.96	100.950	MARGEN IZQUIERDA SOBRE EL CAMINO
O	-113193.23	103294.05	99.310	M.I. SOBRE EL CAMINO DE ACCESO

* P.H. AGUAMILPA

Para el anteproyecto se utilizaron los planos fotogramétricos ya mencionados, con el fin de seleccionar los sitios de las estaciones para el control horizontal, así como la ruta más apropiada para la línea de nivelación diferencial. En 1980 Comisión Federal de Electricidad mediante la Superintendencia de Estudios Zona Pacífico Norte, realizó una nivelación diferencial sobre el cauce del Río Santiago, de la Central Hidroeléctrica Santa Rosa, Jalisco al Jicote, Nayarit, con la finalidad de colocar bancos de nivel a cada 2 Km aproximadamente .

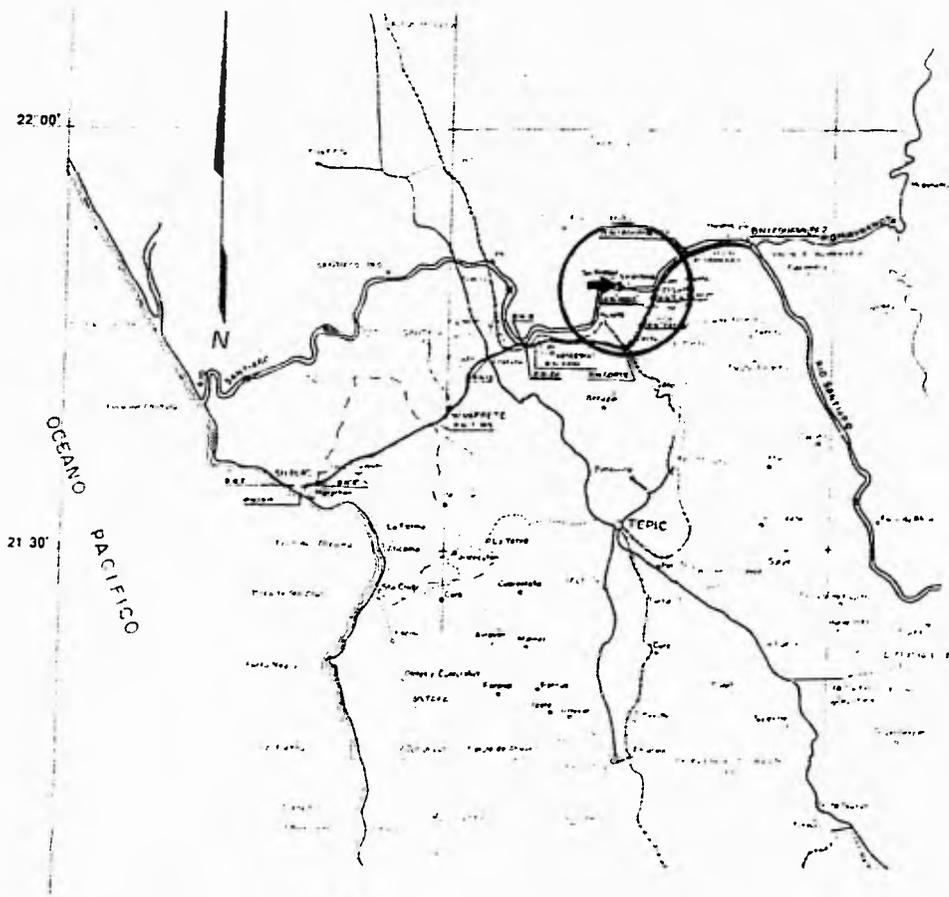
En febrero de 1981 se corrió otra nivelación con el objeto de verificar la nivelación anterior, encontrándose diferencia en desniveles que fueron corregidos en los planos.

En 1983 se corrigieron nuevamente las elevaciones de la nivelación, con base a las determinaciones hechas en los trabajos de posicionamiento por satélite (geoceiver), quedando dichas elevaciones referidas al nivel medio del mar (Fig.4).

También se realizaron estudios a principios de la década de los ochenta a bancos de materiales de arcilla y grava arena localizados a lo largo del Río Santiago aguas abajo de la alternativa "El Sordo" para conocer su potencial volumétrico.

Fue en 1984 cuando se elaboró un plano con la configuración topográfica a detalle de la zona del Proyecto San Rafael, con las elevaciones ya definidas. En este plano a escala 1:1000, se presentan las curvas de nivel a cada metro y los puntos de control topográfico que sirvieran para la localización y trazo de los ejes principales de las estructuras tanto provisionales como definitivas que conforman el proyecto (Fig. 5).

Sobre esta configuración se localizaron puntos de control planimétrico y altimétrico, se trazaron ejes de referencia, se determinaron pendientes y se calcularon volúmenes aproximados tanto de excavación como de relleno para las obras de desvíos.



NOTA
Este plan es una copia del original
Clasificación 2201 C10-A020

Fig. 4. Plano de bancos de nivel.

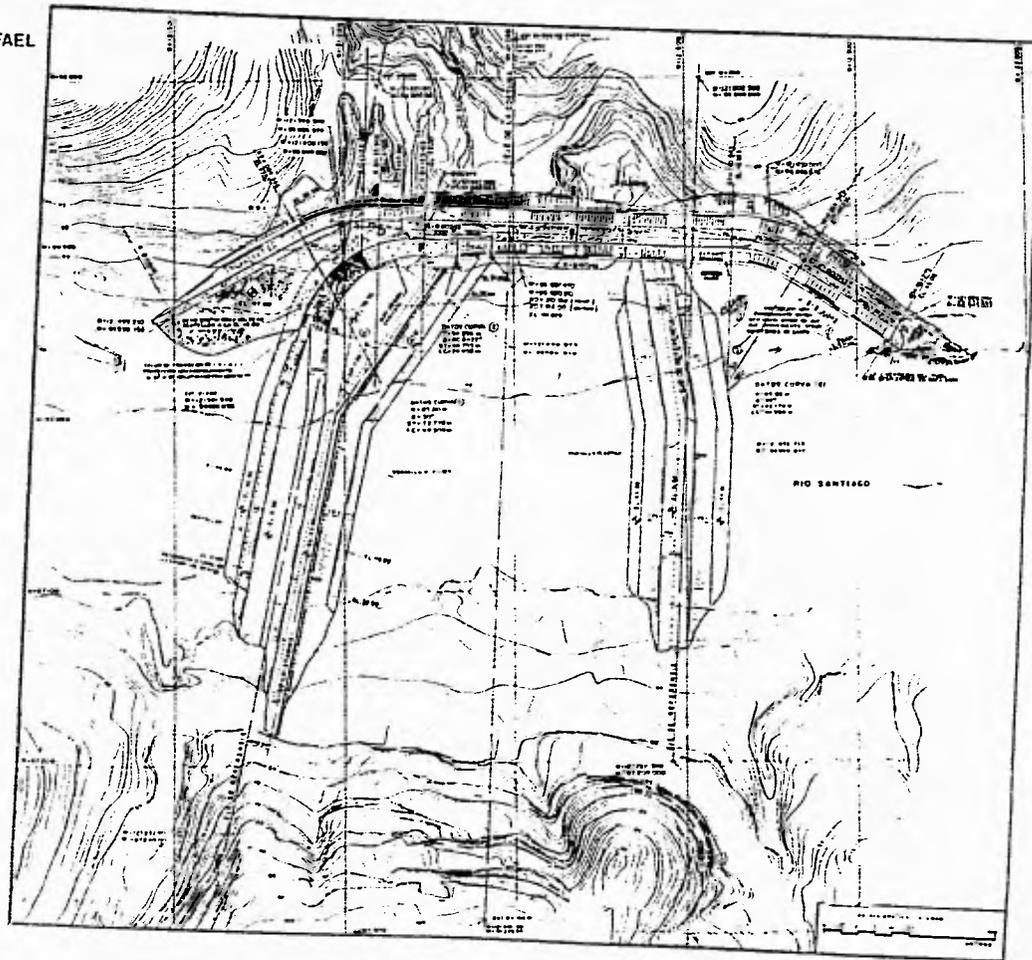
➔ P. R. M. San Rafael

BANCOS	ELEV. MDSNM
BN "ADAMITA" I	156.232
BN "ADAMITA" II	75.471
BN "EL CARRO"	84.764
BN "SANTA"	89.822
BN "EL CARRO"	85.490
BN 8	38.884
BN 10	58.454
BN "SANTA"	48.776
BN "CARTE"	152.787
BN 13	114.241
BN 795	43.484
BN 4	2.030
BN 7	2.732
BN 195	2.288

NOTA —
El nivel 0.000 del mar se toma
del estero en el sitio La Carita con
datos proporcionados por la Residencia
de las Obras del Puerto de S. Fco.

C.A.L.A.C.		C.O.	ELEV.
NO.	DESCRIPCION	INDIC.	ALTIM.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD DEPTO. DE PLAN Y EST. OFINA DE ESTUDIOS CIVILES			
Circulo Registrado: del No. 1001 del 10 de Mayo de 1942			
PROCESO DE LA NIVELACION: N.B.L.A. 1001/1002			
Escala: 1:50,000			
Fecha: 1942			
Autor: [Illegible]			

PRH. SAN RAFAEL



Plano topográfico

Fig 5 Configuración y ejes principales

GEOLOGÍA

Los estudios geológicos en la cuenca baja del Río Santiago, donde se localiza el Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, se iniciaron en el año de 1963 por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). desde 1978, los estudios se concentraron en los proyectos de Aguamilpa y de El Cora, este último localizado a 9 km aguas abajo del sitio de San Rafael. Para el año de 1991, se realizó la evaluación geológica de siete alternativas de boquilla para el Proyecto de San Rafael, cuya elección recayó en un eje denominado "El Venado", que cumple con los requerimientos geológicos, topográficos e hidráulicos fijados por el Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, así como en las solicitudes de tipo social y ambiental para evitar la afectación de poblados situados en las riberas del Río Santiago.

En el plano de factibilidad geológica titulado "Localización de las Principales Fallas Geológicas" (Fig. 6), se muestran además de los rasgos geológicos, el trazo de ejes de las estructuras principales partiendo de mojoneras ubicadas por el área de Geología de Construcción de C.F.E.

Se exploró el eje de la cortina únicamente con un barreno en el cauce del río (detectando 20.80 m de aluvión), completándose la exploración con estudios geofísicos (6 líneas geofísicas) y con esta información se concluyó que: "el espesor de aluvión reportado por el barreno, era el máximo en la zona, y esta profundidad se alargaba en dirección NW-SE, lo cual potencialmente indicaba que el río la aprovechó para labrar su curso en esa dirección".

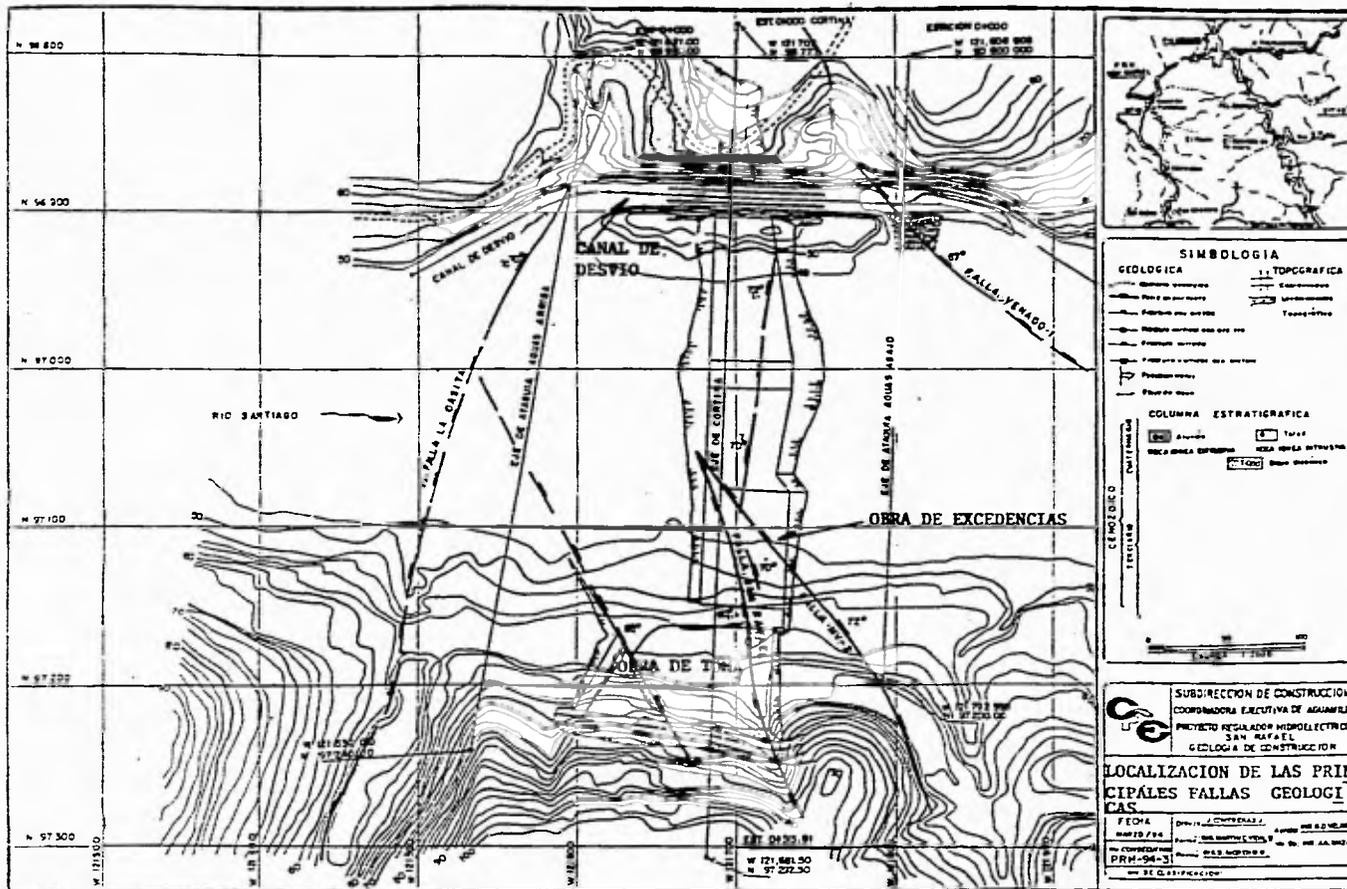


FIG. 6

GEOMORFOLOGIA

Geomorfológicamente, la región en estudio posee un relieve un poco accidentado, las márgenes presentan pendientes suaves, mientras que el cauce del Río Santiago tiende a ensancharse y a formar meandros.

A nivel regional el ciclo geomorfológico del Río Santiago se encuentra en la etapa juvenil y juvenil-madura en su tercio superior y medio (a partir del Lago de Chapala). Por lo que respecta al tercio inferior, donde se localiza el área del Proyecto San Rafael, el ciclo geomorfológico se encuentra en la etapa de madurez tardía, caracterizada porque el río tiende a ensanchar su cauce y a formar meandros, sus laderas tienen pendientes suaves y el relieve es poco accidentado.

RASGOS ESTRUCTURALES

La zona se caracteriza por la presencia de macroestructuras orientadas preferentemente NW-SE y NE-SW, cuya conjugación da lugar a la formación de bloques de forma rómbica de dimensiones considerables. Al noroeste se identificaron alineamientos con rumbo N-S cuya aparición dentro del área es escasa; al sur se reconocieron alineamientos orientados E-W que también se presentan con escasa frecuencia.

Aguas arriba, al N 45° E, es notable la trayectoria semicircular que posee el río Santiago, muy definida a partir del arroyo Las Canoas, donde el curso del río es modificado por el emplazamiento del cuerpo subvolcánico denominado Cerro Picachos; esta estructura provocó también la aparición de alineamientos radiales cuyo centro es el mismo elemento estructural.

DIMENSIONAMIENTO DEL EMBALSE

DEMANDAS PARA RIEGO

A solicitud de Comisión Federal de Electricidad, la Comisión Nacional del Agua proporcionó mediante oficio BOO 1.3-47 del 2 de febrero de 1993 turnado por la Gerencia de Proyectos de Irrigación, la demanda de agua para propósitos de riego, fijándose esta en 187.5 m³/s de los cuales 96.0 m³/s corresponden a la zona del bajo Río Santiago, incluyendo en este gasto 46.0 m³/s para el riego de 39,100 hectáreas en las márgenes derecha e izquierda del Río Santiago y 50 m³/s para la preservación ecológica del río y otros usos. Los restantes 91.5 m³/s se contemplan derivarlos de acuerdo a un proyecto de gran visión, através del canal Nayarit para el riego de 85,000 Hectáreas, localizadas en los municipios de Ruíz, Tuxpan, Rosamorada y Acaponeta, en las márgenes del Río San Pedro.

GASTO DE DISEÑO DEL VERTEDOR

Otro de los aspectos considerados en el dimensionamiento del embalse de San Rafael, es el correspondiente al gasto de diseño del vertedor y de la carga hidráulica necesaria para evacuarlo.

El gasto de diseño está relacionado con la política de control de descargas de la Presa Aguamilpa y con el criterio adoptado para seleccionar la avenida de diseño .

La descarga máxima correspondiente al paso de la avenida con período de retorno (Tr) = 1000 años por el embalse de Aguamilpa, siguiendo la política establecida, es un gasto de 12,000 m³/s, valor considerado para el diseño del vertedor de San Rafael.

NIVELES DE PROYECTO EN EL EMBALSE

Al considerar los aspectos anteriores y relacionarlos con las elevaciones, áreas y capacidades del cauce hasta el sitio del proyecto, se establecieron los niveles a los que deberá operar el embalse de San Rafael; en ellos están considerados aspectos de dimensionamiento de las obras que se discutirán posteriormente.

Tomando en consideración el concepto general del proyecto, los niveles de operación establecidos son los siguientes:

De acuerdo con las capacidades correspondientes a los niveles de máxima y mínima operación, la capacidad útil disponible en el embalse es de 12.7 millones de m³.

NIVEL	ELEVACIÓN [m]	CAPACIDAD [hm³]
Máximo extraordinario (NAME)	66.10	27.35
Máximo de operación (NAMO)	63.41	23.28
Mínimo de operación (NAMinO)	58.00	11.11

La elevación del fondo del cauce es 48.00 m.s.n.m.

La capacidad disponible al nivel del NAMinO es el resultado de establecer la útil mínima necesaria de ahogamiento en las bocatomas de la obra de generación.

ESTUDIO DEL REMANSO

Con el objeto de verificar si los niveles planteados para la operación del embalse en San Rafael afectarán los niveles en el desfogue de la Central del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, el Departamento de Estudios Civiles de la GIC (Gerencia de Ingeniería Civil), llevó acabo un estudio del remanso que consistió en utilizar cuatro secciones topográficas ubicadas en el sitio de la boquilla de San Rafael, en las estaciones hidrométricas del Carrizal I y II y en el tramo intermedio del río. Además, en base a la topografía en escala 1:5000 se definió el perfil del cauce a lo largo del tramo entre ambas presas, estableciendo una sección trapezoidal equivalente, con taludes laterales según se estimaron las pendientes de las laderas en la topografía.

Aunque se prevé un comportamiento adecuado del perfil hidráulico del río entre ambas presas, se considera que la información con la que se cuenta actualmente para el estudio del remanso es muy limitada, por lo sería conveniente obtener algunas secciones adicionales a lo largo del cauce entre ambas presas; con dichas secciones, se podrá estudiar con mayor precisión los efectos de los niveles en la presa de San Rafael sobre los desfogues de Aguamilpa.

Por otro lado, como se tienen las curvas de elevaciones - gastos en ambas estaciones hidrométricas, se estableció el fondo del cauce paralelo a la pendiente hidráulica de la superficie libre del agua. Las curvas elevaciones - áreas - capacidades y la curva elevaciones - gastos del río, se muestran en el Plano General del capítulo II. Se utilizó un coeficiente de rugosidad de Manning de $n=0.026$ y se determinó el remanso para los diferentes gastos de operación y niveles en el embalse de San Rafael, como se muestra en la siguiente tabla:

**ELEVACIONES DE LA SUPERFICIE DEL AGUA EN EL DESFOGUE DE
AGUAMILPA PARA DIFERENTES GASTOS TURBINADOS.**

NAMO EN SAN RAFAEL	Q=250 m ³ /s	Q=500 m ³ /s	Q=750 m ³ /s
62.0	66.31	67.27	68.01
63.0	66.31	67.27	68.01
64.0	66.31	67.27	68.01
65.0	66.33	67.28	68.01
66.0	66.56	67.36	68.04
67.0	66.84	67.67	68.20
67.5			68.37
68.0	68.08	68.31	68.63

Estos resultados se compararon con las elevaciones y gastos correspondientes a la sección del río próxima a la zona de desfogue (curva de elevaciones-gastos) del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, que se muestran a continuación:

GASTO [m ³ /s]	ELEVACION [m]
0	64.52
250	66.70
500	67.60
750	68.30

Se concluye mediante este análisis, que será posible operar el embalse de la presa de San Rafael hasta el nivel 67.85 m.s.n.m. sin producir remanso que afecte los desfuegos de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa.

EMBALSE DE SAN RAFAEL

El embalse de San Rafael como se mencionó anteriormente, se dimensionó para proporcionar un gasto máximo de 187.5 m³/s durante 24 horas, de acuerdo con la política establecida por la Comisión Nacional del Agua. Esta condición de diseño fue la más desfavorable desde el punto de vista de capacidad útil, por lo que el embalse cubre totalmente las condiciones impuestas por la demanda de riego.

La política de operación para el embalse de la presa de cambio de régimen, se estableció considerando como volúmenes de entrada el conjunto de valores de volúmenes extraídos por la Central Hidroeléctrica Aguamilpa, más los derrames de dicha presa. Estos volúmenes serán regulados diariamente a gastos máximos de 187.5 m³/s.

Se puede concluir que bajo los diferentes criterios estudiados, la generación total es muy similar a la esperada y la mayor ganancia en cuanto a energía firme se logra mediante una extracción variable mensualmente diferente a la demanda para riego.

DATOS HIDROMETEOROLOGICOS

El área del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael y sus proximidades, cuenta con registros de varias estaciones hidrométricas y climatológicas. La cuenca del Río Santiago cuenta con un total de 15 estaciones hidrométricas distribuidas de la manera siguiente:

Doce estaciones sobre el cauce principal. Las juntas Puente Acediano, San Cristóbal, San Cristóbal II, Santa Rosa, Paso de Analco, La Yesca, El Sauz, Despeñadero, Carrizal, Yago y Capomal y las estaciones: La Boquilla sobre el Río Juchipila, El Caimán sobre el Río Bolaños y Huaynamota I y II sobre el Río Huaynamota. La estación Carrizal es la más cercana al sitio del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, el área total drenada hasta la estación Carrizal es de 73 834 km², de los cuales 39 974 km² corresponden a la cuenca propia del Proyecto Hidroeléctrico Santa Rosa y 38 860 km² a la cuenca propia del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael.

PROBLEMATICA SOCIAL

La zona de influencia directa del Proyecto Regulador Hidroeléctrico San Rafael es una región rural cuya población se encuentra en situaciones de marginalidad y pobreza agravadas por la crisis económica. En especial, las condiciones de vida resultan más precarias aún en los grupos de jornaleros e indígenas.

Son cuatro los ejidos afectados directamente por el Proyecto:

Jesús Ma. Corte, Mesa de Picachos y Carretones de Cerritos localizados en el municipio de Tepic; y el ejido de San Rafael, que pertenece al municipio de El Nayar. De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 1990, el número de habitantes de estos ejidos es el siguiente:

EJIDO	HABITANTES
Jesús Ma. Corte	659
Mesa de Picachos	178
Carretones de Cerritos	372
San Rafael	464
Suma	1673

Fuente: INEGI, XI Censo General de Población y Vivienda, 1990.

Cabe señalar que los efectos de la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa ya se habían manifestado en esta zona, pues durante los últimos años, el número de habitantes en estos poblados se ha incrementado progresivamente como resultado del constante flujo de migrantes, provenientes principalmente de los estados de Chiapas, Guerrero, Michoacán y Oaxaca, generando demandas extraordinarias de vivienda, servicios, abasto, etc.

Como se desprende de lo anterior, los efectos económico - sociales en la zona del Proyecto Regulador Hidroeléctrico San Rafael, particularmente en los cuatro ejidos señalados, obligan adoptar una estrategia de atención a dichas poblaciones que responda a dos situaciones: Una, representado por el efecto combinado de marginación y agudización de carencias provocado por la migración hacia la zona; y otra, encaminada a anticipar los efectos que habrían de producirse al declinar la demanda de mano de obra local a medida que concluyan las obras.

CAPITULO II

**DESCRIPCION DE LAS OBRAS QUE
INTEGRAN EL PROYECTO**

II.1 OBRAS DE DESVIO

Las obras de desvío dieron inicio en octubre de 1993, y estaban compuestas de las siguientes estructuras provisionales principales:

1. CANAL DE DESVIO
2. ATAGUIA AGUAS ARRIBA
3. ATAGUIA AGUAS ABAJO

II.1.1 CANAL DE DESVIO

Con el objeto de desviar el río para poder dar inicio a la construcción del proyecto, se excavó en roca en la margen izquierda un canal a cielo abierto; el cual, por las características de la roca fue recubierto en su parte inferior con una plantilla de concreto armado con malla y sus taludes fueron recubiertos por mortero lanzado con malla electrosoldada.

El desvío del río se efectuó el 7 de febrero de 1994; el canal ubicado en la margen izquierda contemplaba un gasto de diseño (Q_d) de $750 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondiente al gasto de operación de las tres unidades turbogeneradoras de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa, más los aportes por cuenca propia para un período de retorno (Tr) de 15 años.

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS. Sección tipo: trapezoidal. Longitud = 465 m; pendiente longitudinal = 0.00365; ancho de plantilla = 8 m; taludes laterales = 1:1. La sección completa (cubeta), confinada en roca; revestida de concreto con espesor de 10 cm, profundidad de 4.22 m y bermas de 3 m de ancho en ambos márgenes. Excavación a cielo abierto: $157,400 \text{ m}^3$.

DATOS HIDRAULICOS DEL CANAL DE DESVIO

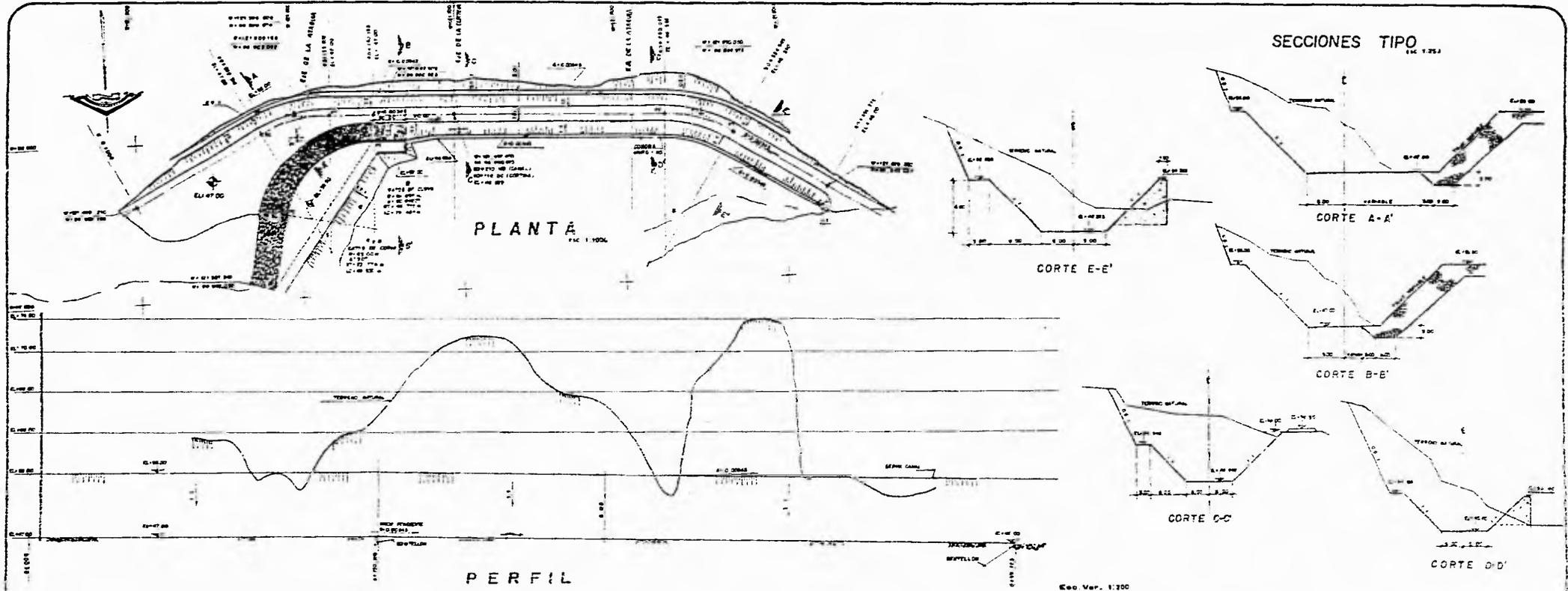
$Q = 750.00 \text{ m}^3/\text{s}$	$n = 0.015$
$Y_c = 6.621 \text{ m.}$	$V_c = 6.815 \text{ m/s}$
$Y_n = 5.300 \text{ m.}$	$V_n = 9.200 \text{ m/s}$
$b = 10.000 \text{ m.}$	$s = 0.00365$

Donde:

- Q = Gasto máximo de capacidad.
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning.
- Y_c = Tirante de carga
- V_c = Velocidad de carga
- Y_n = Tirante normal
- V_n = Velocidad normal
- b = Base
- s = Pendiente longitudinal.

La función principal del canal de desvío fue precisamente desviar el cauce del río para permitir que se aislara de agua una parte del lecho del río. El objetivo del canal de desvío fue cubierto a principios de febrero de 1994, tiempo en el cual fue abierto, dando lugar al inicio de la excavación de aluvión en el recinto (lugar donde se desplantó la cortina). Por otro lado también permitió la terminación de las ataguías y sus respectivas pantallas plásticas.

En la figura 2.1, se muestran una planta, cortes y un perfil topográfico del canal de desvío, en los que se señalan puntos de control topográfico, ejes principales de referencia y auxiliares, dimensiones, cadenamientos, elevaciones, pendientes y características generales del canal. Se describen además los procedimientos de campo para la localización y trazo de ejes, curvas circulares simples, secciones transversales, taludes y pendientes.



SECCIONES TIPO (Esc. 1:250)

PLANTA (Esc. 1:1000)

PERFIL

Esc. Ver. 1:200
Esc. Hor. 1:750

LOCALIZACIÓN Y TRAZO DEL CANAL.
 En el caso de canales es indispensable que se determine sus coordenadas entre los puntos inicial y terminal.
TRAZO PRELIMINAR. Se generaron por determinar el desvío entre los puntos inicial 0+000 y terminal 0+451.773 utilizando un nivel NAC. La medición se hizo siguiendo el terreno por donde se sugiere convenientemente tener el canal, considerando en él una pestaña de 0.005 m. de ancho en 500 m. de distancia.
 Con los datos obtenidos se construyó un perfil y se calculó la pendiente media de la línea alineada. Una vez hecha la pendiente, se hizo el trazo preliminar para lo cual se usó el punto inicial 0+000.000 y se usó el terreno medido en él. Se usó una línea de pendiente de 0.0043 dando así un ancho de 1.50 m. que a la proyectada en este caso sería la pendiente de 3.43 a 1000. Se buscó el ángulo al cual correspondiera la tangente que es 0.0043 siendo este igual a 2' 13.00" y con esta misma inclinación hacia abajo del horizonte se dio a un punto de estación en el cual la línea fuera igual a la altura del instrumento.
 El trazo de la línea del canal se hizo con un alfilero 12 se fueron colocando marcas a cada 20 m. a lo largo del eje al establecer se le indicó el lugar correspondiente a la pendiente obtenida en el canal cuando el estado y en seguida se dibujaron los puntos alineados con respecto al punto inicial, punto de inflexión, punto de inflexión y punto de estación, punto terminal.

SECCIONES TRANSVERSALES. Con un nivel de punto se fueron haciendo secciones transversales a uno y otro lado de cada estación. Una vez que se corrigió el nivel del terreno, una de la medición y una tercera de las secciones transversales.

PERFIL. Una vez conocido el trazo preliminar se construyó un plano horizontal y un perfil (como se muestra), así como las secciones transversales en los puntos, sobre estos se proyectaron las secciones del canal para determinar los volúmenes de excavación. Como resultado de estos cálculos, se modificó el trazo preliminar tomando en cuenta la economía en cuanto a longitud y en lo relativo a la cantidad de obra que había que hacer.

TRAZO DE LAS CURVAS. El canal presenta dos curvas circulares simples pequeñas cuyas datos están en el cuadro I y II, y curvas de transición entre ellas utilizando el método de deflexión. (Este método se describe en el capítulo III).

LOCALIZACIÓN. Se tomaron los puntos inicial de inflexión y terminal y la magnitud de curvas SH1 ubicada en la margen izquierda y C-2 define al eje de la canal, y se determinaron las coordenadas oficiales que se indican, obteniendo así el trazo definitivo.

EXCAVACIÓN. Se hizo el trazo directo de la línea de pendiente $s=0.0043$ entre los extremos de esta colocando el teodolito en la misma alineación, hacia atrás del extremo del punto 0+000, y dando al alfilero la inclinación correspondiente a la pendiente del trazo.

Se colocó el estado sobre el punto de la partida previamente localizada, y se hizo la lectura para verificar si se cumplió en todos los puntos intermedios a lo largo de la excavación.

NOTA. Para los registros de Trazo, Alineación y Levantamiento de secciones transversales, se utilizaron formatos oficiales de Comisión Federal de Electricidad (ver anexos en el Capítulo III).

PUNTO	Coordenadas		CAD	ELEV	OBS.
	X	Y			
D-1	98235 156	121498 210	0+000.000	47.000	INICIO
D-2	98285 971	121508 508	0+112.172	46.750	P1
D-3	98345 371	121518 806	0+224.344	46.500	P2
D-4	98405 037	121529 104	0+336.516	46.250	TERMINO

UNAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 PROYECTO REGULADOR E HIDROELECTRICO
 SAN RAFAEL, BAYAMON
 OBRAS DE DESVIO
 CANAL DE DESVIO
 TESIS PROFESIONAL PAUL REYES AYALA
 INGENIERIA TOPOGRAFICA Y GEODESIA

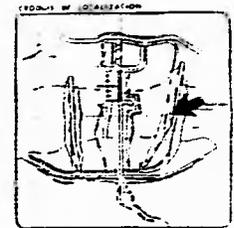
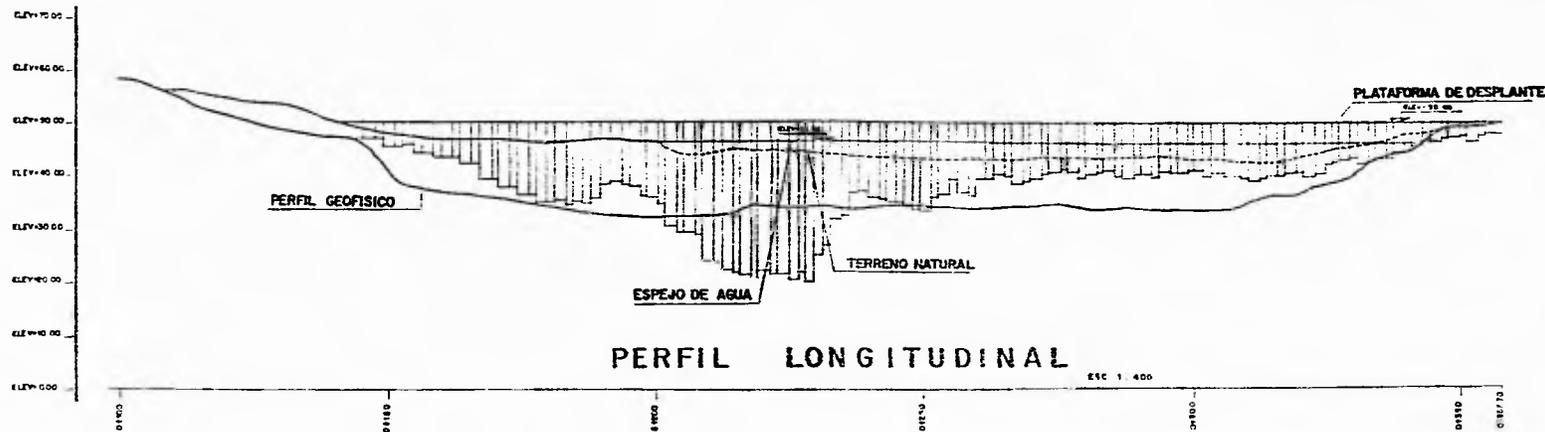
II.1.2 ATAGUÍA DE AGUAS ARRIBA

Es una estructura formada por materiales graduados, el material de aluvión provino del banco de material San Rafael , situado en la margen izquierda del Río Santiago. El enrocamiento de respaldo y protección fue producto de las excavaciones, tanto del canal de desvío como de la obra de control y excedencias.

La atagüa de aguas arriba esta compuesta de material de aluvión compactado, protegido en ambos taludes con enrocamiento; su función básica es la de contener y encauzar el río para permitir aislar de agua la zona donde se construyó la cortina. En este caso, la atagüa presentó en su proceso constructivo la adición de una pantalla plástica flexoimpermeable, con la finalidad de incrementar el factor de seguridad respecto a la impermeabilización de la misma.

CARACTERÍSTICAS GEOMETRICAS. Tipo: materiales graduados, ancho de corona: 12.415 m, taludes exteriores: 1.75:1, elevación de corona: 58.50 MSNM, elevación mínima de desplante: 46.00 MNSM, altura máxima 12.50 m, longitud aproximada: 250 m, volúmen de material: 101,000 m³. Pantalla plástica de 80 cm de espesor cubriendo toda la altura de la sección desde la roca basal.

En las figuras 2.2 y 2.3 se muestran una planta, un perfil, un corte y un isométrico de la atagüa de aguas arriba, donde se señalan los puntos de control topográfico, ejes principales y de referencia, dimensiones, cadenamientos, elevaciones, zonificación de materiales y características generales de la estructura. Además se describen los procedimientos de campo que se llevaron a cabo para la localización y trazo de los puntos de control, ejes y pendientes.



En base a los trabajos y estudios adjudicados a las compañías (subscontratistas) DRECA S.A. y Topografía y Diseño S.A. se eligieron los lugares óptimos para la construcción de las Ataguas aguas arriba y aguas abajo del proyecto. Estos trabajos formaron parte de la fase "Estudios preliminares para la construcción del proyecto".

Una vez elegido el lugar, se procedió a desplantar el río a través de un canal provisional que se abrió en la margen izquierda, para luego la parte donde se conservarían las plataformas de desvío para las ataguas, estando también en su base de construcción el canal de desvío principal.

PERFIL. Habiendo secado la parte donde se proyectó la estructura, se llevó a cabo el trazo definitivo tanto del eje principal como de las líneas de referencia.

Posteriormente se llevó una nivelación de perfil a lo largo del eje principal partiendo del cadenamiento 0+000.00 al cadenamiento 0+400.00, cuyo procedimiento es estrictamente semejante al de la nivelación diferencial; la diferencia estriba en que para cada sección del terreno entre dos puntos de mira, se tomaron lecturas en los puntos de mira establecidos.

Para dicha nivelación se utilizó un nivel automático universal WILD NAD y estadales de 3 m. en longitudes graduadas al centésimo. Para la comprobación de la nivelación de perfil, se llevó una nivelación diferencial por los puntos de mira (P.L.) del cadenamiento 0+450.00 al cadenamiento 0+000.00 (de regreso) para llegar a la cota de partida 58.50 m. incorporándose en una diferencia terrena de ± 0.003 m. siendo la tolerancia de ± 0.01 m.

Con los datos de la nivelación se construyó el perfil. Trazando un perfil de la superficie de terreno natural a lo largo de la línea de construcción propuesta, se logró una estimación inmediata del costo probable.

El perfil longitudinal que se muestra en un "Perfil Natural", ya que las escalas horizontal y vertical son iguales, y es una copia de original que se realizó en papel milimetrado.

Como se advierte en el perfil longitudinal sobre este se proyectó la plataforma de desplante para la Atagüa y el muro pantalla importante de la estructura, y para este último también se dibujó el perfil geofísico para determinar las profundidades de la roca sana.

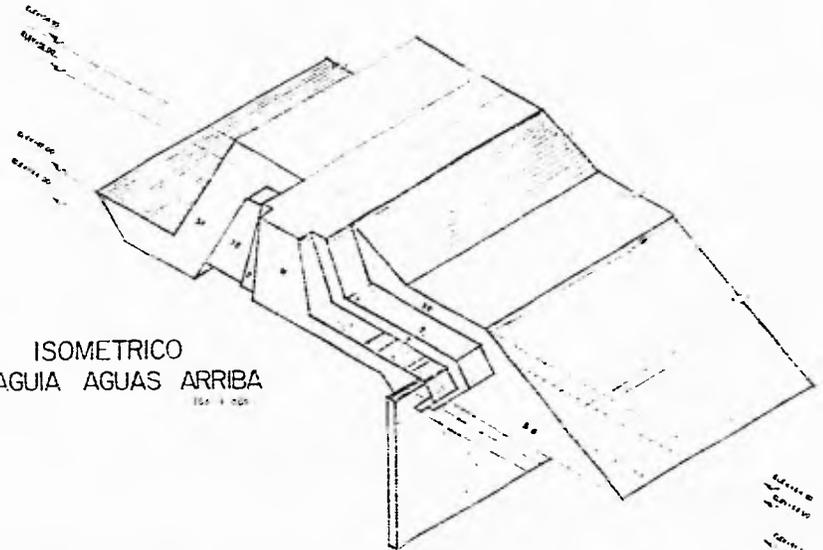
REGISTRO (NIVELACION DE PERFIL)

ESTRUCTURA	ATAGÜA DE AGUAS ARRIBA
TRAMO	LÍNEA DE CONSTRUCCIÓN DE Km 0+000, A Km 0+450
SUBTRAMO	MARGEN IZQUIERDA DRENEN Km 0+000

P.D.	(+)	m.	R.N. y P.L.	(-)	COTAS
0+000	0.649	63.649			63.000
0+010			1.874		61.775
0+020			2.351		61.318
0+030			2.542		61.107
0+035			3.038		60.211
P.L. 1	0.434	60.260	3.873		59.826
0+037			2.928		57.372
0+039.50			3.541		56.719
P.L. 2	1.122	57.455	3.887		56.373
0+040			1.472		56.016
0+050			1.712		55.783
0+060			1.618		55.877
0+070			1.741		55.754
0+080			1.307		56.128
P.L. 3	1.634	56.054	0.275		57.220
0+090			0.223		58.831
0+100			0.051		59.003
0+110			1.152		57.902
P.L. 4	1.275	57.854	2.405		56.619
0+120			3.238		54.576
0+125			3.693		54.151
P.L. 5	0.837	54.722	3.969		53.895
0+130			1.798		52.124
0+139			2.555		52.162
0+140			3.839		52.063

NOVELLO	REVISO	APROBADO
FECHA	FECHA	FECHA

ISOMETRICO ATAGÜA AGUAS ARRIBA



U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
PROYECTO REGULADOR E HIDROELECTRICO
SAN RAFAEL, NAYARIT
COMUNIDAD DE BUNDO
ATAGÜA EN AGUAS ARRIBA
TECNICO PROYECTISTA: PAUL FERRER AYALA
INGENIERO RESPONSABLE: JUAN CARLOS GARCIA

II.1.3 ATAGUJA DE AGUAS ABAJO

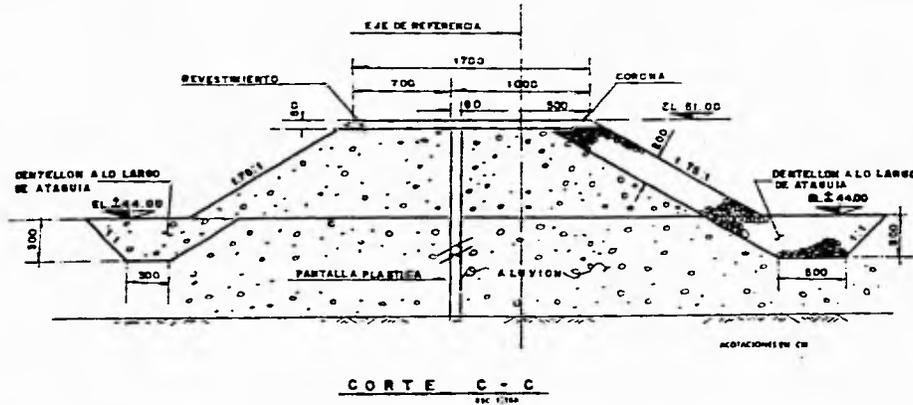
Al igual que la ataguía de aguas arriba, es una estructura compuesta por material de aluvi3n compactado, y su funci3n b3sica fue aislar de agua la zona donde se desplantaron las estructuras principales del proyecto, encauzando el r3o aguas abajo del proyecto. Tambi3n present3 en su procedimiento constructivo, una pantalla pl3stica flexoimpermeable.

CARACTERÍSTICAS GEOMETRICAS. Tipo: materiales graduados, ancho de corona: 17 m, taludes exteriores: 1.75:1, elevaci3n de corona: 51.00 MSNM, elevaci3n m3nima de desplante: 44.00 MSNM, altura m3xima: 7 m, longitud aproximada: 197 m, vol3men de material: 88,000 m³, y pantalla pl3stica de 80 cm de espesor cubriendo toda la altura de la secci3n desde la roca basal.

Las atagu3as constituyen dos elementos importantes para el aislamiento de la zona del recinto previo al desplante de la cortina, as3 como dos elementos adicionales para reforzar la impermeabilizaci3n de las mismas que son las pantallas pl3sticas.

En las figuras 2.4 y 2.5 se muestran la planta, un corte, un perfil y un isom3trico de la atagu3a de aguas abajo, donde se se3alan los puntos de control topogr3fico, ejes principales de referencia y auxiliares, dimensiones, cadenamientos, elevaciones, zonificaci3n de materiales y caracter3sticas generales de la estructura.

Cabe mencionar que se present3 una problem3tica del perfil geol3gico detectado durante la construcci3n de las pantallas, apreci3ndose adem3s la existencia de sendas cañadas a la entrada y salida del canal de desv3o coincidentes con los ejes de las atagu3as, lo que oblig3 a deflexionar los extremos de ambas: el de aguas arriba hacia aguas abajo, y a la inversa, el de aguas abajo hacia aguas arriba.



CORTE C-C
ESC. 1/200

ATAGUIA DE AGUAS ABAJO

Los puntos de control para la localización del eje de la atagua de aguas abajo son los siguientes:

PUNTO	COORDENADAS		ELEV.	CAD.	LOCALIZACION
	X	Y	EN		
a-1	89800.000	11798.000	44.00	0+000	EL.
a-2	87700.000	11798.000	44.00	0+200.750	M.D.

NOTA: Los puntos de control son propiedad del P.H. (Ver Capítulo IV).

Para el levantamiento, se utilizó un instrumento estadístico de precisión, y para el trazo del mismo se utilizaron un teodolito T2 y un distanciómetro (D100).

La línea del trazo definitivo (Centro de Ejes de la Atagua) fue una línea paralela al eje de la atagua, sujeta a una distancia de 4.00 m. según arriba del eje. Dicha línea se desvió 11° 46' 37" en el cadenamiento 0+203.00 como se muestra en la planta, esto debido a las condiciones para el diseño del río.

DESIGNO: Las pendientes del talud en los terraplenes, son indicaciones de sección natural que sirven para evitar derrumbes. En esta estructura se usaron pendientes para talud en sección de 1:7.5. 1 agua arriba y agua abajo de la corona. La Atagua de aguas abajo en de sección general y su diseño es más sencillo que el de la Atagua de aguas arriba.

CONSTRUCCION: La construcción de las estructuras comprendidas por muros y gradinetes, que constituyen el cuerpo de la Atagua, comprendió desde el tendón de los terraplenes hasta el alfiler de la corona.

Para realizar la construcción de los terraplenes, se colocaron estacas limpias al eje de la atagua y a los centros de línea de la misma, las cuales sirven los ejes de los terraplenes.

Para obtener la distancia horizontal del eje central a la estaca limpias, se efectuó la siguiente operación:

$$\frac{1.75}{1} \cdot Z = \frac{1.75}{1} \cdot Z \quad Z = 12.25 \text{ m. Distancia del tendón al eje del talud.}$$

donde Z_v = distancia vertical entre las elevaciones 44.00 y 51.00

(Aguas arriba y aguas abajo de la línea central)

TERRAPIENES: En este caso, el caso del terraplén, es el punto donde se une el talud del terraplén con la sección horizontal de la estructura.

TERRAPIENES: Para la construcción de los terraplenes, se utilizó el material aludido proveniente de los bancos de material "El Mónico", "San Rafael" y "El Mónico"; el centro de la estructura era de arcilla; dichos materiales se estabilizaron con microconsumidores tomados pesadamente que se fueron compactando con rodillo vibratorio y se regaron (con pas) periódicamente para proporcionar al material la humedad necesaria que da como resultado la compactación óptima en los terraplenes.

La arena es un silicio amoníaco hidratado natural, puro o impurificado por óxidos de hierro.

CALCULO DE VOLUMENES: Se inventaron secciones transversales a cada 20 m. conforme se compactaban las pavimentos y se iban determinando volúmenes de excavación para el control de rendimientos y estimaciones.

Las secciones transversales en el trazo, por lo que para determinar el área de cada sección, se utilizó la fórmula $A = \frac{(B_1 + B_2) \cdot h}{2}$

El volumen de material colocado se calculó por tramos entre secciones consecutivas, con la fórmula siguiente:

$$V = \frac{(A_1 + A_2) \cdot G}{2}$$

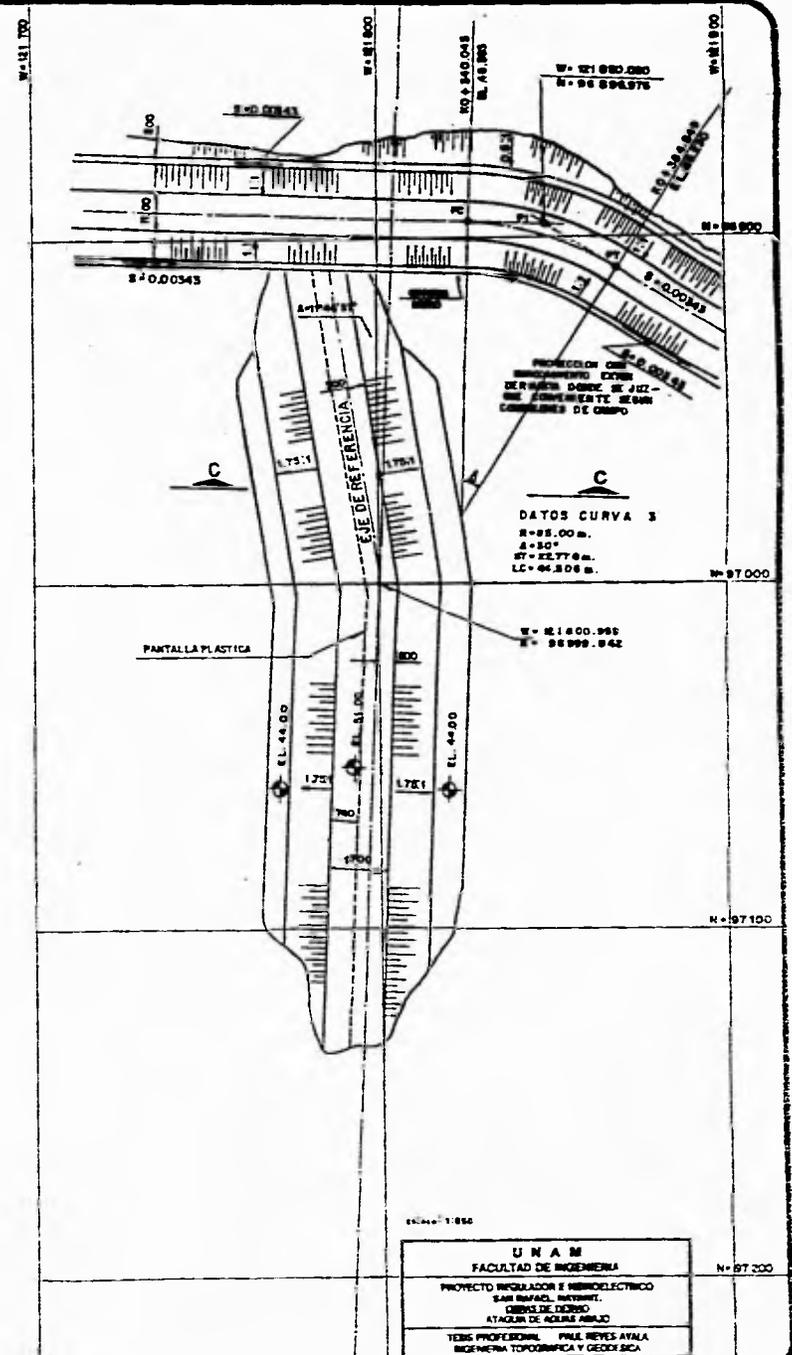
donde A_1 y A_2 = las áreas de las secciones.
 G = distancia entre cada sección.

NOTA: Se utilizaron hitos de control diseñados para estos trabajos (Ver Capítulo III).

TALUDES

La construcción de la Atagua de aguas abajo se diseñó a la elevación 46.00 y el desfiladero de la Atagua de aguas abajo fue a la elevación 44.00. En dichas elevaciones se marcó la proyección de los taludes tanto aguas arriba como aguas abajo de la atagua.

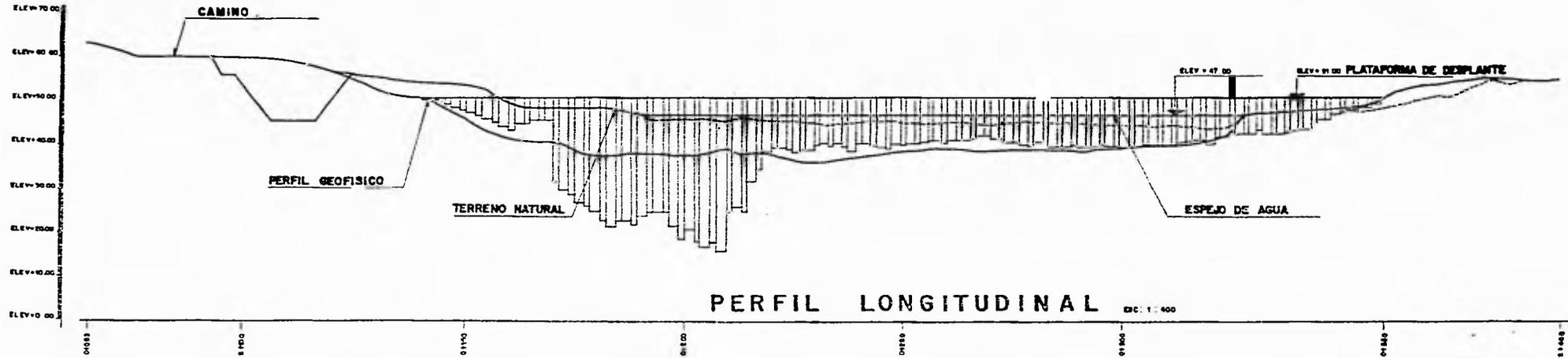
El control topográfico de los taludes, se llevó a cabo mediante púas a base de hilos de alfileres de agua arriba, colocados a cada 20 m. verificando su inclinación con nivelación y cadenamiento transversal al eje de la atagua, este procedimiento se usó hasta llegar a la elevación de la corona.



DATOS CURVA 3

R = 85.00 m.
A = 30°
ST = 22.776 m.
LC = 44.206 m.

UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
PROYECTO REGULADOR E HIDROELECTRICO
SAN RAFAEL, INYEMET.
OBRAS DE DESVIO
ATAGUIA DE AGUAS ABAJO
TERCER PROFESOR: PABLO REYES AYALA
INGENIERIA TOPOGRAFICA Y GEODESICA



REGISTRO

(INTELIGENCIA DE PERFIL)

Hoja 1 de 6

ESTRUCTURA: ATAGUIA DE AGUAS ABAJO
 TRAMO: LINEA DE CONSTRUCCION DE Km 0+000 A Km 0+400
 SUBTRAMO: MARGEN IZQUIERDA ORIGEN Km 0+000

P.O.	(+)	±	S.M. y P.L.	(-)	COTAS
0+000	0.457	68.957			68.500
0+005				1.718	67.328
0+010				2.679	66.278
0+015				3.525	65.432
P.L.1	0.534	65.864	3.887		65.260
0+020				1.577	64.317
0+025				2.766	63.126
0+027				3.828	62.288
P.L.2	0.896	62.691	3.969		62.025
0+030				2.267	60.504
0+035				3.478	79.413
0+040				3.670	79.021
P.L.3	0.569	79.544	3.915		78.976
0+045				1.820	77.714
0+050				3.057	76.487
0+053				3.673	75.921
P.L.4	0.749	76.367	3.906		75.638
0+055				1.164	75.222
0+057.50				1.433	74.984
0+060				2.579	73.808
P.L.5	0.815	73.557	3.645		72.742
0+065				1.403	72.154
0+070				3.742	69.816

NIVEL: _____ REVISO: _____ APROBO: _____
 FECHA: _____ FECHA: _____ FECHA: _____

En base a los trabajos y estudios adjudicados a las compañías (subcontratistas) DRECA S.A. y Topografía y Diseño S.A., se eligieron los lugares óptimos para la construcción de las Ataguas aguas arriba y aguas abajo del proyecto. Estos trabajos formaron parte de la fase "Estudios Preliminares para la construcción del proyecto".

Una vez elegido el lugar, se procedió a diseñar el río a través de un canal provisional que se ubicó en la margen izquierda, para sacar la parte donde se construirían las plataformas de desplante para las ataguas, estando también en su fase de construcción el canal de desvío principal.

PERFIL. Habiendo sacado la parte donde se proyectó la estructura, se llevó acabo el trazo definitivo, tanto del eje principal como de las líneas de referencia.

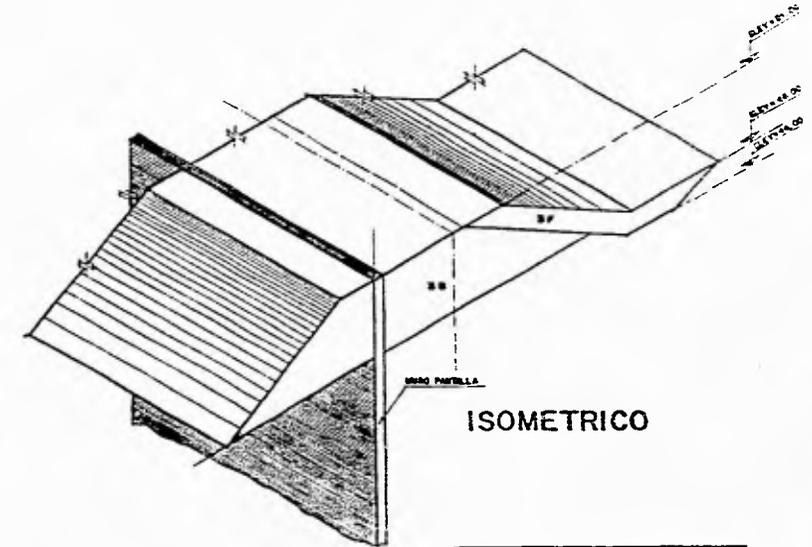
Posteriormente se llevó una nivelación de perfil a lo largo del eje principal partiendo del cadenamiento 0+000.00 al cadenamiento 0+400.00, como procedimiento se enteramos, siempre al de la nivelación diferencial, la diferencia arriba en que para cada posición del aparato, entre dos puntos de fig., se tomaron lecturas en los puntos de trazo establecidos.

Para dicha nivelación, se utilizó un nivel automático universal Wild NA2 y estadales de 3 m. de longitud graduados al centímetro. Para la comprobación de la nivelación de perfil, se llevó una nivelación diferencial por los puntos de fig. (P.L.) del cadenamiento 0+450.00 al cadenamiento 0+000.00 (de regreso) para llevar a la cota de partida: 61.425 m, encontrándose así, una diferencia (error) de ± 0.004 m, siendo la tolerancia de ± 0.01 m.

Con los datos de la nivelación, se construyó el perfil. Trazando un perfil de la superficie de terreno natural a lo largo de la línea de construcción propuesta, se logró una estimación inmadurada del costo probable.

El perfil longitudinal que se muestra es un "Perfil Normal" ya que las escaltas horizontal y vertical son iguales, y es una copia del original que se dibujó en papel milimétrico.

Como se aprecia en el perfil longitudinal, sobre este se proyectó la plataforma de desplante para la Atagua y el muro pantalla (parte importante de la estructura). En este último también se dibujó el perfil geofísico para determinar las profundidades de la roca sana.



UNAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 PROYECTO REGULADOR E HIDROELECTRICO
 SAN RAFAEL, SAYABIT,
 OBRAS DE DESVIO
 ATAGUIA DE AGUAS ABAJO
 TESIS PROFESIONAL PAUL REYES AYALA
 INGENIERIA TOPOGRAFICA Y GEODESICA

II.2 OBRA DE CONTENCION

Consiste en una presa de sección gravedad, con paramento vertical aguas arriba y un talud escalonado aguas abajo; desplantada sobre una retícula de muros milán que a su vez se desplantan en el lecho de la roca del cauce.

La presa se construyó con material denominado C.C.R. (Concreto compactado con rodillos); concreto que tiene las características de un bajo contenido de cemento, con un revenimiento cero, con la adición de finos en los agregados; mezcla con la cual se logra la densidad adecuada compactándolo en capas subsecuentes.

La aplicación de esta moderna tecnología en su aplicación en presas en México, permite la colocación de fuertes volúmenes disminuyendo los riesgos de agrietamientos, como en el caso del concreto convencional, debido principalmente a la poca generación de calor, por el limitado contenido de cemento en la mezcla (+/- 90 kg).

El paramento de aguas arriba fue recubierto con elementos prefabricados de concreto (paneles), los cuales se anclaron en el cuerpo de la cortina.

El paramento de aguas abajo es:

- Inclinado en la parte baja (vertiente de 0.8 H/1V), talud escalonado a partir de 16.5 m de su desplante.
- Vertical en sus últimos 10 m, constituidos por elementos prefabricados de concreto convencional de 0.10 m de espesor.
- Altura arriba de la losa de cimentación: 43.00 m
- Coronación: Longitud = 230 m, ancho = 8 m
- Principales cantidades. Volúmen de CCR: 81,000 m³, volúmen de concreto convencional: 11,500 m³, elementos prefabricados (paneles): 8,000 m², cimbra: 3,377 m², rellenos: 208,000 m³.

Por las condiciones geológicas encontradas en el sitio, fue necesario profundizar su desplante más de lo originalmente previsto. Estas condiciones obligaron a construir a la elevación 19.50 MSNM, una losa de cimentación de concreto convencional de 40 X 30 m y de 5 m de espesor sobre la cual se apoya la cortina de 43 m de altura.

El período para la colocación de los 81,000 m³ de CCR fue del 11 de mayo de 1994 al 17 de julio de 1994 y se efectuó a través de un sistema de bandas transportadoras y camiones de volteo, formando capas de 0.30 cm de espesor, obteniéndose rendimientos diarios máximos de 2,200 m³.

El paramento de aguas arriba se construyó con elementos prefabricados de concreto convencional de 1.80 X 2.40 X 0.10 m de espesor y mediante un sistema de anclaje con varilla de acero, sujeta al elemento y sumergida en el CCR, contrarresta la fuerza de empuje del CCR, asegurando la conexión entre ellos y su verticalidad.

El paramento de aguas abajo de forma escalonada (0.30 m de pie por 0.72 m de huella), se construyó a base de cimbra de madera sujeta con el mismo sistema de anclaje utilizado en el paramento de aguas arriba.

Sus datos principales de diseño son los siguientes:

Vaso de almacenamiento

NAME (Nivel de aguas máximo extraordinario)	66.10 MSNM
- NAMO (Nivel de aguas máximo ordinario)	63.41 MSNM
- NAMinO (Nivel de aguas mínimo ordinario)	58.00 MSNM
- Capacidad útil	12.5 millones de m ³
- Area del embalse	298.13 Has.

Cortina

- Tipo:	Sección gravedad de concreto
- Elevación de la corona:	67.85 MSNM
- Longitud de la corona:	230.00 m
- Altura:	43.00 m
- Volúmen:	81,000 m ³

Debido a lo accidentado de la roca en la zona del recinto, los estudios geológicos dieron resultados no precisos de la ubicación de la roca sana, encontrándose una hosquedad de dimensiones considerables. Para no tener atrasos en la construcción y colocación del CCR, se procedió a rellenar con concreto convencional de la elevación 19.50 a la 24.50 para poder desplazar el agua que se encontraba en el recinto, producto de las filtraciones de las ataguías; esta decisión se tomó ya que el CCR no se puede colocar en contacto con el agua.

El eje de la cortina es la línea base del proyecto, orientada astronómicamente ($Az = 357^{\circ}43'21.74''$), representa la principal línea de referencia para todas las obras, abarcando ambas márgenes del Río Santiago. Dicho eje se localiza mediante dos mojonearas: la C1 y la C2 cuyas coordenadas locales son las siguientes:

PUNTO	Y	X	Z
C1	96,777.000	-121,702.000	88.105
C2	97,292.500	-121,681.500	103.215

En el Plano General (figura 2.6) se muestran: una planta de la ubicación de la cortina, coordenadas cadenamientos, elevaciones, cortes y características generales de la obra.

II.3 OBRA DE CONTROL Y EXCEDENCIAS

Se localiza en la margen derecha del Río Santiago y consta de un muro de encauzamiento, una zona de control que aloja 6 compuertas radiales de 8.50 m de base X 16.0 m de altura y radio de 18 m, operadas con servomotores hidráulicos para permitir de manera regulada el paso del agua excedente, puentes de maniobras aguas arriba y aguas abajo, dos grúas pórtico, una subestación para servicios propios y dos casetas que alojan las centrales oleodinámicas.

Sus datos principales de diseño son los siguientes:

- Gasto de diseño de descarga	6,350 m ³ /s
- Elevación de la cresta	67.85 MSNM
- Longitud	150.10 m
- Compuertas	6 radiales de 8.50 X 16.0 m
- Pilas	4 de 2.50 m de espesor por 35.50 m de longitud
- Muros	2 de 2.50 m de espesor por 35.50 m de longitud
- Canales de descarga	2 a cielo abierto
- Volúmen de la excavación	46,000 m ³
- Volúmen de concreto	20,500 m ³

OBRA ELECTROMECHANICA

Las compuertas se apoyan por medio de brazos en chumaceras empotradas en las partes superiores de las pilas. El levantamiento de las compuertas es por medio de pistones accionados por dos centrales oleodinámicas (una central para cada tres compuertas).

Las compuertas sellan en guías laterales y umbrales: perfectamente alineados y colados en las pilas y muros de la obra de excedencias (Corte A-A, Plano General).

II.4 OBRA DE TOMA

Se localiza en la margen derecha del Río Santiago y esta integrada por un canal de acceso o llamada excavado a cielo abierto, compartido también por la obra de control y excedencias.

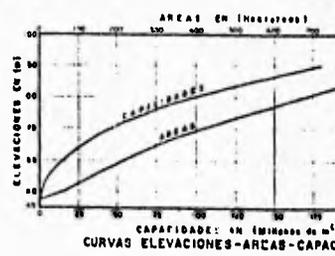
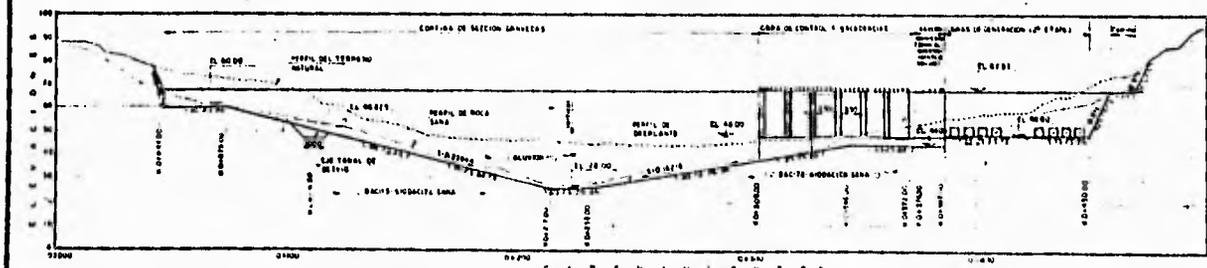
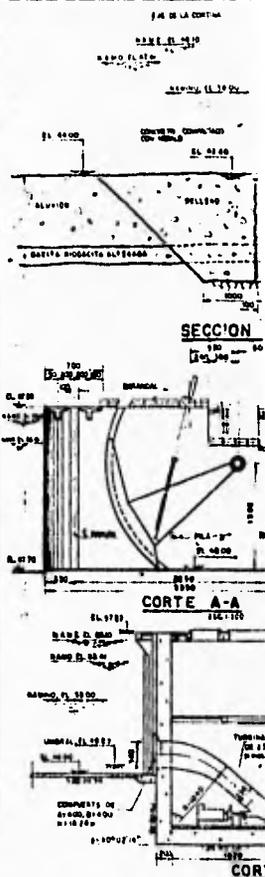
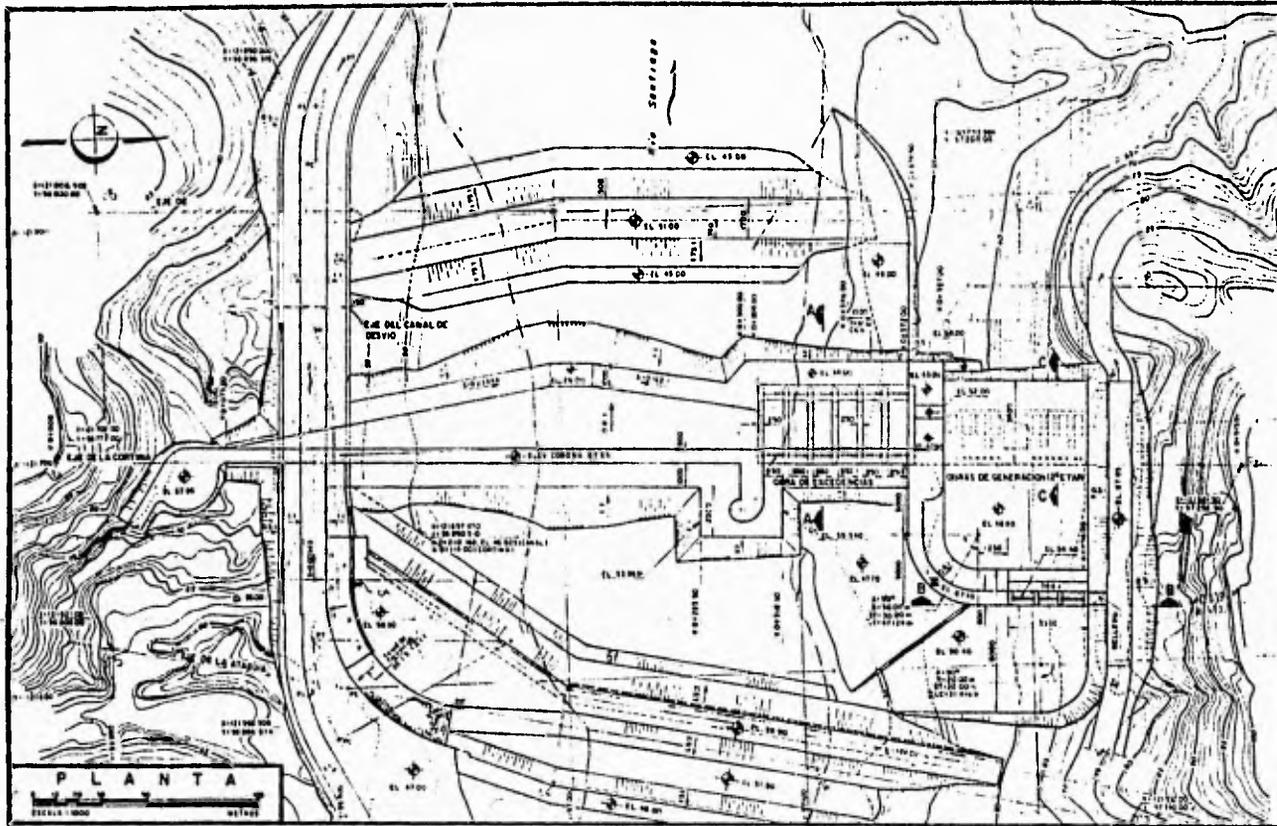
Consta de una zona de estructuras que aloja tres compuertas de tipo aguja, un muro radial de concreto de 70.0 m de longitud de sección trapezoidal y un muro adosado de 44.0 m de longitud. El desplante del muro radial se hizo a la elevación 50.00, ya que en dicha elevación se encontró roca sana.

Con la terminación de estas estructuras se dio la condición de estanqueidad para lograr el embalse de la presa al NAME y además permitirá aislar la zona donde a futuro se construirán las obras de generación.

Sus datos principales de diseño son los siguientes:

- Tipo	Canal a cielo abierto
- Volúmen de la excavación	71,500 m ³ .
- Altura	17.00 m
- Compuertas de bocatoma	8 de tipo aguja.
- Dimensiones de las compuertas	4 X 4 m
- Compuertas en zona de control	3 de tipo aguja.
- Dimensiones de las compuertas	13.00 X 8.50 m

En el Plano General (fig. 2.6) se marcan una planta de la obra con las dimensiones, cadenamientos, elevaciones, ejes principales de la obra, y diferentes cortes de las estructuras que la conforman.

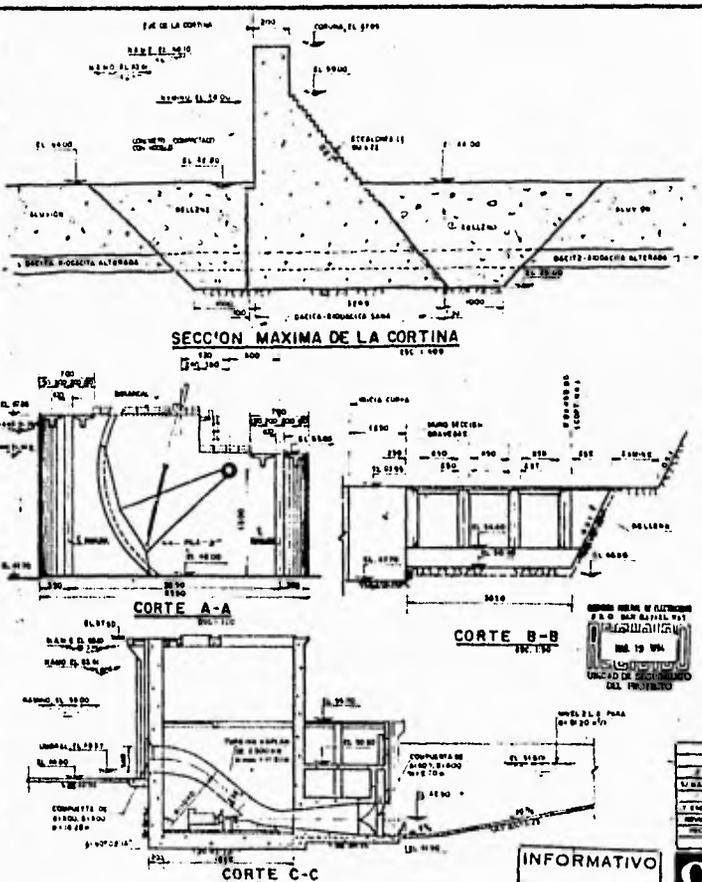
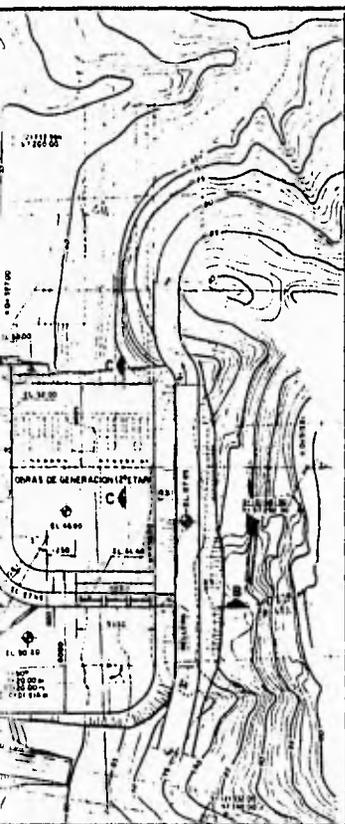


PERFIL LONGITUDINAL POR EL EJE DE LA CORTINA

NOTAS

- 1- NOTAS EN METROS SIEMPRE LAS INDICADAS EN ESTA UNIDAD
- 2- ELEVACIONES, TURBINAS Y CANTIDAD EN METROS
- 3- PARA METROS EN ALTURAS 5 y 10 m. SÓLO EN SISTEMA NACIONAL
- 4- EL ANCHO DE CADA UNIDAD DE MEDIDA, SE QUE SUPONE SU SUJETO AL TIPO DE UNIDAD Y SI DE UNIDAD Y SI CONCLUYE SISTEMA

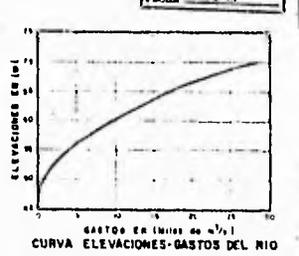
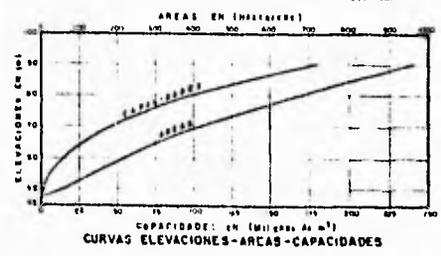
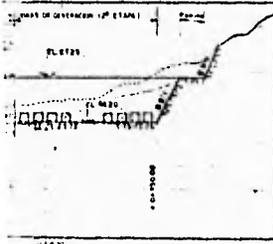
5- PARA DETALLES SIMPLICIOS DE CADA ESTRUCTURA, VER PL. (CORRESPONDIENTES)



CROQUIS DE LOCALIZACION

DATOS DEL PROYECTO

EMBALTE	
TIPO	DE 110 M
ANCHO	DE 11 M
NO. DE	DE 11
ESPESOR DE LA CORONA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA CORTINA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA BARRERA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA CORTINA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA BARRERA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA CORTINA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA BARRERA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA CORTINA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA BARRERA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA CORTINA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA BARRERA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA CORTINA	DE 11 CM
ESPESOR DE LA BARRERA	DE 11 CM



INFORMATIVO
FECHA 1993

CFE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION
COORDINACION DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS
DIRECCION DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS
DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDROELECTRICAS

PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL, NAY.
CONJUNTO OBRAS PRINCIPALES
TITULO: PLANO GENERAL

TIPO DE OBRAS: HIDRAULICA

ESPECIFICACION PARA CONSTRUCCION	FECHA DE EMISION	FECHA DE REVISION
HIDRAULICA	1993	1993
ESTRUCTURAL		
ELECTRICA		
MECANICA		
OTROS		
INGENIERO EN JEFE: [Nombre] INGENIERO ENCARGADO: [Nombre] INGENIERO AUXILIAR: [Nombre]		

ESTE PLANO SUSTITUYE AL DEL MISMO TITULO Y CLASIFICACION, DE FECHA 3 DE NOVIEMBRE DE 1993

NOTAS:
1. NOTACIONES EN CENTIMETROS, EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRO LUGAR.
2. ELEVACIONES, LONGITUDES Y CÁLCULOS EN METROS.
3. PLANO MEDIDO POR EL INGENIERO O SU REPRESENTANTE, CUYO ASIGNADO.
4. EL DISEÑO DE LOS DETALLES DE CONSTRUCCION, ASÍ COMO LAS NOTAS.
5. TÍTULO AL FINAL DEL PLANO Y EN LOS BORDES DEL CONCRETO, SI ESTE.

II.5 OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

Para dar inicio a la construcción del proyecto se requirió de una infraestructura para atender la demanda de los servicios básicos necesarios durante el período de construcción.

El conjunto de obras que a continuación se describen integran la infraestructura del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael y son las siguientes:

a) CAMINO EN MARGEN DERECHA

El acceso a las obras que se encuentran en la margen derecha, es por el puente que cruza el Río Santiago a unos 3 km aproximadamente aguas abajo del sitio de la cortina de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa; dicho camino tiene una longitud de 11.3 km

El camino contempla las siguientes características:

Ancho de corona	9.00 m
Ancho de calzada	7.00 m
Acotamiento	1.00 m
Espesor de capa subrasante	0.30 m
Espesor de la sub-base	0.15 m
Espesor de la base	0.15 m
Espesor de la carpeta asfáltica	0.09 m

b) CAMINO MARGEN IZQUIERDA

Existe otro acceso por la carretera Tepic - Aguamilpa en el km 35 tomando una desviación hacia un camino de terracería de 4.5 km de longitud para llegar a la margen izquierda de la Presa Reguladora San Rafael.

CAMPAMENTOS, OFICINAS, TALLERES, ALMACENES Y COMEDORES.

Se construyeron en el sitio oficinas, comedores, talleres, almacenes; se instalaron sistemas de comunicaciones; se introdujo una línea eléctrica de 13.8 Kv y se cuenta con dos plantas de emergencia de 1,500 Kw. Además se aprovecharon parte de los servicios de la infraestructura de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa como son: Campamentos, clínica del IMSS (Instituto Mexicano del seguro Social), oficina de correos y otras instalaciones.

Las instalaciones de la compañía constructora, subcontratistas y de la compañía supervisora, fueron por cuenta de dichas compañías con los requerimientos de facilidades antes descritos.

CAPITULO III

**CONTROL TOPOGRAFICO DE LA
CONSTRUCCION**

III.1 ALCANCE DE LOS SERVICIOS DE TOPOGRAFIA

La supervisión topográfica que se realizó en la construcción del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, fue hecha por la compañía CYTI de México (Calidad y Técnica Industrial de México S.A. de C.V.) casi en su totalidad con excepción de la celebración de contratos menores para trabajos específicos principalmente antes y al inicio de la construcción del proyecto. El objetivo principal de los servicios de topografía por parte de CYTI de México, es llevar a cabo una supervisión topográfica, con la calidad, precisión, oportunidad, constancia, confiabilidad, limpieza y suficiencia que requiere una obra de la magnitud e importancia del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, siempre de acuerdo con la demanda que exige el Programa General de Construcción que es crítico en todas sus actividades de Obra Civil y Obra Electromecánica.

La diversidad de actividades, su relación con otras actividades, los distintos procedimientos de ejecución y la gran cantidad de frentes de trabajo en proceso, que se aprecian claramente en el Programa General de Construcción (Tabla 3.1), fueron tomadas como base de análisis para la contratista de tal forma que sus costos deben haber sido ponderados y calendarizados adecuadamente. Es importante enfatizar que la gran cantidad de actividades simultáneas en distintos frentes de trabajo que implican trazo, levantamientos, mediciones y/o verificaciones topográficas, requirieron de la atención permanente del grupo de topografía, por tal motivo fue obligatorio para CYTI de México tener en activo y de manera permanente cuatro brigadas de topografía y para la contratista Bufete Industrial Construcciones S.A. de C.V. (BICONSA) ocho brigadas de topografía, como mínimo en el sitio de las obras, para que las solicitudes de servicio por parte de las Jefaturas de Supervisión fueran atendidas satisfactoriamente. Lo anterior se deriva de la experiencia que a la fecha tiene la Comisión Federal de Electricidad en la supervisión topográfica de la construcción de proyectos hidroeléctricos.

En la ponderación y calendarización de los costos del servicio topográfico, CYTI de México consideró que cada fin de mes tenía que conciliar con la empresa constructora, las verificaciones topográficas de la obra ejecutada para fines de elaboración de la Estimación Mensual, que es la base de pago del ejecutor, siempre bajo la supervisión e instrucciones del Jefe de Supervisión correspondiente, o de las personas que éste designara. Se establecieron programas semanales de trabajo que autorizó el Jefe de Supervisión para visualizar claramente las prioridades y distribuir los recursos de manera óptima posible; en la Tabla 3.2 se muestra como ejemplo, el programa de actividades correspondientes a los levantamientos topográficos para cada frente de trabajo, en el período comprendido del 25 al 31 de julio de 1994.

Se estableció una Jefatura de Supervisión Topográfica del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, cuya función principal fue la de coordinar los trabajos de topografía entre la Residencia de Obra representada por los Jefes de Supervisión, el Contratista que ejecutó la Obra Civil (BICONSA), el Contratista que ejecutó la Obra Electromecánica (DUSGEM S.A. de C.V.) y las áreas de topografía de la CFE y CYTI de México en todo el ámbito del proyecto.

Fue importante que la localización de ejes, puntos de apoyo y referencias topográficas, hayan sido actualizados constantemente para que la supervisión topográfica fuera oportuna, confiable y eficiente, esta actividad fue evaluada por CYTI de México y BICONSA para ser considerada en sus análisis de costos.

Es de gran importancia en la economía y exactitud de cualquier trabajo topográfico, la adopción, al comienzo, de un sistema de control adecuado. Excepto en los trabajos topográficos para carreteras, tanto el control vertical como horizontal toman la forma de una red que cubre la superficie en cuestión. Se eligieron los puntos de control donde pudieran ser situados con exactitud, procurando que fueran utilizables como enlaces para otras operaciones.

TABLA 3.2 PROGRAMA DE ACTIVIDADES CORRESPONDIENTES A LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS DEL 25 AL 31 DE JULIO DE 1994.

FRENTE	C O N C E P T O
CANAL DE DESVIO	1. Levantamiento de un perfil del relleno por la línea de trazo del canal de desvío.
	2. Levantamiento de secciones a cada 5.00 m para cuantificar volumen de terraplén en el Vado "El Ticuixtle".
	3. Levantamiento de secciones a cada 10.00 m sobre la plataforma de la Atagula de Aguas Arriba; para determinar el avance del rebajo a la elevación 48.00 del cadenamiento 0+270.00 al cadenamiento 0+400.00.
	4. Levantamiento de secciones de terreno natural para ubicar el puente provisional de la Atagula de Aguas abajo.
	5. Levantamiento de secciones a cada 5.00 m para el bordo de protección en el canal de desvío.
CORTINA	1. Seccionamiento del terraplén sobre la margen izquierda para reposición de plataforma sobre el camino de la estación X= 0+300.00 a la estación X= 0+345.00, a la elevación 71.00.
	2. Levantamiento de secciones a cada 2.00 m para cuantificar el volumen de concreto colocado, del cadenamiento X=0+300.00 al X=0+310.00 (Verificación de capas colocadas de C.C.R.)
	3. Nivelación y Trazo de la plataforma para ligar el camino de la margen izquierda con la cortina; entre las elevaciones 67.00 a 67.85
	4. Levantamiento de secciones de terreno natural a cada 20.00 m. en el camino de acceso de la Planta SAM a la Cortina del cad. 0+000.00 al 0+255.50
EXCEDENCIAS	1. Levantamiento de secciones en el desplante de la losa de aguas arriba, para cuantificar volumen de concreto colocado del cadenamiento X=0+310.00 al 0+372.00, a la elevación 48.00
	2. Levantamiento de secciones de terreno natural conforme a la curva del canal de descarga, del cadenamiento X=0+343.50 al X=0+520.00
	3. Levantamiento del avance general de concretos para cada pila, con cadenamientos y elevaciones.
	4. Seccionamiento a cada 10.00 m del cad. 0+308.00 al 0+374.50 para determinar el avance de colocación de aluvión aguas arriba del vertedor.
OBRA DE TOMA	1. Levantamiento de secc. transversales a cada 2.00 m del cadenamiento Y=0+402.00 al Y=0+440.00 (Zona de excavación con explosivos)
	2. Seccionamiento a cada 2.00 m sobre talud derecho (Empotramiento de la pila no. 4) del cadenamiento X=0+240.00 al X=0+250.00
	3. Levantamiento de secciones de avance de excavación con explosivos del cad. X=0+180.00 al X=0+270. (Canal de llamada)

III.1.1 AMBITO DE SUPERVISIÓN TOPOGRAFICA

Los Servicios de Topografía General para la Supervisión Topográfica del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, se refieren a todo lo relacionado con el trazo, levantamientos topográficos, mediciones y/o verificaciones de las estructuras y obras auxiliares que componen el Proyecto, incluyendo todas las actividades necesarias para contar con referencias, ejes y puntos de apoyo "in situ" que permitan desarrollar la Supervisión Topográfica de las estructuras durante todo el proceso de su ejecución, es decir, en su excavación a cielo abierto, colocación de concreto, acero estructural, equipo y otras actividades del montaje electromecánico, así como el tratamiento de la roca que consiste en el lanzamiento de concreto, barrenación para drenaje y colocación de anclaje.

La Supervisión Topográfica se limita al contexto dimensional, geométrico y de localización en los sistemas coordenados propios del Proyecto; incluyendo medición del acero de refuerzo en estructuras de concreto. El entorno de las áreas o frentes de trabajo que requirieron supervisión topográfica, correspondió a toda la extensión del proyecto, reservándose Comisión Federal de Electricidad el derecho de ordenar supervisión topográfica en los sitios que indicara la Residencia. Los frentes de trabajo estuvieron agrupados en Obras Principales, para cada cual se tuvo nombrado un Jefe de Supervisión, quién fue el responsable absoluto, estas obras principales se describen en el capítulo II y son las siguientes:

- OBRA DE DESVÍO
- OBRA DE CONTENCIÓN
- OBRA DE CONTROL Y EXCEDENCIAS
- OBRA DE TOMA
- OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

CYTI de México estuvo obligada a atender a plena satisfacción de Comisión Federal de Electricidad, todas las solicitudes de Supervisión Topográfica que se le solicitaron de tal manera que invariablemente quedó constancia escrita de que la supervisión

topográfica quedo concluida, se firmaron por esta razón al calce de cada constancia las siguientes partes:

RESPONSABLE	-El Contratista Supervisor (CYTI de México)
DE ACUERDO	-El Contratista Ejecutor (BICONSA)
APROBO	-El Jefe de Topografía General
AUTORIZO	-El Jefe de Supervisión (C.F.E.)

Se manejan dos turnos diarios de trabajo de doce horas cada uno, iniciando a las 7:00 hrs. (A.M.), de lunes a sábado, dando preferencia al turno matutino en el sentido de contar con más brigadas de topografía en ese turno (tal vez 75 %), por la razón de que la mayor parte de las solicitudes se generan de día. Eventualmente se trabajó los días domingo con dos brigadas de topografía y se empleó tiempo extra adicional en función de la urgencia de los trabajos y la eficiencia de la supervisión topográfica, en tales casos, CYTI de México previó en su análisis de costos estas situaciones, sugiriendo Comisión Federal de Electricidad un 10 % adicional de tiempo extra y un domingo laborado a una brigada de topografía con chofer. Lo anterior debido a que CYTI de México estuvo obligada a realizar la supervisión topográfica a satisfacción de Comisión Federal de Electricidad sin reclamar pagos adicionales de tiempo extra y domingos laborados. Cada brigada de topografía contó con suficiente personal para atender cualquier tipo de solicitud, esto significa que el personal estuvo debidamente capacitado y con los medios necesarios para pasar de un frente a otro y realizar la supervisión topográfica que se requirió.

III.1.2 CONCILIACIONES CON EL CONTRATISTA EJECUTOR

Todas las mediciones, levantamientos topográficos y verificaciones para fines de pago, fueron conciliados entre el Contratista Supervisor (CYTI de México) y el Contratista Ejecutor (BICONSA) y autorizados por el jefe de Supervisión correspondiente, con estos documentos debidamente formalizados se procedió a elaborar los números generadores de las estimaciones de la ejecución de obra y del contrato de servicios de topografía.

III.1.3 DOCUMENTACION DE RESPALDO PARA ESTIMACIONES MENSUALES

Todas las actividades que realizó el Contratista Supervisor de Topografía estuvieron aprobadas por el Jefe de Supervisión correspondiente y se integraron a la estimación mensual como documentos de respaldo, a continuación se enlistan dichos documentos:

- 01.- BATIMETRIAS
- 02.- SECCIONAMIENTO DE TERRAPLENES
- 03.- SECCIONAMIENTO EXCAVACIONES
- 04.- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
- 05.- REPORTE DE COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO
- 06.- REPORTE DE COLOCACIÓN DE ANCLAJE
- 07.- REPORTE DE LANZADO DE CONCRETO
- 08.- REPORTE DE BARRENACION DE DRENAJE O INYECCION
- 09.- ORDEN DE COLADO
- 10.- ORDEN DE 2os. COLADOS
- 11.- REPORTE DE MONTAJE DE COMPUERTAS METÁLICAS
- 12.- REPORTE DE MONTAJE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS
- 14.- REPORTE DE MONTAJE DE ELEMENTOS FIJOS
- 15.- UBICACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE EJES, PUNTOS DE REFERENCIA, BANCOS DE NIVEL Y MOJONERAS.
- 20.- LARGUILLOS DE CADA UNO DE LOS CONCEPTOS ANTERIORES.

Fue condición obligatoria la entrega de los documentos de respaldo para las Estimaciones Mensuales antes del día 4 del mes siguiente, debidamente formalizados, cabe enfatizar que la entrega de la documentación para las estimaciones mensuales, fue ordenada, limpia y objetiva en su presentación incluyendo dibujos, planos, croquis, hojas de calculo, libretas de campo y todo aquello que no dejara lugar a dudas o pendientes y principalmente de manera separada la documentación que formara parte de los NÚMEROS GENERADORES que formaron parte de las ESTIMACIONES MENSUALES para ambos contratistas (Ejecutor de obra y Supervisor de obra).

La entrega documental es el resultado final del cumplimiento del objetivo principal de la contratación de los servicios de topografía, por tal motivo, de haber faltado esta documentación se aplicarían sanciones consistentes en la retención de pagos de aquellos conceptos que no cumplieran satisfactoriamente lo solicitado por la Comisión Federal de Electricidad. En la estimación mensual se incluye un cuadro de volúmenes y conceptos de obra, que sirve como base para el análisis de los números generadores; el importe de la estimación mensual se presenta desglosado de acuerdo con el CATALOGO DE CONCEPTOS (páginas siguientes) en el cual se indican conceptos de obra, precios unitarios, montos y períodos de ejecución. Anexo al catálogo de conceptos, se muestra parte de la estimación seis correspondiente al período de construcción del 01 al 31 de mayo de 1994, como ejemplo de como se elaboró y presentó la documentación de respaldo para esta estimación, de manera similar se presentaron todas las estimaciones mensuales de acuerdo a los períodos de construcción de las obras. En este ejemplo se presenta la documentación de los frentes de trabajo y conceptos de obra siguiente:

<u>FRENTE</u>	<u>CONCEPTO Y (TIPO DE DOCUMENTACIÓN)</u>
<u>CORTINA</u>	43. Colocación de concreto compactado $f'c=100 \text{ Kg/cm}^2$ (Perfil topográfico)
<u>OBRA DE EXCEDENCIAS</u>	36. Rellenos (Levantamiento topográfico)
	42. Colocación de concreto convencional $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$ (Planta general del proyecto e isométrico de la obra)
	45. Colocación de concreto compactado $f'c=100 \text{ Kg/cm}^2$ (8 Secciones topográficas)
<u>OBRA DE TOMA</u>	46. Colocación de concreto convencional $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$ (Memoria de cálculo de áreas y volúmenes de bloques del muro radial)



PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL

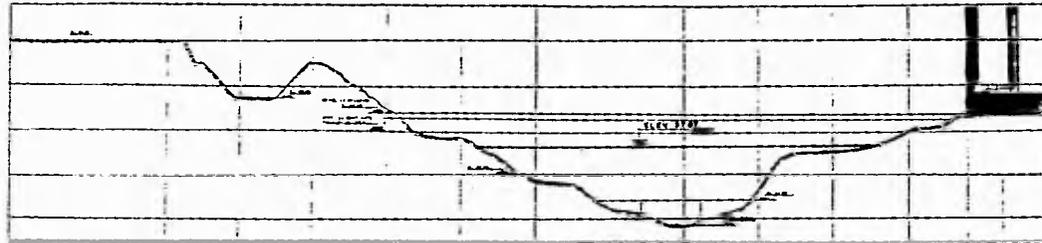
ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES

OBRA PROYECTO SAN RAFAEL, REGULADORA DE INUNDACION Y CENTRAL HIDROELECTRICA
CONTRATO No. 87/03 ESTIMACION No. 04 (SEI/S)
PERIODO DEL 01 DE MAYO DE 1984 AL 31 DE MAYO DE 1984
CONTRATISTA RAFFE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S.A. S. C.

FORMA No. 08

NO. DE ... DE ...

FRENTE : CORTINA.
CONCEPTO NO. 43 : COLOCACION DE CONCRETO COMPACTADO
f'c = 100 KG/CM².



SUPERVISION CIVIL
SUPERVISOR
Firma
ING. JESUS OCHOA TORRES

EJECUCION:
Firma
ING. MARCO A. ALVARADO G.

COPIA PARA EL SUPERVISOR

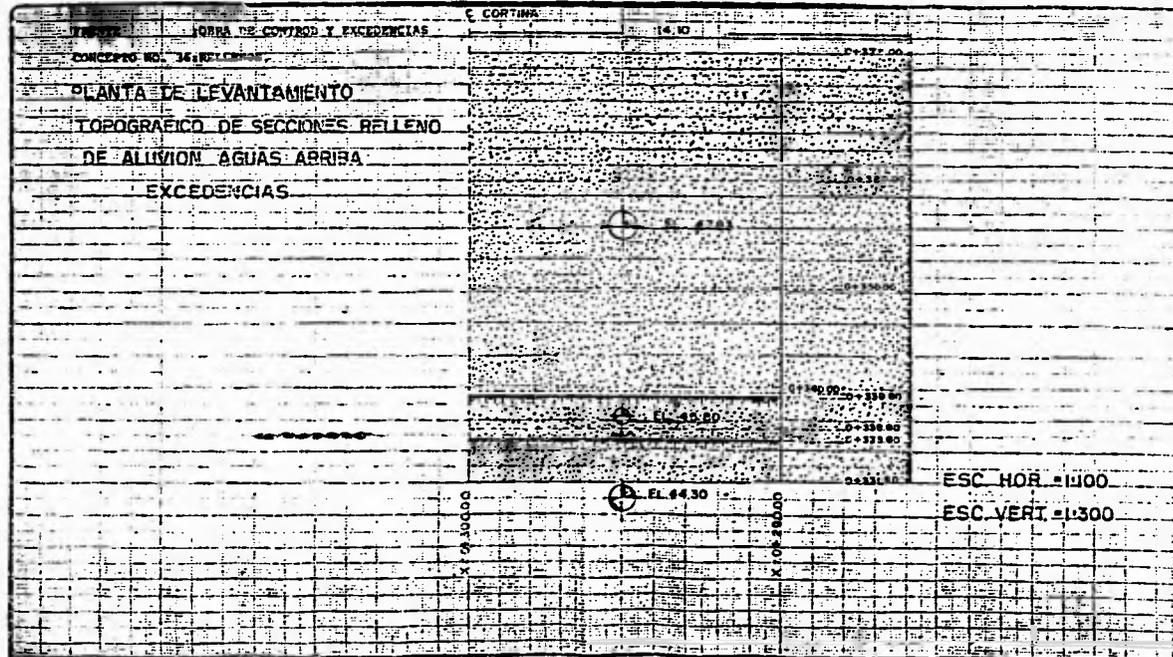


PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL
ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES



OBRA: PROV. SAN RAFAEL. REGULADORA, DERIVADORA Y C. HIDROELECTRICA.
CONTRATO NO. 311611 ESTIMACION NO. DE (SEI25)
PERIODO DEL 01 DE MAYO DE 1924 AL 31 DE MAYO DE 1924.
CONTRATISTA: BURETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S. A. DE C. V.

FORMA NO. 04



SUPERVISOR
ING. JESUS ANTONIO TORRES

EJECUTOR
ING. MARTIN ALVARADO GARCIA

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION



PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL

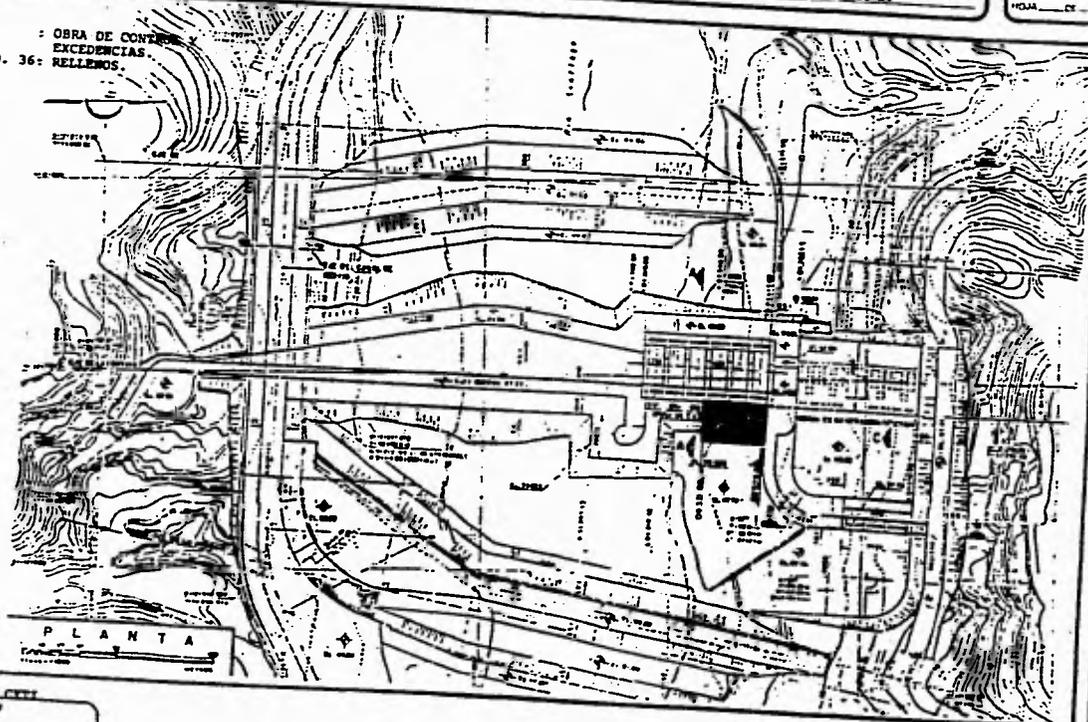
ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES



OBRAS PROYECTO SAN RAFAEL - REGULADORA, DERIVADORA Y C. HIDROELECTRICA
 CONTRATO No. 031023
 ESTACION No. 06 (REIS)
 PERIODO DEL 01 DE MAYO DE 1994 AL 31 DE MAYO DE 1994
 CONTRATISTA: BUJETA INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.

FORMA A 01
 HOJA 01

FRENTE : OBRA DE CONTROL DE EXCEDENCIAS
 CONCEPTO NO. 36: RELLENOS



SUPERVISOR CIVIL
 SUPERVISOR
 INGENIERO
 MC JESUS ZENIA TORRES

EJECUTOR
 INGENIERO
 MC MIGUEL ALVARADO GARCIA



PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL

ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES



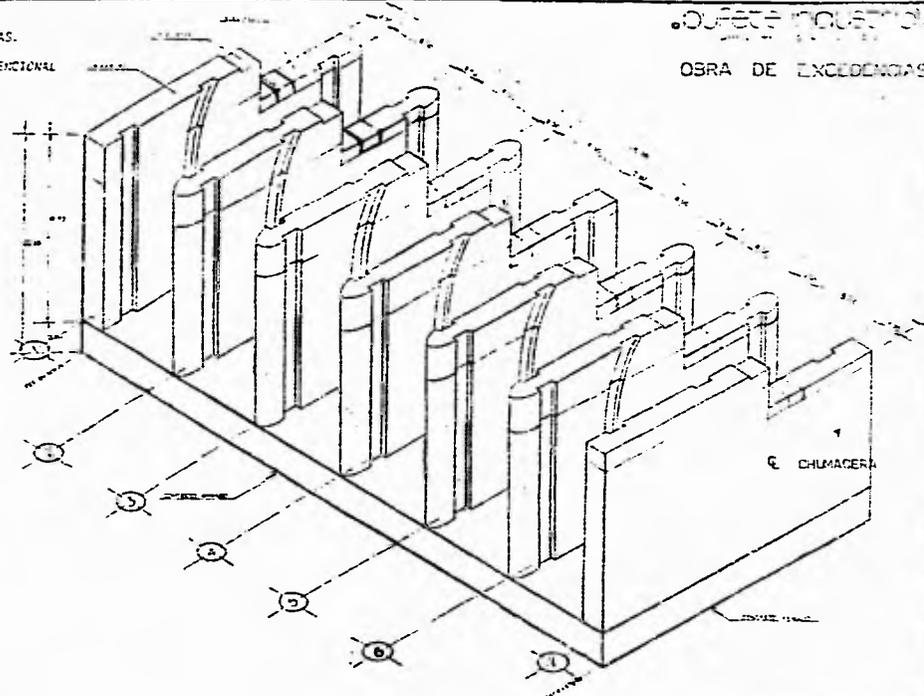
PROYECTO SAN RAFAEL, REGULADORA, DEMANDORA Y CENTRAL HIDROELECTRICA
CONTRATO No. 831031
FECHA DEL 27 DE MAYO DE 1994
CONTRATISTA BUFFETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.

NO. DE HOJA
1

OBJETO: OBRA DE CONTROL Y EXERCENCIAS.
CONTENIDO: COLOCACION DE CONCRETO CONVENCIONAL
DE 100 M³ C.M.

BUFFETE INDUSTRIAL

OBRA DE EXCELENCIAS



SUPERVISOR
SUPERVISOR
ING. JESUS OCHOA TORRES

ING. MARIO A. GONZALEZ

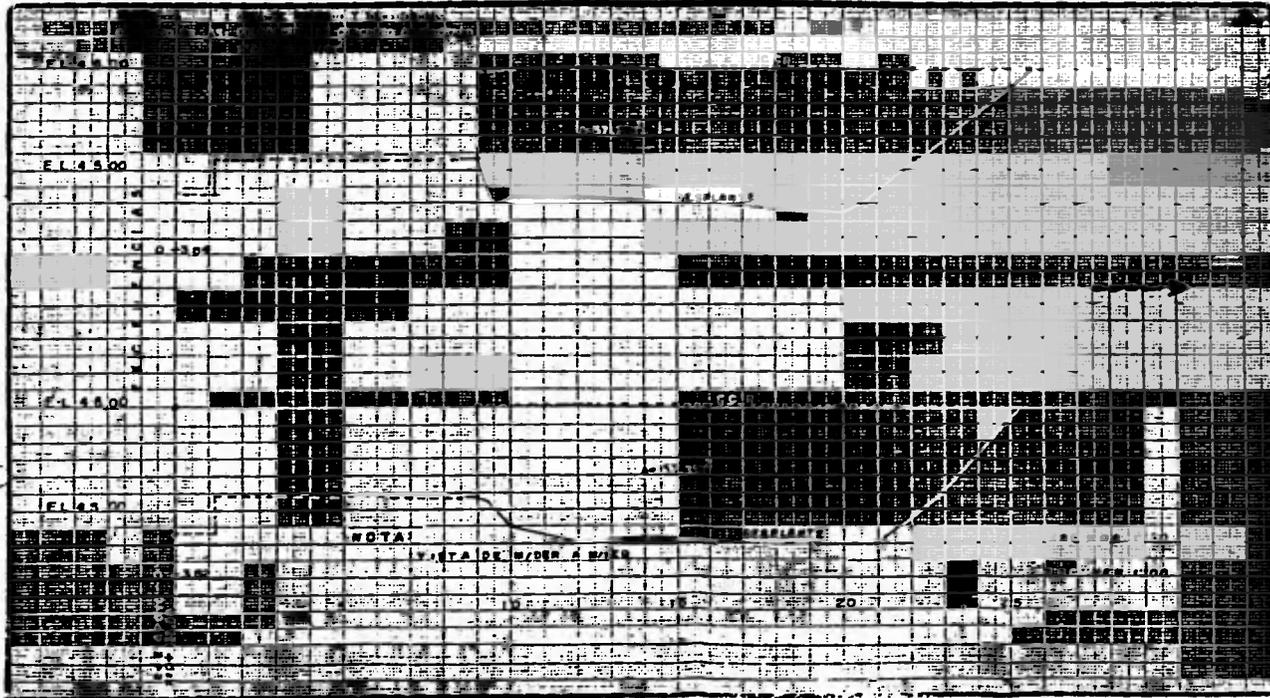


PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL
ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES

b

OBRA: PROY. SAN RAFAEL, REGULADORA, DEFENSORA Y C. MICROELECTRICA
 CONTRATO No. 821027 ESTIMACION No. 06 (SEIS)
 PERIODO DEL 01 DE MAYO DE 1994 AL 31 DE MAYO DE 1994
 CONTRATISTA: BUFETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.

FORMA No. 00
 HOJA No. DE



NOTA:

LISTA DE NÚMROS A NÚMROS

SUPERVISOR C.T.I.
 NOMBRE: ING. JUAN CARLOS SERRAS

EJECUTOR
 NOMBRE: ING. MARTIN ALVARADO C.



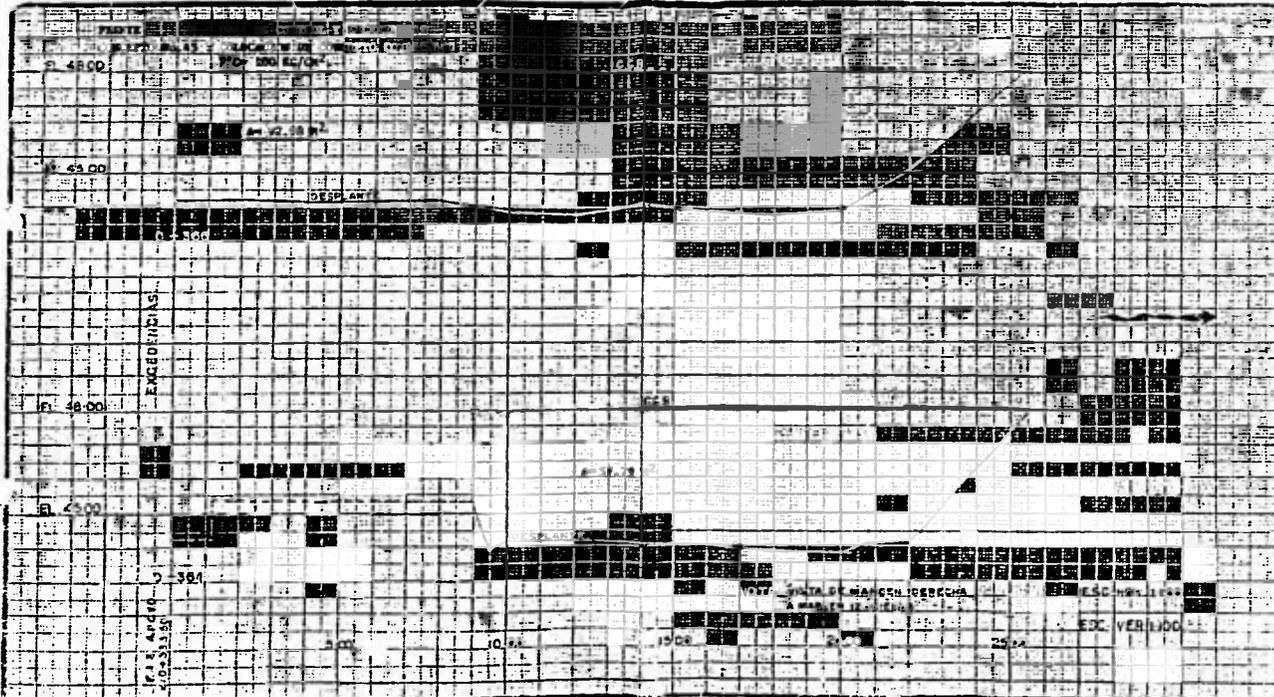
PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL

ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES



OBRA: PROY. SAN RAFAEL: REGULADORA, DERIVADORA Y C. HIDROELECTRICA
 CONTRATO No. 031031 ESTIMACION No. 06 (SEIS)
 PERIODO DEL 01 DE MAYO DE 1994 AL 31 DE MAYO DE 1994
 CONTRATISTA: BUFETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.

HOJA No. 01
 DE 01



SUPERVISION CTTI
 FIRMA: [Signature]
 NOMBRE: ING. EDUARD TORRES

EJECUTOR
 FIRMA: [Signature]
 NOMBRE: ING. RAFAEL ALVARADO C.



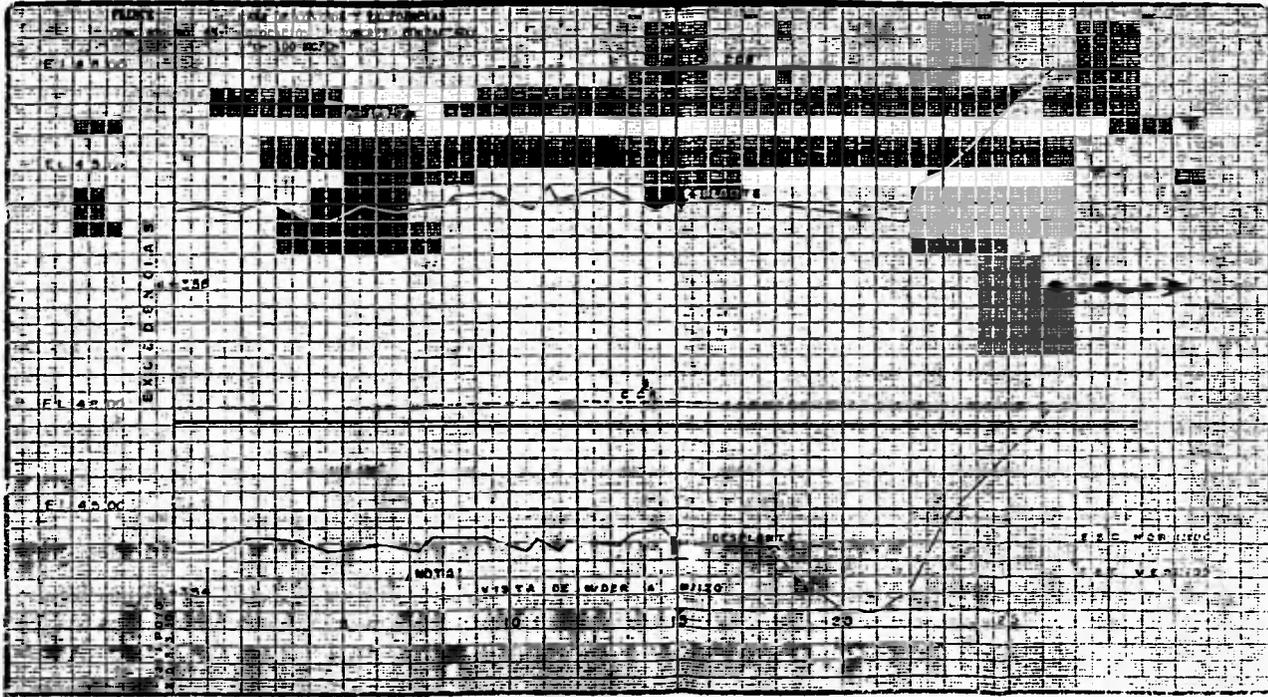
PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL

ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES



OBRA: PROY. SAN RAFAEL - REGULADORA, DERIVADORA Y C. HIDROELECTRICA
 CONTRATO No: 931831 ESTIMACION No: 06 (SEIS)
 PERIODO DEL 01 DE MAYO DE 1994 AL 31 DE MAYO DE 1994
 CONTRATISTA: BURETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.

FORMA No. 01
 No. _____ DE _____



SUPERVISION CIVIL
 FIRMA
 NOMBRE ING. JOSE ANTONIO TORRES

FIRMA
 NOMBRE ING. MARTIN ALVARO

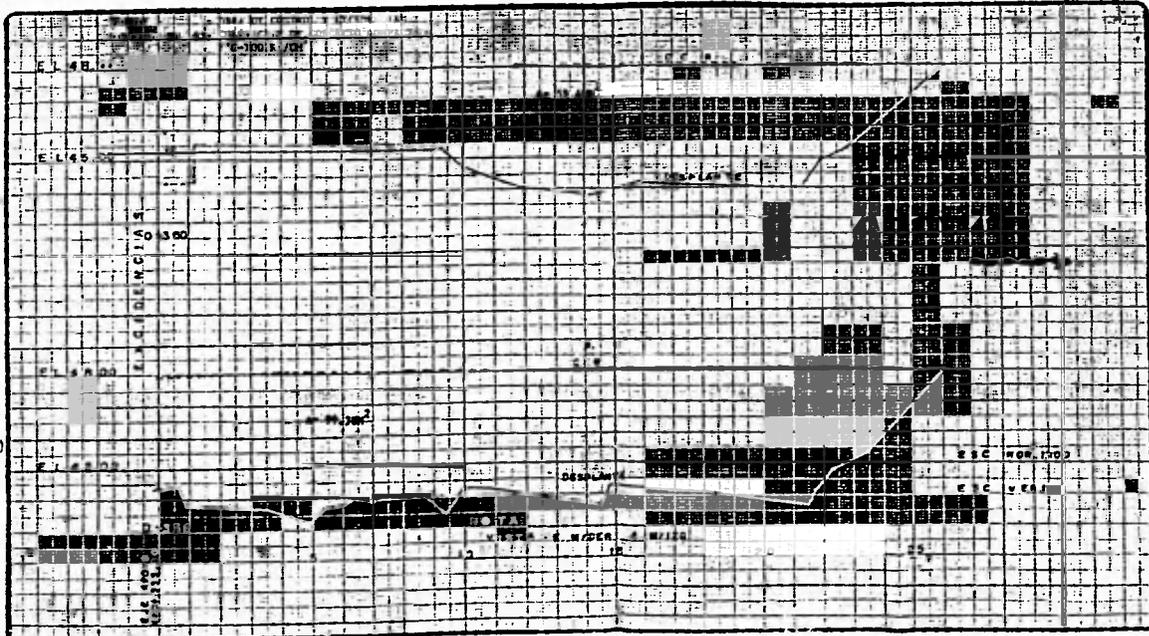


PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL
ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES



OBRA: PROY. SAN RAFAEL - REGULADORA, DERIVADORA Y C. MICROELECTRICA
 CONTRATO No. 03431 ESTIMACION No. 06 (S&TS)
 PERIODO DEL 01 DE MAYO DE 1994 AL 31 DE MAYO DE 1994
 CONTRATISTA: SUFETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.

FORMA No. 02
 HOJA ___ DE ___



SUPERVISION CTTI
 FIRMA:
 NOMBRE: ING. J. OSCAR TORRES

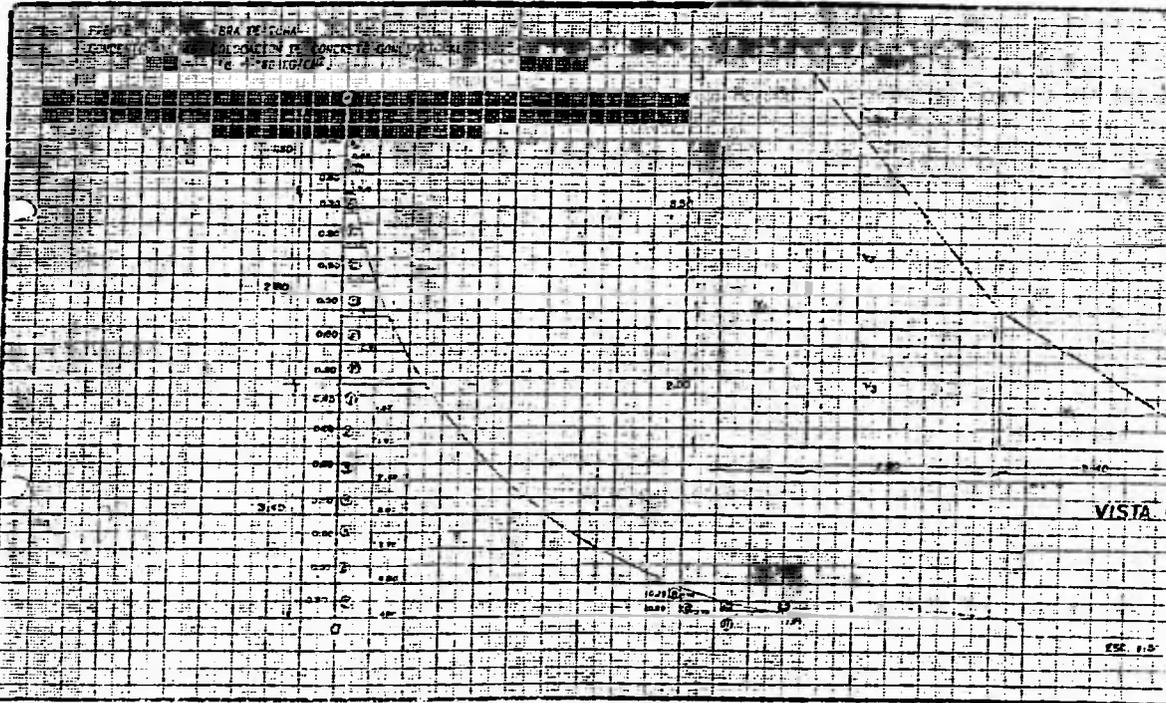
EJECUTOR
 FIRMA:
 NOMBRE: ING. MARIO A. ALVARADO G.



PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL
ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES



OBRA: PROY SAN RAFAEL REGULADORA FERMADORA Y G. HIDROELECTRICA
 CONTRATO No: 27103 ESTIMACION No: 02 1 1575 1
 PERIODO DEL: 01 DE MAYO DE 1994 AL: 31 DE MAYO DE 1994
 CONTRATISTA: BUFETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.



SUPERVISION CMI
 FIRMA: *[Signature]*
 NOMBRE ING. OSCAR TORRES

DECUTOR
 FIRMA: *[Signature]*
 NOMBRE ING. MARCO A. J.

PROYECTO P. R. H. SAN RAFAEL, NAY.

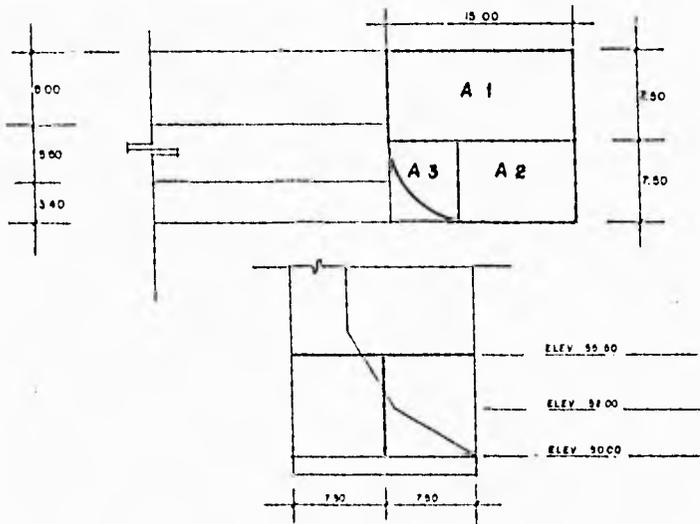
FORMA No. 04

ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES

HOJA 2 DE 8

OBRA : REGULADORA, DERIVADORA Y CENTRAL HIDROELECTRICA
 CONTRATISTA : LUJERIE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.
 CONTRATO No : 931031 ESTIMACION No : 06 (IETS)
 PERIODO DEL : MAYO 01 DE 1994 AL : MAYO 31 DE 1994

CONCEPTO No. 46 FRENE : OBRA DE TOMA
 : COLOCACION DE CONCRETO CONVENCIONAL
 $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$



$$A1 = 7.50 \times 15.00 = 112.50 \text{ M}^2$$

$$A2 = 7.50 \times 7.50 = 56.25 \text{ M}^2$$

$$A3 = (3.1416 \times (7.50^2) \times 0.2) / 390 = 44.18 \text{ M}^2$$

$$V1 = 112.50 \times 5.50 = 618.75 \text{ M}^3$$

$$V2 = 56.25 \times 5.50 = 309.38 \text{ M}^3$$

$$V3 = 44.18 \times 5.50 = 242.99 \text{ M}^3$$

$$V (I) = 1,171.12 \text{ M}^3$$

FIRMA	CONTRATISTA	FIRMA
NOMBRE ING. MARIA ALVARADO	<i>[Signature]</i>	NOMBRE ING. EDUARDO OCHOA TORRES

PROYECTO P.R. EL SAN RAFAEL, MAY

FORMA No. 04

ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES

HOJA 3 DE 8

OBRA: REGULADORA, DERIVADORA Y CENTRAL HIDROELECTRICA

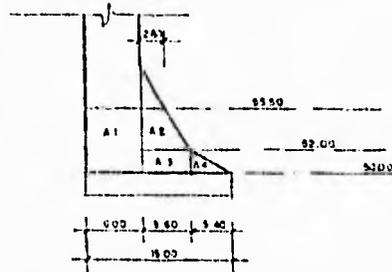
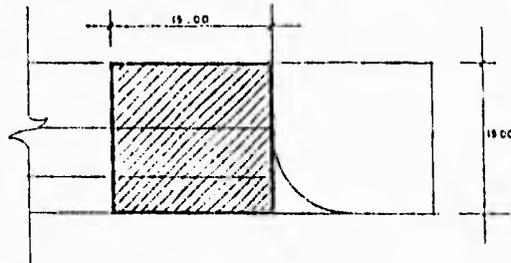
CONTRATISTA: BUFETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.

CONTRATO No: 931031 ESTIMACION No. 06 (SEIS)

PERIODO DEL: MAYO 01 DE 1994 AL: MAYO 31 DE 1994

CONCEPTO No.: 46 FRENTE: OBRA DE TOMA
: COLOCACION DE CONCHETO CONVENCIONAL
 $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$

II



$$A1 = 8.00 \times 5.50 = 33.00 \text{ M}^2$$

$$A2 = ((5.60 + 2.80) \times 3.50) / 2 = 14.70 \text{ M}^2$$

$$A3 = 5.60 \times 2.00 = 11.20 \text{ M}^2$$

$$A4 = (3.40 \times 2.00) / 2 = 3.40 \text{ M}^2$$

$$V1 = 33.00 \times 15.00 = 495.00 \text{ M}^3$$

$$V2 = 14.70 \times 15.00 = 220.50 \text{ M}^3$$

$$V3 = 11.20 \times 15.00 = 168.00 \text{ M}^3$$

$$V4 = 3.40 \times 15.00 = 51.00 \text{ M}^3$$

$$V \text{ (II)} = 934.50 \text{ M}^3$$

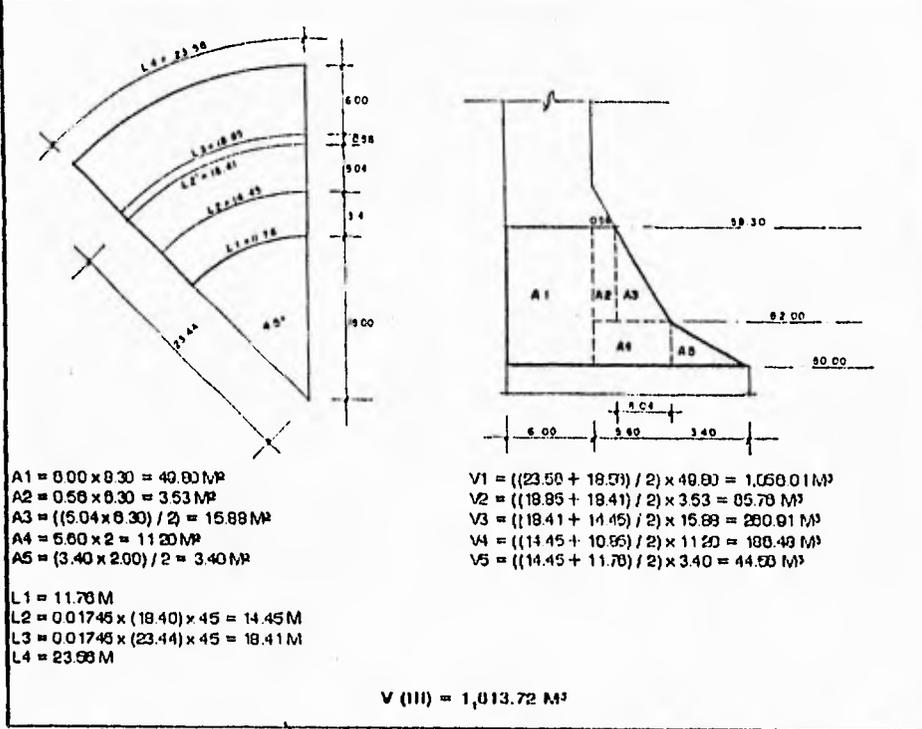
CONTRATISTA
FIRMA
NOMBRE: ING. MARIO A. ALVARADO G.

SUPERVISION OYTL
FIRMA
NOMBRE: ING. JESUS OCHOA TORRES

PROYECTO P. R. H. SAN RAFAEL, NAY. ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES	FORMA No. 04 HOJA 4 DE 8
---	-----------------------------

CERA :	RESULADORA, DERIVADORA Y CENTRAL HIDROELECTRICA		
CONTRATISTA :	LUFERE INDUSTRIAL OCHIBUCCILES, S.A. DE C.V.		
CONTRATO No :	931031	ESTIMACION No :	06 (SIS)
PERIODO DEL :	MAYO 01 DE 1994	AL :	MAYO 31 DE 1994

CONCEPTO No.	46	FRENE : CERA DE TUNA : COLOCACION DE CONCRETO CONVENCIONAL $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$
--------------	----	--



CONTRATISTA FIRMA: <i>[Signature]</i> NOMBRE: ING. MARCO ALVARADO Q.	SUPERVISOR EN C. E. FIRMA: <i>[Signature]</i> NOMBRE: ING. JESUS OCHOA TORRES
--	---

PROYECTO P. R. II. SAN RAFAEL, NAY.

FORMA No. 04

ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES

HOJA 5 DE 6

OBRA : REGULADORA, DERIVADORA Y CENTRAL HIDROELECTRICA

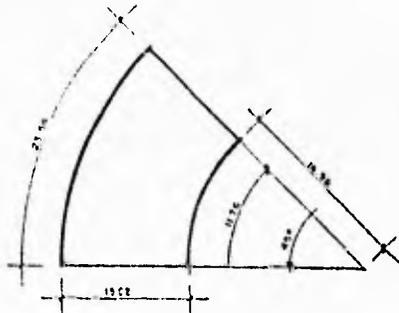
CONTRATISTA : BUFETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.

CONTRATO No : 931031 ESTIMACION No . 06 (SEIS)

PERIODO DEL : MAYO 01 DE 1994 AL : MAYO 31 DE 1994

CONCEPTO No. : 46 FRENTE : OBRA DE TOMA
COLOCACION DE CONCRETO CONVENCIONAL
 $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$

IV

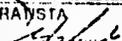


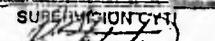
$$A1 = (3.1416 \times (30^2 - 14.98^2) \times 45) / 360 = 353.43 \text{ M}^2$$

$$A2 = (3.1416 \times (14.98^2) \times 45) / 360 = 88.12 \text{ M}^2$$

$$Ac = A1 - A2 = 265.31 \text{ M}^2$$

$$V \text{ (IV)} = 265.31 \times 2.3 = 610.21 \text{ M}^3$$

CONTRATISTA
FIRMA 
NOMBRE : ING. MARIO A. ALVARADO G.

SUPERVISION
FIRMA 
NOMBRE : ING. JESUS OCHOA TORRES

PROYECTO P. R. II. SAN RAFAEL, NAY.

FORMA No. 04
HOJA 6 DE 8

ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES

OBRA **PROY. SAN RAFAEL: REGULADORA, DERIVADORA Y CENTRAL HIDROELECTRICA.**
 CONTRATISTA **BUFETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.**
 CONTRATO No. **931031** ESTIMACION No. **06 (SELS)**
 PERIODO DEL **01 DE MAYO DE 1994** AL **31 DE MAYO DE 1994**

FRENTE : OBRA DE TOMA

CONCEPTO NO. 46 : COLOCACION DE CONCRETO CONVENCIONAL
 F'c = 140 KG/CM².

CALCULO DE VOLUMEN

- 1.- $1.25 \times 0.40 + \frac{0.27 \times 0.40}{2} = 0.554$
- 2.- $1.52 \times 0.50 + \frac{0.43 \times 0.50}{2} = 0.867$
- 3.- $1.93 \times 0.50 + \frac{0.49 \times 0.50}{2} = 1.087$
- 4.- $2.42 \times 0.50 + \frac{0.59 \times 0.50}{2} = 1.357$
- 5.- $3.01 \times 0.50 + \frac{0.74 \times 0.50}{2} = 1.690$
- 6.- $3.75 \times 0.50 + \frac{1.05 \times 0.50}{2} = 2.137$
- 7.- $4.80 \times 0.50 = 2.400$
- 8.- $\frac{0.75 \times 0.25}{2} = 0.094$
- 9.- $0.75 \times 0.25 = 0.187$
- 10.- $\frac{0.70 \times 0.15}{2} = 0.052$
- 11.- $0.70 \times 0.10 = 0.070$
- 12.- $\frac{1.25 \times 0.10}{2} = 0.062$

$V4 = \frac{10.557 \times 2}{2} = 10.557M^3$

A. T. = 10.557M²

- A) $\frac{(0.12 + 0.20) \times 0.30}{2} = 0.048$
- B) $0.20 \times 0.50 + \frac{0.10 \times 0.50}{2} = 0.125$
- C) $0.30 \times 0.50 + \frac{0.17 \times 0.50}{2} = 0.192$
- D) $0.47 \times 0.50 + \frac{0.21 \times 0.50}{2} = 0.287$

FIRMA	CONTRATISTA	FIRMA	CLIENTE
	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	CYT1
NOMBRE	ING. MARIO A. ALVARADO GARCIA	NOMBRE	ING. JESUS OCHOA TORRES

ORIGINAL.

III.1.4 PLANOS DE CONSTRUCCION

Un plano es un dibujo a escala, en donde se consignan la localización, las dimensiones, y en general todas las características de la obra por ejecutarse.

Los planos de construcción son los planos definitivos que la Comisión Federal de Electricidad entrega al Contratista para que con ellos realice la construcción de la obra y que llevan la leyenda " Aprobado para Construcción ". Los planos de construcción requirieron de actualización y algunas modificaciones de acuerdo al avance de la construcción y a los imprevistos que se fueron presentando a lo largo de la construcción.

Los planos de construcción son la guía principal para el control topográfico de las obras, ya que en ellos se marcan ejes, dimensiones, elevaciones, cadenamientos, etc., y en base a ellos se proyectan los principales puntos de control para las estructuras, a través de poligonales de apoyo, líneas de referencia y bancos de nivel.

En la tabla 3.3 se presenta una relación de planos principales que contienen referencias topográficas de apoyo para la ejecución de la obra civil, así como los planos que contienen referencias físicas que quedaran en forma permanente en el Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael. Se manejaron alrededor de 90 diferentes planos de construcción, ya que para cada obra se presentaron planos detallados, revisados, actualizados y modificados.

Los planos topográficos que dieron apoyo a las jefaturas de supervisión dependientes de la Residencia Administrativa de C.F.E. se enlistan en la tabla 3.3, y su objeto principal fue el de proporcionar información en la forma más conveniente para proyectar la construcción de las obras.

**TABLA 3.3 RELACIÓN DE PLANOS DE CONSTRUCCION
(PRINCIPALES)**

NO.	CLASIFICACIÓN	CONJUNTO/TITULO	* FECHA	REF.
		ESTRUCTURA		
1	229.36/4-C-1-88555	OBRA DE DESVÍO/PLANO GENERAL	MAY.'94	(1)
2	229.36/3-C-1-88659	OBRA DE DESVÍO/PERFILES	ENE.'94	(2)
3	229.36/4-C-3-88557	OBRAS PRINCIPALES/EXCAVACIONES	MAY.'94	(1)
4	229.36/4-C-4-88558	OBRAS PRINCIPALES/PLANO GENERAL	MAY.'94	(1)
5	229.36/4-C-7-88962	SUBESTACION, OBRA DE TOMA-GEOM.	MAY.'94	(1)
6	229.36/4-C-2-88556	OBRA DE EXCEDENCIAS/PLANO GRAL.	FEB.'94	(1)
7	229.36/4-C-2-88556	OBRA DE EXCEDENCIAS/DETALLES	MAR.'94	(1)
8	229.36/4-C-5-88559	OBRA DE CONTENCIÓN/CORTINA	MAR.'94	(1)
9	229.36/4-C-5-88559	OBRA DE CONTENCIÓN/DETALLES	ABR.'94	(1)

* Fecha en que se aprobó para construcción.

(1) Aprobado para construcción

(3) Informativo

TABLA 3.4 PLANOS TOPOGRÁFICOS

NO.	CLASIFICACIÓN	TITULO/DESCRIPCIÓN	FECHA	REF
1	SIN CLASIFICACIÓN	PLANTA TOPOGRÁFICA	FEB.'94	(*)
2	SIN CLASIFICACIÓN	CONFIGURACIÓN TOPOGRÁFICA	NOV.'93	(2)
3	SIN CLASIFICACIÓN	EXCAVACIONES CORTES TRANSVERSALES	ENE.'94	(1)
4	SIN CLASIFICACIÓN	PERFILES TOPOGRÁFICOS-BATIMETRIAS	NOV.'93	(*)
5	SIN CLASIFICACIÓN	PLANO GENERAL-ZONA DE PROTECCIÓN	ENE.'94	(2)
6	SIN CLASIFICACIÓN	EXCAVACIONES/PERFILES Y SECCIONES TN	FEB.'94	(1)
7	SIN CLASIFICACIÓN	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO		(2)
8	SIN CLASIFICACIÓN	PLANO DE EJES Y REFERENCIAS	ENE.'94	(2)
9	SIN CLASIFICACIÓN	VIALIDADES/PERFIL DE PROJ. Y CURVA MASA	FEB.'94	(1)

(*) Planos elaborados en obra

(1) Aprobado para construcción

(2) Informativo

III.1.5 EQUIPO TOPOGRÁFICO REQUERIDO

Para el control topográfico de la construcción de las obras que integran el proyecto, la Comisión Federal de Electricidad estableció de carácter obligatorio, que el equipo topográfico que se utilizara debía cumplir como mínimo las cantidades y especificaciones que se indican en el siguiente cuadro:

NUM. PROG.	EQUIPO DE TOPOGRAFÍA	CANTIDAD MÍNIMA NECESARIA
01	Teodolito T2 ó similar: Aproximación angular de 1" Desviación estándar (Hz): 0.8"	4 piezas
02	Nivel N3 ó Ni1 ó similar: Desviación estándar para 1 km de doble nivelación: 0.2 mm	1 pieza
03	Distanciómetro electrónico DI1000 Precisión ± 5 mm + p.p.m. Incluido equipo accesorio	3 piezas
04	Nivel NA2 ó similar: Precisión en 1 km nivelado ida y vuelta: 0.7 mm	4 piezas
05	a) Mira de nivelación ínvar de 3 m ó similar b) Mira de nivelación ínvar GWL 182	1 par 2 piezas
06	Micrómetro de placa planoparalela GPM3 (para NA2) ó similares	2 piezas
07	Plomada óptica para cenit y nadir ZNL : Desviación estándar 1 mm en 30 m (I:30000) ó similar	1 pieza

Además del equipo topográfico requerido, fue obligatorio por parte de la Contratista emplear equipos computarizados para las mediciones topográficas por lo que debía presentar por lo menos un conjunto de equipos compatibles entre sí, como a continuación se indica:

01. DISTANCIOMETRO
02. TEODOLITO ELECTRONICO
03. REGISTRO DE CAMPO ELECTRÓNICO Y CALCULADORA ENCHUFABLE
04. COMPUTADORA
05. PLOTTER E IMPRESORA.

TABLA 3.5 UTILIZACIÓN DE EQUIPO TOPOGRÁFICO POR FRENTE DE OBRA CIVIL.

	1 9 9 3		1 9 9 4									
	NOV	DIC	E	F	M	A	M	J	J	A	S	
OBRAS DE DESVÍOS												
Teodolito aproximación = 1'	1	1	1	1	1							
Nivel automático NA2 ó similar	1	1	1	1	1							
Estadal de 3 m	2	2	2	2	2							
Cinta métrica metálica	2	2	2	2	1							
Plomada de punto	2	2	2	2	2							
OBRA DE CONTENCIÓN												
Teodolito de aproximación = 1'					3	3	3	2	2	1		
Distanciómetro electrónico DI1000					1	1	1	1	1			
Nivel automático NA2					3	3	3	2	2	1	1	
Estadal de 3 m					6	6	6	4	4	2	2	
Cinta métrica metálica					3	3	3	2	2	1	1	
Plomada de punto					4	4	4	4	4	2	2	
OBRA DE EXCEDENCIAS												
Teodolito de aproximación = 1'				3	3	3	3	3	2	1		
Distanciómetro electrónico DI1000				1	1	1	1	1	1			
Taquímetro electrónico TC500 de aprox = 6'						1	1	1	1			
Nivel automático NA2 ó similar				3	3	3	3	2	2	1		
Micrómetro de placa planoparalela							2	2	1			
Estadal de 3 m				6	6	6	6	6	4	2		
Cinta métrica metálica				3	3	3	3	3	2	1		
Plomada óptica para cenit y nadir ZNL						1	1					
Plomada de punto				4	4	4	4	4	4	2		
OBRA DE TOMA												
Teodolito de aproximación = 1'						2	2	2	1			
Distanciómetro electrónico DI1000 ó similar						1	1	1				
Taquímetro electrónico TC500 de aprox = 6'						1	1	1	1	1		
Nivel automático NA2 ó similar						2	2	2	1			
Estadal de 3m						4	4	4	2			
Cinta métrica metálica						2	2	2	1			
Plomada de punto						4	4	4	2			

III.1.6 BRIGADAS DE TOPOGRAFÍA UTILIZADAS

Tabla 3.6 Utilización de brigadas de topografía por frente de obra civil.

	1 9 9 3		1 9 9 4								
	NOV	DIC	E	F	M	A	M	J	J	A	S
OBRAS DE DESVIOS											
Ingeniero Topógrafo	1	1	1	1	1						
Aparatero	1	1	1	1	1						
Cadenero	2	2	2	2	2						
Ayudante General	1	1	1	1	1						
OBRA DE CONTENCIÓN											
Ingeniero Topógrafo					3	3	3	2	2	1	1
Aparatero					3	3	3	2	2	1	1
Cadenero					6	6	6	4	4	2	2
Ayudante General					3	3	3	2	2	1	1
OBRA DE EXCEDENCIAS											
Ingeniero Topógrafo				3	3	3	3	3	2	2	
Aparatero				3	3	3	3	3	2	2	
Cadenero				6	6	6	6	6	4	4	
Ayudante General				3	3	3	3	3	2	2	
OBRA DE TOMA											
Ingeniero Topógrafo						2	2	2	1		
Aparatero						2	2	2	1		
Cadenero						4	4	4	2		
Ayudante General						2	2	2	1		

III.1.7 BITACORA DE OBRA

El marco legal que norma el uso y manejo de la bitácora, se rigió básicamente por los artículos 46 y 47 del reglamento de la Ley de Obras Públicas.

Para el control del contrato, se llevó la Bitácora correspondiente por parte del Jefe de Topografía de la Supervisión y del Contratista, diariamente se hicieron las anotaciones de los trabajos realizados y las incidencias más importantes, habiéndose aplicado el procedimiento de Comisión Federal de Electricidad correspondiente al uso y manejo de Bitácora.

III.1.8 DESGLOSE DEL COSTO DE LOS SERVICIOS

El costo de los servicios de supervisión topográfica está integrado por los costos directos, los costos indirectos, financiamiento y utilidad.

Los costos indirectos están integrados por todos aquellos gastos en que tuvo que incurrir el contratista, tales como: Gastos de dirección, administración, oficina matriz, oficina de campo, vehículos y transportación de personal, alojamiento y comida; seguros y fianzas; en general todos los gastos necesarios para el buen funcionamiento de la empresa supervisora. El porcentaje de indirectos se obtiene dividiendo el costo indirecto entre los costos directos.

A continuación se presenta como caso particular y ejemplo, la integración de costos y precios unitarios a los trabajos realizados para el proyecto del camino tramo Puente Río Santiago - San Rafael, siguientes:

FRENTE: Proyecto de caminos.

CONCEPTOS: * Reconocimiento terrestre y Localización del camino.

- * Referencias
- * Trazo definitivo
- * Nivelación definitiva
- * Secciones de construcción

OBRA: PROYECTO REGULADOR E HIDROELÉCTRICO SAN RAFAEL , NAY.

PROYECTO DE CAMINOS

RECONOCIMIENTO TERRESTRE Y LOCALIZACIÓN DEL CAMINO

La actividad consiste en inspeccionar una faja de terreno, donde se alojará el camino que se pretende construir y fijar los puntos obligados, es decir, aquellos puntos por los cuales debe pasar el camino.

UNIDAD : KM

CANTIDAD : 1.00

A N A L I S I S

I.- MANO DE OBRA

OCTUBRE DE 1993.

CANTIDAD	CATEGORÍA	COSTO/TNO	IMPORTE/TNO.
1.00	INGENIERO TOPÓGRAFO	N\$ 95.000	N\$ 95.000
1.00	TOPÓGRAFO (PRACTICO)	N\$ 92.000	N\$ 92.000
2.00	ESTADALEROS (MANIOBRISTA)	N\$ 50.500	N\$ 101.000
4.00	AYUDANTES (BRECHEROS)	N\$ 33.500	N\$ 134.000
1.00	AYUDANTE DE TOPOGRAFÍA	N\$ 33.500	N\$ 33.500
1.00	CHOFER	N\$ 57.700	N\$ 57.700
		S U M A	N\$ 513.200
15.00 %	EQUIPO DE MEDICIÓN, SEGURIDAD Y HERRAMIENTA		N\$ 77.000
		T O T A L	N\$ 590.200

RENDIMIENTO = 0.250 KM/TNO.

$$\text{CARGO} = \frac{\text{N\$ 590.200 / TNO}}{0.250 \text{ KM / TNO}} = \text{N\$ 2.361.00 / KM}$$

CARGO POR MANO DE OBRA = N\$ 2,361.00 / KM.

II.- MAQUINARIA

CANTIDAD	MAQUINA O EQUIPO	COSTO/HORA	COSTO/ HORA
		ACTIVO	INACTIVO
1.00	CAMIONETA ESTACAS 3 TON.	N\$ 20.000	N\$ 8.000
1.00	TRÁNSITO C-Z APROX. 1'	N\$ 10.000	N\$ 2.000
S U M A		N\$ 30.000	N\$ 10.000

$$\text{CARGO} = \frac{(\text{N\$ 30.00/HORA})(4.00 \text{ HR/TNO}) + (\text{N\$ 10.00/HORA})(4.00 \text{ HORA/TNO})}{.250 \text{ KM/TNO}}$$

CARGO POR MAQUINARIA = N\$ 640.00 /KM.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

R E S U M E N

CARGO MANO DE OBRA	= N\$ 2,361.00 /KM
CARGO POR MAQUINARIA	= N\$ 640.00 /KM

COSTO DIRECTO	= N\$ 3,001.00 /KM
42.00 % INDIRECTO Y UTILIDAD	=N\$ 1,260.42 /KM

PRECIO UNITARIO	= N\$ 4,261.42 /KM

PROYECTO DE CAMINOS

REFERENCIAS

La actividad consiste en fijar la posición de los puntos que definen el trazo del camino, con relación a otros fijos denominados puntos de referencia (P.R.), que se escogen o establecen preferentemente fuera de la zona del camino. Los P.R. pueden ser roca fija, troncos de árboles, etc.; por medio de trompos con tachuela, clavando cerca del trompo una estaca testigo en la que se anotaré el número de referencia del punto y su distancia al eje del camino.

UNIDAD : KM
CANTIDAD : 1.00

A N A L I S I S

I.- MANO DE OBRA

OCTUBRE DE 1993

CANTIDAD	CATEGORÍA	COSTO/TNO	IMPORTE/TNO.
1.00	TOPÓGRAFO (PRACTICO)	N\$ 92.000	N\$ 92.000
2.00	CADENERO (MANIOBRISTA)	N\$ 50.500	N\$ 101.000
1.00	APARATERO (CABO DE OF.)	N\$ 66.500	N\$ 66.500
1.00	TROMPERO (MANIOBRISTA)	N\$ 50.500	N\$ 50.500
2.00	AYUDANTES (BRECHEROS)	N\$ 33.500	N\$ 67.000
1.00	CHOFER	N\$ 57.700	N\$ 57.700
		S U M A	N\$ 434,700
15.00 %	EQUIPO DE MEDICIÓN, SEGURIDAD Y HERRAMIENTA.		N\$ 65,210
		T O T A L	N\$ 500.000

RENDIMIENTO = 2.00 PZA/TNO.

$$\text{CARGO} = \frac{\text{N\$ 500.00 / TNO}}{2.00 \text{ PZA / TNO}} = \text{N\$ 250.00 / PZA}$$

CARGO POR MANO DE OBRA = N\$ 250.00 / PZA.

II.- MAQUINARIA

CANTIDAD	MAQUINA O EQUIPO	COSTO/HORA ACTIVO	COSTO/ HORA INACTIVO
1.00	CAMIONETA ESTACAS 3 TON.	N\$ 20.000	N\$ 8.000
1.00	TRÁNSITO C-Z APROX. 1'	N\$ 10.000	N\$ 2.000
S U M A		N\$ 30.000	N\$ 10.000

$$\text{CARGO} = \frac{(\text{N\$ 30.00/HORA})(4.00 \text{ HR/TNO.}) + (\text{10.000/HORA})(4.00 \text{ HORA/TNO})}{2.00 \text{ PZA/TNO.}}$$

CARGO POR MAQUINARIA = N\$ 80.000 /PZA.

R E S U M E N

CARGO MANO DE OBRA = N\$ 250.00 /PZA
 CARGO POR MAQUINARIA = N\$ 80.00 /PZA

 COSTO DIRECTO = N\$ 330.00 /PZA
 42.00 % INDIRECTO Y UTILIDAD = N\$ 138.60 /PZA

PRECIO UNITARIO = N\$ 468.60 /PZA

PROYECTO DE CAMINOS

TRAZO DEFINITIVO

La actividad consiste en trazar en el terreno la línea definitiva, la cual esta compuesta de tangentes y curvas. Para esta actividad se hace necesario ir abriendo brecha, clavando trompos a cada 20 m y anotando el kilometraje respectivo.

UNIDAD : KM
 CANTIDAD : 1.00

A N A L I S I S

I.- MANO DE OBRA

OCTUBRE DE 1993.

CANTIDAD	CATEGORÍA	COSTO/TNO	IMPORTE/TNO.
1.00	INGENIERO TOPÓGRAFO	N\$ 95.000	N\$ 95.000
1.00	TOPÓGRAFO (PRACTICO)	N\$ 92.000	N\$ 92.000
2.00	CADENERO (MANIOBRISTA)	N\$ 50.500	N\$ 101.000
4.00	AYUDANTES (BRECHEROS)	N\$ 33.500	N\$ 134.000
1.00	TROMPERO (MANIOBRISTA)	N\$ 50.500	N\$ 50.500
1.00	APARATERO (CABO DE OF.)	N\$ 66.500	N\$ 66.500
1.00	CHOFER	N\$ 57.700	N\$ 57.700
		S U M A	N\$ 596.700
15.00 %	EQUIPO DE MEDICIÓN, SEGURIDAD Y HERRAMIENTA.		N\$ 89.505
		T O T A L	N\$ 686.21

RENDIMIENTO = 0.100 KM/TNO.

$$\text{CARGO} = \frac{\text{N\$ 686.210 / TNO}}{0.100 \text{ KM / TNO}} = \text{N\$ 6,862.10 / KM}$$

CARGO POR MANO DE OBRA = N\$ 6,862.10 / KM.

II.- MAQUINARIA

CANTIDAD	MAQUINA O EQUIPO	COSTO/HORA ACTIVO	COSTO/ HORA INACTIVO
1.00	CAMIONETA ESTACAS 3 TON.	N\$ 20.000	N\$ 8.000
1.00	TRÁNSITO C-Z APROX. 1'	N\$ 10.000	N\$ 2.000
S U M A		N\$ 30.000	N\$ 10.000

$$\text{CARGO} = \frac{(\text{N\$ 30.00/HORA})(4.00 \text{ HR/TNO.}) + (\text{N\$ 10.00/HORA})(4.00 \text{ HORA/TNO})}{.100 \text{ KM/TNO.}}$$

CARGO POR MAQUINARIA = N\$ 1,600.00 /KM.

R E S U M E N

CARGO MANO DE OBRA = N\$ 6,862.10 /KM
CARGO POR MAQUINARIA = N\$ 1,600.00 /KM

COSTO DIRECTO = N\$ 8,462.10 /KM
42.00 % INDIRECTO Y UTILIDAD = N\$ 3,554.08 /KM

PRECIO UNITARIO = N\$ 12,016.20 /KM

PROYECTO DE CAMINOS

NIVELACIÓN DEFINITIVA

La actividad consiste en ir determinando las cotas de todas las estaciones del trazo y todos los puntos intermedios que sean de utilidad para definir fielmente el perfil de terreno como: cambios de pendiente, cauces de arroyo, barrancas, canales, etc.

UNIDAD : KM
 CANTIDAD : 1.00

A N A L I S I S

I.- MANO DE OBRA

OCTUBRE DE 1993.

CANTIDAD	CATEGORÍA	COSTO/TNO	IMPORTE/TNO.
1.00	TOPÓGRAFO (PRACTICO)	N\$ 92.000	N\$ 92.000
1.00	ESTADALERO (MANIOBRISTA)	N\$ 50.500	N\$ 50.500
1.00	APARATERO (CABO DE OF.)	N\$ 66.500	N\$ 66.500
1.00	CHOFER	N\$ 57.700	N\$ 57.700
1.00	AYUDANTE DE TOPOGRAFÍA	N\$ 33.500	N\$ 33.500
15.00 %	EQUIPO DE MEDICIÓN, SEGURIDAD Y HERRAMIENTA.	S U M A	N\$ 300.200
		T O T A L	N\$ 45.030
			N\$ 345.23

RENDIMIENTO = .200 KM/TNO.

$$\text{CARGO} = \frac{\text{N\$ 345.23 / TNO}}{.200 \text{ KM / TNO}} = \text{N\$ 1,726.15 / KM.}$$

CARGO POR MANO DE OBRA = N\$ 1,726.15 / PZA.

II.- MAQUINARIA

CANTIDAD	MAQUINA O EQUIPO	COSTO/HORA ACTIVO	COSTO/ HORA INACTIVO
1.00	CAMIONETA ESTACAS 3 TON.	N\$ 20.000	N\$ 8.000
1.00	NIVEL TOPOGRÁFICO	N\$ 10.000	N\$ 2.000
	S U M A	N\$ 30.000	N\$ 10.000

$$\text{CARGO} = \frac{(\text{N\$ 30.00/HORA})(4.00 \text{ HR/TNO.}) + (\text{N\$ 10.00/HORA})(4.00 \text{ HORA/TNO})}{.200 \text{ KM/TNO.}}$$

CARGO POR MAQUINARIA = N\$ 800.00 /KM.

R E S U M E N

CARGO MANO DE OBRA = N\$ 1,726.15 /KM
 CARGO POR MAQUINARIA = N\$ 800.00 /KM

 COSTO DIRECTO = N\$ 2,526.15 /KM
 42.00 % INDIRECTO Y UTILIDAD = N\$ 1,061.00 /KM

 PRECIO UNITARIO = N\$ 3,587.15 /KM

PROYECTO DE CAMINOS

SECCIONES DE CONSTRUCCION

La actividad consiste en determinar los perfiles del terreno, normales al eje definitivo proyectado en planta, que se levantan en cada estación de 20 m, siguiendo el kilometraje y en los puntos intermedios en donde el terreno presente cambios notables con respecto a las estaciones completas. Para efectuar esta actividad se hace necesario abrir brecha.

UNIDAD : KM
 CANTIDAD : 1.00

A N A L I S I S

I.- MANO DE OBRA

OCTUBRE DE 1993.

CANTIDAD	CATEGORÍA	COSTO/TNO	IMPORTE/TNO.
1.00	TOPÓGRAFO (PRACTICO)	N\$ 92.000	N\$ 92.000
1.00	ESTADALERO (MANIOBRISTA)	N\$ 50.500	N\$ 50.500
2.00	CADENERO (MANIOBRISTA)	N\$ 50.500	N\$ 101.000
1.00	CHOFER	N\$ 57.700	N\$ 57.700
4.00	AYUDANTES (BRECHEROS)	N\$ 33.500	N\$ 33.500
		S U M A	N\$ 334.70
15.00 %	EQUIPO DE MEDICIÓN, SEGURIDAD Y HERRAMIENTA.		N\$ 50.21
		T O T A L	N\$ 384.91

RENDIMIENTO = .125 KM/TNO.

N\$ 384.91 / TNO
CARGO = $\frac{N\$ 384.91}{.125 \text{ KM / TNO}}$ = N\$ 3,079.24 / KM.

CARGO POR MANO DE OBRA = N\$ 3,079.24 / PZA

II. MAQUINARIA

CANTIDAD	MAQUINA O EQUIPO	COSTO/HORA ACTIVO	COSTO/ HORA INACTIVO
1.00	CAMIONETA ESTACAS 3 TON.	N\$ 20.000	N\$ 8.000
1.00	NIVEL TOPOGRÁFICO	N\$ 10.000	N\$ 2.000
S U M A		N\$ 30.000	N\$ 10.000

CARGO = $\frac{(N\$ 30.00/HORA)(4.00 \text{ HR/TNO}) + (N\$ 10.00/HORA)(4.00 \text{ HORA/TNO})}{.125 \text{ KM/TNO.}}$

CARGO POR MAQUINARIA = N\$ 1,280.00 /KM.

R E S U M E N

CARGO MANO DE OBRA = N\$ 3,079.24 /KM
CARGO POR MAQUINARIA = N\$ 1,280.00 /KM
COSTO DIRECTO = N\$ 4,359.24 /KM
42.00 % INDIRECTO Y UTILIDAD = N\$ 1,830.88 /KM
PRECIO UNITARIO = N\$ 6,190.12 /KM

NOTA: Los costos por categoría fueron obtenidos de un tabulador que manejaba la compañía constructora Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V. (I.C.A.), la cuál tuvo a su cargo la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa. Estos costos están en función de la zona de trabajo y actividad a realizar. Los análisis anteriores, se presentan como un modelo que ejemplifica la forma en que se integran los costos y precios unitarios a las diferentes actividades topográficas que se realizan en este tipo de obras.

III.2 ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS TOPOGRÁFICOS PARA LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO.

III.2.1 TOLERANCIAS

Tolerancia es el error máximo admisible en la medida de ángulos, distancias y desniveles.

TEORIA DE LOS ERRORES

Al hacer varias observaciones de una cantidad (medición de ángulos o medición de distancias), se obtienen en general valores diferentes a causa de los Errores Accidentales.

Suponiendo que se hagan (n) medidas, se tiene lo siguiente:

	VALOR OBTENIDO	ERRORES
1ª Medida	a_1	$e_1 = M - a_1$
2ª Medida	a_2	$e_2 = M - a_2$
3ª Medida	a_3	$e_3 = M - a_3$
·	·	·
·	·	·
n Medida	a_n	$e_n = M - a_n$

$$\text{Valor más probable} = M = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$

$$\Sigma \text{ Errores accidentales} = \text{Error total} = \pm e_1 \pm e_2 \pm e_3 \pm \dots \pm e_n$$

Para evitar la ambigüedad de signo, se eleva al cuadrado, y como los dobles productos se eliminan, pues con igual probabilidad pueden ser (+) ó (-) y su suma tiende a cero, se puede poner:

$$E_1^2 = e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2$$

Error medio cuadrático. Es el que se puede sustituir en todas las (e) dando la misma.

$$\dots E_r^2 = n E_m^2 \quad (1) \quad E_m^2 = \frac{E_r^2}{n} = \frac{\sum e^2}{n} ;$$

En lugar de (n) se pone (n-1) para generalizar la expresión, pues para el caso de una sola observación: $M = a_1$, y $e_1 = M - a_1 = 0$; y entonces resulta que $E_m^2 = 0$, lo cual no es verdad, pues en este caso el problema es indeterminado.

$$\text{Entonces:} \quad E_m^2 = \frac{\sum e^2}{n-1} ; \quad E_m = \frac{\sum e^2}{n-1}$$

Y así, para una sola observación resulta 0/0 que es el símbolo de la indeterminación.

$$\text{Error medio del promedio} \rightarrow E_o = \frac{E_m}{\sqrt{n}} ; \quad E_o = \frac{\sum e^2}{n(n-1)}$$

Error probable de la serie de observaciones, según Teoría de los Errores:

$$E_p = 2/3 E_o$$

Finalmente se obtiene el valor de la precisión lograda en la serie de medidas:

$$\text{Precisión} \rightarrow P = \frac{E_p \text{ (Error probable)}}{M \text{ (Valor más probable)}}$$

La precisión se acostumbra darla como una fracción cuyo numerador es la unidad; para lo cual se pone:

$$P = \frac{1}{\frac{M}{E_p}}$$

En esta forma se puede ver claramente que habrá una unidad de error por cada cierto número de unidades medidas.

También se tiene que :

$$\frac{\text{Error probable de una observación}}{E_p} = \sqrt{n}$$

De la ecuación (1) se obtiene que: $E_r = \sqrt{n}$

Esta ecuación es aplicable a toda clase de medidas, y se interpreta de la siguiente manera:

En una serie de medidas, el error residual que no se compensó, es proporcional a la raíz cuadrada del número de oportunidades de que ocurra el error medio, o sea el número de observaciones.

También se considera que la tolerancia o error máximo admisible es $2E_r$, pues sólo hay 5 % de probabilidades de que ocurra un error doble del medio, según el Cálculo de Probabilidades.

Todo lo anterior supone que las medidas fueron hechas en igualdad de circunstancias, es decir, que todas las medidas tienen igual peso. Peso es el grado de confianza que se le da a una medida.

Para cada medida, el Peso puede asignarse arbitrariamente ó puede ser el resultado del número de observaciones, y también puede ser una combinación de ambas circunstancias.

III.2.2 BATIMETRIAS

BATIMETRIA.- (Del griego βάθος → profundo, y μέτρον → medida) Es el arte de medir las profundidades del océano, de los mares, de los lagos, lagunas y grandes ríos. Estas medidas se basan en el principio de sondeo. Los propósitos más importantes de este trabajo para el caso del P.R.H. San Rafael, son los siguientes:

A) El de medir la cantidad y flujo de agua en conexión con el Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa.

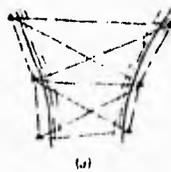
B) Determinación del perfil del fondo del Río Santiago, por sondeos y usando alambres barredores finos.

C) Levantamiento de todas las irregularidades en el río, rocas, bancos de material, etc., por métodos normales de levantamiento.

Control Vertical. Cerca de la línea de costa se debe establecer una red de bancos de nivel, los cuales sirven para establecer y controlar los medidores de flujo, etc. a los que se referencian los sondeos.

Control Horizontal. Cuando se hacen sondeos en el río, la ubicación de la lancha de sondeo se hace con referencia a puntos de control ubicados en las márgenes del río, y la ubicación de esta red de control es de lo más importante.

Durante el levantamiento de un área pequeña del río, la lancha normalmente navega a lo largo de una serie de líneas paralelas espaciadas uniformemente (de 2 a 5 m) que cubren el área y a intervalos predeterminados de tiempo, se registra la profundidad del río y la posición de la lancha. Para esteros, ríos y lagunas, se deben emplear redes como las que se muestran en la figura siguiente.



III.2.2.1 TRAZO

Consiste en el establecimiento de un eje de apoyo de una longitud adecuada, por la margen izquierda ó por la margen derecha según convenga, cadeneado a cada 20.00 m dejando trompo y estaca testigo.

Dicho eje debe ser una poligonal cerrada o abierta, partiendo de un punto coordinado y cerrando en otro punto coordinado.

$$\text{Tolerancia angular} \rightarrow Ta = \sqrt{n}$$

$$\text{Tolerancia lineal} \rightarrow Tl = 1/3000$$

III.2.2.2 NIVELACION

Consiste en llevar una nivelación de perfil por el eje de apoyo sobre cada estación a cada 20 m, de ida y regreso, con nivel fijo y estatal, partiendo de un Banco de Nivel designado por Comisión Federal de Electricidad (CFE).

$$\text{Tolerancia} \rightarrow \pm 0.02 \text{ m } \sqrt{k}$$

donde k = Kilómetros nivelados de ida y regreso.

SECCIONAMIENTO .- Levantamiento de secciones transversales batimétricas con estatal y/o con distanciómetro.

$$\text{Tolerancias} \rightarrow \text{Cierre lineal} = 1/500$$

$$\text{Cierre en desnivel} = 1/2000 \text{ de la distancia horizontal}$$

El Contratista, presentó los planos originales a la escala que indicó CFE, copias de los registros de campo, de trazo, nivelación, secciones y planillas de cálculo.

En la fig. 3.1 se presenta un registro de campo como ejemplo de las Batimetrías que se hicieron para los Bancos de extracción de material en San Rafael; corresponde a un levantamiento batimétrico del Banco San Rafael III. Fueron entregadas 6 libretas de campo a CFE con el título: " Batimetrías ".

Fig. 3.1

LEVANTAMIENTO BATIMETRICO DEL BANCO DE EXTRACCION SAN RAFAEL III						
METODO: <u>POR RADIACIONES</u> EQUIPO: TEODOLITO T1, ESTADALES Y BATOMETRO						
LEVANTO: <u>DRECA S.A. DE C.V.</u> FECHA : <u>23 / AGOSTO / 1993.</u>						
EST.	P.V.	⊙	H.M.	H.S.	D.H.	SONDEO
1+000	0+800.00	00°00'00"				
	1	120°37'18"	2.510	2.951	88.00	-4.40
	2	129°41'49"	2.485	2.992	102.00	-2.50
	3	130°02'25"	2.463	3.055	118.00	-2.30
	4	153°12'44"	2.556	2.974	84.00	-3.70
	5	151°40'50"	2.624	3.152	106.00	-3.00
	6	153°02'47"	2.540	3.138	118.00	-2.50
	7	178°11'09"	2.566	3.072	102.00	-3.20
	8	174°05'21"	2.571	3.165	118.00	-3.70
	9	169°02'41"	2.520	3.241	144.00	-2.40
	10	185°06'12"	2.672	3.344	134.00	-3.50
	11	181°45'09"	2.721	3.450	146.00	-2.00
	12	178°19'23"	2.687	3.552	174.00	-2.90
	13	200°33'55"	2.503	3.402	180.00	-1.00

⊙ = Angulo horizontal
H.M. = Hilo medio
H.S. = Hilo superior
D.H. = Distancia horizontal

III.2.3 SECCIONES TRANSVERSALES

Se llama sección transversal, al perfil de terreno sobre una perpendicular a un eje longitudinal, en un punto o estación de cota conocida.

Las secciones transversales tienen como finalidad, el obtener los datos para conocer y representar gráficamente la configuración del terreno en una faja alrededor del eje longitudinal. A partir de un plano de comparación (cota de proyecto) se puede obtener el área de cada sección y en consecuencia, el volumen entre dos o más secciones.

La sección transversal se divide en dos partes (izquierda y derecha) a partir de un punto sobre el eje longitudinal, dicho punto sirve de origen para las medidas a la izquierda y a la derecha del eje.

Las secciones transversales se clasifican en:

- Secciones en corte : definen una excavación.
- Secciones en terraplén: definen un relleno (colocación de material).
- Secciones en balcón: definen puntos de paso de corte a terraplén ó viceversa.

Para la construcción del P.R.H. San Rafael (Proyecto Regulador e Hidroeléctrico), las secciones transversales se clasificaron en: Secciones de terreno natural y Secciones de avance; ambas pueden ser en corte, ó en terraplén; según lo indique el perfil en el punto correspondiente, en el cual se mide la diferencia de cotas o espesor de cada una (espesor del corte ó espesor del terraplén); las cuales resultaron fundamentales para cuantificar volúmenes ya sea de excavación, de colocación de material ó colocación de concreto (colados); y en base a ello determinar avances de obra y costos para fines de estimación.

PROCEDIMIENTOS DE CAMPO.

Para levantar las secciones de terreno natural, se colocan estacas ó se marcan puntos en roca, sobre el eje longitudinal a cada 20 m (en algunos casos se colocan puntos intermedios); cada punto o estaca es origen de medidas a la izquierda y a la derecha del eje, siguiendo el sentido que lleva el kilometraje. El nivelador se para sobre el punto o estaca y alinea con sus brazos al estadalero sobre una normal al eje longitudinal. El estadalero se desplaza sobre el terreno, siempre sobre la normal y el nivelador va obteniendo las lecturas en cada uno de los puntos que juzgue necesarios. Como se trata de obtener la configuración del terreno se hace la lectura en los puntos que determinen las características principales del terreno, generalmente se toman los cambios bruscos de pendiente. Al mismo tiempo que se hace la lectura en el estadal, se obtiene la distancia horizontal medida apartir de la estaca o punto de estación al punto visado. Por lo general este procedimiento se aplica para la construcción de caminos.

Para el desplante de las obras que integran el P.R.H. San Rafael, se trazó una cuadrícula de 20 m x 20 m que abarcó toda el área de construcción, se manejaron cadenamientos en los dos ejes (X , Y), correspondiendo al eje longitudinal de la cortina (dirección N → S) el cadenamiento $X = 0+300.000$ y en " Y " (dirección E → W) del cadenamiento $Y = 0+000.000$ al $Y = 0+515.91$; el trazo de esta cuadrícula se hizo con taquímetro TC 500; apartir del eje de la cortina, que es la línea base de referencia para la construcción de las obras.

Definida la cuadrícula, el levantamiento de las secciones transversales de terreno natural se hizo de manera similar al que se hace para la construcción de caminos, la diferencia es que se utilizó nivel fijo, y se levantaron las normales al eje longitudinal trazadas previamente; haciendo pocas estaciones.

III.2.3.1 SECCIONAMIENTO DE TERRAPLENES

La constructora seccionaba el terreno natural para cuantificar el volúmen del terraplén; y replanteaba los ceros del terraplén; la supervisión verificaba los seccionamientos, levantando las mismas secciones que la constructora levantaba, para su posterior conciliación, verificando también los ceros del terraplén y su referenciación.

El control topográfico y su verificación durante la construcción de los terraplenes, incluye las operaciones de Trazo, Nivelación de perfil y Nivelación diferencial para control de espesores de capa, chequeo del hombro del terraplén e inclinación del talud.

El control del avance del terraplén en las obras de desvío se verificaba con distanciómetro, por el método de puntos aislados, a partir de un punto fijo llamado base de coordenadas (X , Y , Z) conocidas, situado sobre un eje de referencia.

Las tolerancias para el seccionamiento de terraplenes fueron las siguientes:

Tolerancia angular $\rightarrow T = \pm 1''$

Tolerancia lineal $\rightarrow T = 1/3000$ (de la distancia horizontal)

Tolerancia para determinar espesor de capa $\rightarrow T_{ep} = \pm 0.01$ m.

Las secciones se dibujaron sobre papel milimétrico opaco a escala 1:200 y se presentaban copias (como las que se muestran en el punto III.1.3) mensualmente a Comisión Federal de Electricidad.

III.2.3.2 SECCIONAMIENTO EN EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO

La supervisión hacía la verificación del seccionamiento del terreno natural para cuantificar el volúmen de excavación; así como la verificación del replanteo de los "ceros" de la excavación y su referenciación.

La contratista establecía ejes de apoyo con trompos y estacas testigo a cada 20 m.; cada eje se encontraba amojonado en sus extremos ó replanteado desde una mojonera patrón cada vez que se requirió. Dichos ejes eran verificados por la supervisión.

El control topográfico y su verificación durante la excavación incluye las operaciones de Nivelación de perfil y Nivelación diferencial. La verificación del seccionamiento se lleva de manera similar a la descrita en el punto anterior.

Las tolerancias para el seccionamiento en excavaciones a cielo abierto son las siguientes:

Tolerancia angular → $T_a = \pm 1.5'$

Tolerancia lineal → $T_l = 1/1000$

En la determinación de elevaciones del T.N. (Terreno natural) = ± 0.01 m.

Las secciones se dibujaron a escala 1:200, sobre papel milimétrico opaco, presentando una copia mensualmente a CFE, o cada vez que Comisión lo hubiera requerido. Los formatos de registro para las secciones y cálculo de volúmenes, son iguales a los que se presentan en el punto III.2.4.

En la figura 3.2 se muestra un registro de campo: " Levantamiento de secciones de avance (Colocación de concreto para reposición de roca, aguas abajo del eje de cortina) paralelas al eje de cortina, en Obra de Contención ", que ilustra la manera en que se llevaron a cabo estos trabajos, para todas las obras en sus diferentes etapas de construcción se llevaron los registros de secciones de manera similar; todas las secciones eran conciliadas por el contratista y el supervisor, firmando ambas partes de común acuerdo en las libretas de campo y posteriormente, en los formatos de apoyo para las estimaciones.

FIG. 3.2 REGISTRO DE SECCIONES

ESTRUCTURA <u>CORTINA</u>									
TRAMO <u>AGUAS ABAJO DEL EJE DE LA CORTINA</u> DE km <u>X=0+302</u> A km <u>X=0+330</u>									
SUBTRAMO <u>ORIGEN Y=0+162.132</u>									
IZQUIERDA			CL	DERECHA					
DISTANCIA HORIZONTAL DE LA EST. AL P.V.			EJE	DISTANCIA HORIZONTAL DE LA EST. AL P.V.					
LECTURA DEL ESTADAL EN EL P.V.			ESTACION	LECTURA DEL ESTADAL EN EL P.V.					
ELEVACION DEL P.V. (PUNTO VISADO)				ELEVACION DEL P.V. (PUNTO VISADO)					
6 00	3 90	2 20	Y=0+162 132	0 00	1 20				
0 00	0 60	1 22	X=0+302 000	1 81	2 12				
46 28	45 68	45 05	46 28	44 47	44 16				
6 50	4 20	2 10	Y=0+162 132	0 00	1 00				
0 10	0 88	1 54	X=0+304 000	2 04	2 30				
46 18	45 40	44 74	46 28	44 24	43 98				
6 70	4 40	2 20	Y=0+162 132	0 00	1 20				
0 07	0 81	1 56	X=0+308 000	2 18	2 53				
46 21	45 47	44 72	46 28	44 10	43 75				
6 50	5 30	4 70	2 50	2 00	Y=0+162 132	0 00	1 10		
0 05	0 34	0 82	1 23	1 45	X=0+308 000	2 18	2 54		
46 23	45 94	45 66	45 05	44 83	46 28	44 10	41 74		

NOTAS	P.O. → B.N 5	= 47 000	CL → Centro de Línea
	Lectura (+)	= 0 720	
	Altura de aparato ()	= 46 280	

Seccionó	<u>BICONSA</u>	Revisó	<u>CYTI DE MEXICO</u>	Aprobó	<u>CYTI DE MEXICO</u>
Fecha	<u>08 / JUNIO / 1994</u>	Fecha	<u>08 / JUNIO / 1994</u>	Fecha	<u>08 / JUNIO / 1994</u>

A continuación se muestra un croquis de localización de la zona seccionada.



PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL

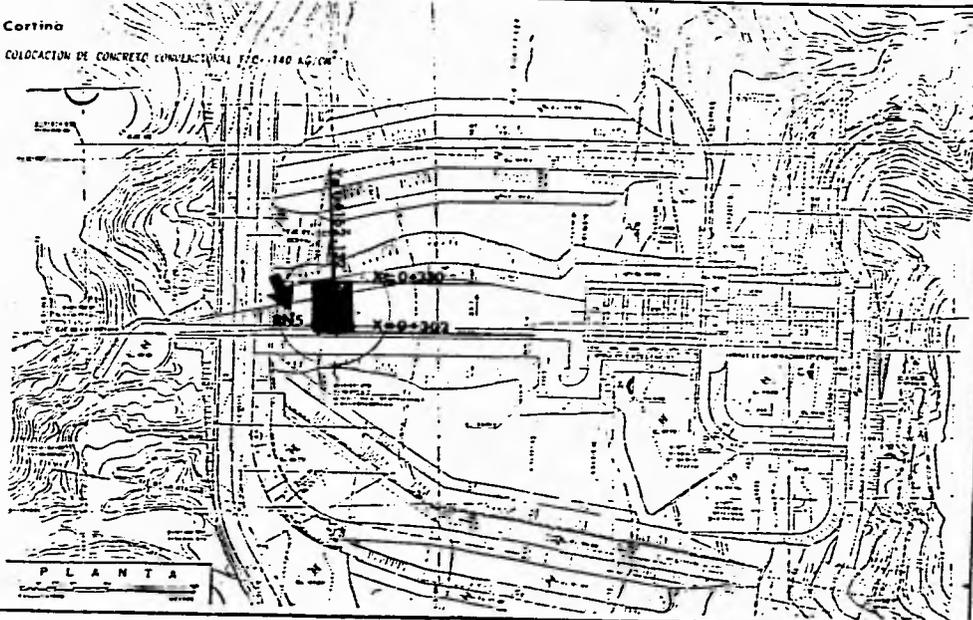
ANALISIS DE NUMEROS GENERADORES



PROYECTO SAN RAFAEL - REGIMEN DE EMISION DE HIDROELECTRICA
ESTADO A ... 07
FECHA DEL 01 DE JUNIO DE 1994 al 30 DE JUNIO DE 1994
CONTRATO BUETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.

FRENTE : Cortina

CONCEPTO NO. 46 - COLOCACION DE CONCRETO ESTRUCTURAL 170'-140' A.C.T.M.



SUPERVISOR CIVIL
DATE: M. 1994
ING. JESUS RIVERA TORRES

Area seccionada

SECRETOR
ING. MARIA ALVARADO GARCIA

III.2.3.3 CALCULO DE AREAS

AREAS DE LAS SECCIONES

Como las secciones se dibujaron a igual escala horizontal como vertical, las áreas de dichas secciones fueron determinadas mecánicamente con planímetro polar; este procedimiento es útil, especialmente cuando la superficie que se necesita determinar esta limitada por un perímetro irregular formado por curvas y rectas, y a veces sin forma muy precisa.

Otros sistemas prácticos que pueden emplearse para la determinación de áreas de secciones, son los siguientes:

A) Se cuentan materialmente los cuadros del papel milimétrico que están comprendidos dentro de la sección. Los medios centímetros representan metros cuadrados y después se cuentan los milímetros y quintos de metro, con lo cual agrupándolos, se tendrá el área aproximada a 1/5 de m².

B) Se divide la superficie verticalmente en fajas del mismo ancho con líneas verticales separadas entre sí una cantidad constante (K). Mientras más cercanas estén dichas líneas, la aproximación aumentará. La separación puede ser de 2 a 4 mm ; entonces el área de la sección se calcula de la siguiente manera:

$$A = K (\Sigma L)$$

Donde: K = Separación constante entre líneas verticales
 ΣL = Suma de las longitudes de las líneas verticales

Prácticamente se puede facilitar esto con una tira de papel, en la cual se van marcando sucesivamente las longitudes de las líneas y al acabar se mide toda la longitud acumulada que será (ΣL).

III.2.3.3.1 USO DEL PLANIMETRO POLAR

El planímetro es un instrumento que se utiliza para medir superficies de figuras planas. Hay dos clases de planímetros: polar y rodante.

El planímetro polar está formado por dos brazos unidos por un eje (Fig. 3.3): uno que se denomina brazo polar que lleva el punto fijo o polo P, y el otro que se llama brazo trazador y tiene marcada una graduación G para ajustar su longitud, según la escala del dibujo, y en su extremo lleva la punta trazadora T.

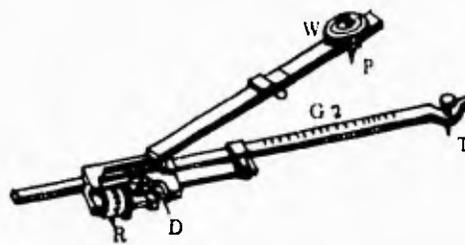


Fig. 3.3

El planímetro se apoya en tres puntos: el polo P, el rodillo R y la punta trazadora T. El tambor del rodillo está dividido en 100 partes y en contacto con un vernier V que va fijo a la armadura del planímetro. Por medio de un tornillo sinfín, el rodillo cuando gira hace girar al disco graduado D en la relación 10:1. El número completo de vueltas del rodillo se lee en el disco D por medio de un índice; los centésimos de vuelta del rodillo los indica la lectura del tambor en el índice del vernier V; y los milésimos se obtienen por la lectura del vernier.

REGLAS PRACTICAS PARA EL USO DEL PLANIMETRO

1. El rodillo debe girar libremente y sin sacudidas.
2. La superficie sobre la cual se mueve el planímetro debe ser plana horizontal y perfectamente pulida.
3. Con la punta trazadora se seguirá el perímetro, en sentido retrógrado colocando el ojo en la parte superior.
4. No debe dirigirse la punta trazadora a lo largo de una regla, porque la compensación de errores en este caso es menor que procediendo de la otra manera.
5. Cuando al recorrer el planímetro se desvíe el trazador o se pasa de último vértice, debe retroceder siguiendo el mismo camino, anulándose en esta forma el error.

DETERMINACION DE AREAS

Cuando se van a determinar áreas de secciones transversales, se coloca la aguja del polo sobre el papel en el punto que convenga y se mantiene en su posición mediante el peso W.

A continuación se coloca la punta trazadora en un punto definido del perímetro de la sección, y se hace una lectura inicial. Luego se recorre el perímetro hasta que la punta trazadora vuelve a quedar en su posición original, y se toma una lectura final. El recorrido del perímetro con la punta trazadora se ejecutará en el sentido de movimiento de las manecillas del reloj.

La diferencia entre la lectura final y la inicial es el número n de revoluciones del rodillo.

$$n = L_f - L_i$$

en la que n es positiva si la rotación es hacia adelante y negativa si es hacia atrás.

Cuando el polo queda fuera de la figura y el planímetro hace el recorrido en el sentido de las manecillas del reloj, la lectura final L_f será mayor que la inicial L_i , y n será positiva.

El área A de la sección es directamente proporcional al número de revoluciones del rodillo:

$$A = nK = (L_2 - L_1)K$$

El factor de proporcionalidad K se llama **CONSTANTE DEL PLANIMETRO**. El valor de K es igual al producto de la longitud del brazo trazador por la circunferencia del rodillo.

Cuando el brazo trazador se sostiene en tal posición con relación al brazo polar, que el plano del rodillo pasa por el polo, la punta trazadora puede describir una circunferencia sin que el rodillo se mueva y, por tanto, no se registra el área. A este círculo cuya área no se registra, se le llama **círculo del cero**. A esto se debe que si el polo del planímetro se coloca dentro de la sección cuya área se desea determinar, la diferencia de lecturas que se obtiene únicamente, corresponde al área que queda fuera del círculo del cero. Además las lecturas resultan positivas si la rotación del rodillo es hacia adelante y el área de la sección es mayor que el círculo del cero; y negativas cuando la rotación del rodillo es hacia atrás y el área de la sección es menor que la del círculo del cero.

El área del círculo del cero se puede determinar recorriendo el perímetro de una sección, una vez con el polo fuera de la sección y otra con el polo fuera de ella.

La primera operación da el área de la sección:

$$A = n \cdot K$$

y la segunda da un área:

$$A' = n'K$$

que representa la diferencia entre el área de la sección y la del círculo del cero:

$$\text{Área del círculo del cero} = nK - n'K = (n - n')K$$

$n' > 0$, si: $A > \text{Área del círculo del cero}$

$n' < 0$, si: $A < \text{Área del círculo del cero}$.

según la dirección de rotación del rodillo.

Por lo anteriormente expuesto, se considera más conveniente determinar las áreas, colocando el polo fuera de la sección. Si ésta es mayor que la que puede trazarse en una operación, se puede dividir en figuras pequeñas y determinar por separado sus áreas.

Determinación de la constante del planímetro

Se puede determinar el valor de la constante del planímetro recorriendo el perímetro de una figura de área conocida, con la punta trazadora.

La operación de preferencia, debe repetirse unas cinco veces y utilizarse el promedio.

De la fórmula:

$$A = (L_2 - L_1)K$$

se deduce:

$$K = \frac{A}{(L_2 - L_1)}$$

El valor de la constante K del planímetro se obtiene dividiendo el área conocida A entre la diferencia de lecturas tomadas al iniciar el recorrido del planímetro y al final del recorrido.

Los constructores de estos instrumentos dan una tabla en la que se indican las constantes para diferentes longitudes del brazo trazador y para diversas escalas.

III.2.3.4 CALCULO DE VOLUMENES

Conocidas las áreas de todas y cada una de las secciones, se procede a calcular los volúmenes; ya sea de terracerías, de excavación, de colocación de concreto, etc.; el volumen se calcula por tramos entre secciones consecutivas, lo cual puede hacerse por la fórmula del prismoide:

$$V = \frac{d}{6} (A_1 + 4A_m + A_2)$$

Donde: $d \rightarrow$ es la distancia entre las dos secciones extremas del prisma.

A_1 y $A_2 \rightarrow$ son las áreas de dichas secciones.

$A_m \rightarrow$ el área de una sección cuyas dimensiones son el promedio de las dimensiones de las secciones extremas (A_m no es el promedio de A_1 y A_2).

Esta fórmula se puede aplicar para cualquier caso que requiera la determinación de volúmenes de prismas irregulares, pero en los estudios de vías de comunicación se puede aplicar una fórmula más sencilla, aunque menos aproximada, y que en general da valores más grandes para los volúmenes:

$$V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2)d \dots (I)$$

Como en la mayoría de los casos la distancia (d) vale 20 m, se tiene entonces:
 $V = (A_1 + A_2)10$ } volumen entre secciones separadas 20 m. Cuando se trate de volúmenes entre secciones especiales que no disten 20 m una de la otra, debe aplicarse la fórmula general (I).

III.2.4 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.

LEVANTAMIENTO es el conjunto de operaciones y medios puestos en práctica para determinar las posiciones de puntos del terreno y su representación en un plano.

LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS son los que se extienden sobre una porción relativamente pequeña de la superficie de la Tierra, que sin error apreciable; se considera como si fuera plana. Las dimensiones máximas de las zonas representadas en los planos topográficos no superan en la práctica los 30 km de lado, correspondientes aproximadamente a un círculo de 30 km de diámetro, límites dentro de los cuales se puede hacer abstracción de la curvatura de la superficie terrestre.

Los levantamientos topográficos por su calidad se dividen como sigue:

- * **PRECISOS**, que se ejecutan a través de triangulación o poligonales de precisión. Se emplean para fijar los límites entre naciones o estados, en el trazo de ciudades, etc.
- * **REGULARES**, los cuales se realizan por medio de poligonales, levantadas con tránsito y cinta. Se usan para levantar linderos de propiedades, para el trazo de caminos, vías férreas, canales, ciudades pequeñas, etc., y en obras de saneamiento en las ciudades.
- * **TAQUIMÉTRICOS**, como su nombre lo indica, son levantamientos rápidos, en los cuales las distancias se miden por procedimientos indirectos. Se emplean en trabajos previos al trazo de vías de comunicación, en trabajos de configuración y de relleno, y también para la formación de planos a pequeña escala.
- * **EXPEDITIVOS**, efectuados con aparatos portátiles, poco precisos como: brújula, sextante, podómetro, telémetro, nivel de mano, clisímetro, etc., y cuando no se dispone de aparatos, se ejecutan a ojo o por informes descriptivos.

Las especificaciones para el levantamiento de un edificio, una plantilla de anclaje, una plantilla de placas de asiento, etc.; se encuentran en los conceptos respectivos.

El levantamiento topográfico comprende las actividades siguientes:

- a.- Trazo de un eje de apoyo para seccionar, cada 20, 10 ó 5 m con trompo y estaca testigo.
- b.- Nivelación diferencial, de ida y regreso hasta un punto del eje.
- c.- Nivelación de perfil de cada estación del eje.
- d.- Secciones transversales de terreno natural
- e.- Cálculo y representación gráfica a la escala que indique CFE.

TOLERANCIAS.

TRAZO: Tolerancia angular $\rightarrow Ta = 1'\sqrt{n}$
Tolerancia lineal $\rightarrow Tl = 1/3000$

NIVELACION DIFERENCIAL (Ida y Regreso): $T = \pm 0.006m \sqrt{k}$
donde K = número de kilómetros nivelados de ida y regreso.

NIVELACION DE PERFIL : En estaciones $\rightarrow T = \pm 0.01 m$
En puntos de liga $\rightarrow T = \pm 0.006m \sqrt{n}$

SECCIONES TOPOGRAFICAS : Tolerancia lineal $\rightarrow T = 1/500$

A continuación se muestran los formatos oficiales para el control de registros de Trazo, de Nivelación, de secciones y de cálculo de áreas y volúmenes, especificados por CFE (Fig. 3.3 , 3.4, 3.5 y 3.6 respectivamente).

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION

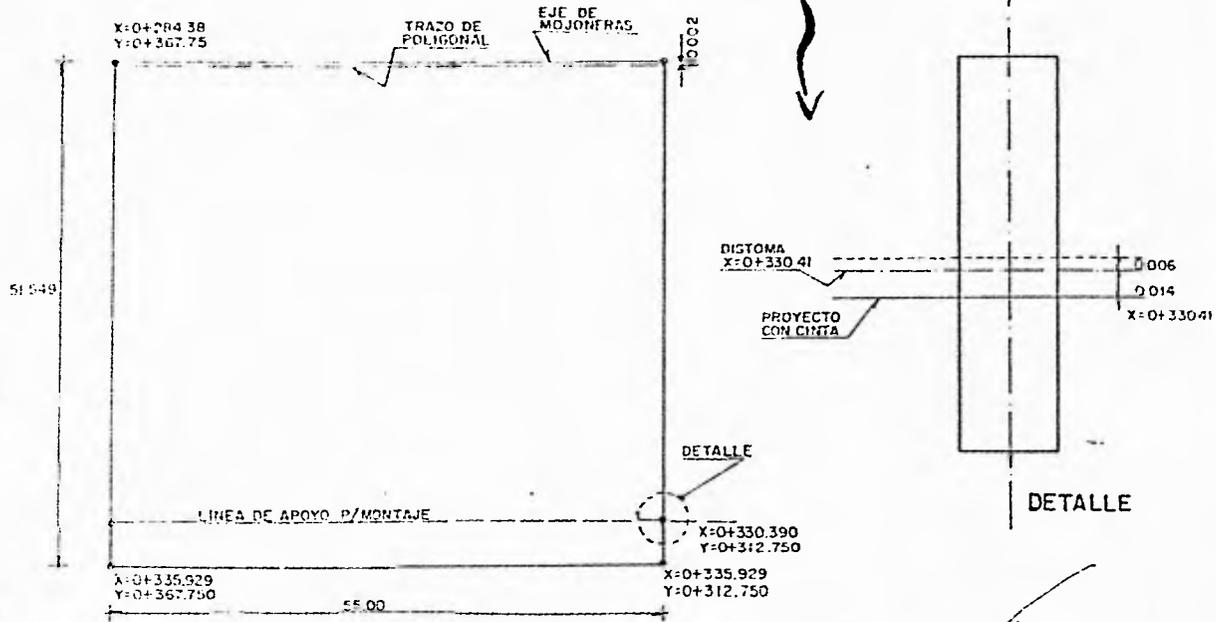
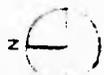
Para cada frente de trabajo se levantaron poligonales de apoyo, es decir, cada obra contó con puntos de control; los principales puntos de control son aquellos que conforman los ejes principales de las obras; se estableció una red de puntos de control para todo el proyecto. (tabla 3.7)

TABLA 3.7 COORDENADAS DE LOS PRINCIPALES PUNTOS DE CONTROL PARA CADA OBRA DEL P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

FRETE	PUNTO	COORDENADAS		ELEV.	CAD.	LOCALIZACION
		Y	X			
OBRAS DE DESVIO	D1	96 939.156	121 499.210	47.000	0+000.000	M.I.
	D2	96 886.974	121 598.506	46.752	0+112.172	M.I.
	D3	96 896.976	121 850.000	46.304	0+363.864	M.I.
	D4	96 945.037	121 926.092	46.000	0+451.773	M.I.
	A1	96 800.000	121 621.000	63.000	0+000.000	M.I.
	A2	97 240.000	121 532.000	77.850	0+448.911	M.D.
	a1	96 800.000	121 808.908	88.500	0+000.000	M.I.
	a2	97 200.000	121 792.998	64.000	0+396.720	M.D.
OBRA DE CONTENCION	C1	96 777.000	121 702.000	88.103	0+000.000	M.I.
	C2	97 292.500	121 681.500	103.215	0+515.910	M.D.
	C3	96 800.000	121 621.000	48.822		A/A VERTEADOR
OBRA DE TOMA	T1	97 270.000	121 623.500	89.705	0+000.000	M.D.
	T2	97 146.000	121 630.000	46.654	0+120.000	A/A VERTEADOR

Para la obra de control y excedencias, se levantó una poligonal de apoyo (Fig. 3.6) para la localización de los ejes de cada una de las pilas, así como de la línea de apoyo para montaje (Obra electromecánica). Para este levantamiento se utilizó un teodolito T2 de 1" de aproximación, un distanciómetro y cinta métrica de acero.

OBRA DE EXCEDENCIAS
POLIGONAL DE APOYO



M. J. Juárez
M. J. JUÁREZ
SUPERVISIÓN, C.Y.T.I.
17/03/94

M. Edgar García
ING. M. EDGAR GARCÍA
TOPOGRAFIA D.U.S.G.E.N.
14.05.94

SOLACHE
TOPOGRAFIA B.I

M. Margarito Ortiz Ch.
ING. MARGARITO ORTIZ CH
TOPOGRAFIA B. I.
14-05/94

III.2.4.1 CONFIGURACION

REPRESENTACION ALTIMETRICA

Los detalles altimétricos en topografía se representan por medio de signos o símbolos cuando se trata de representar detalles geomorfológicos o del terreno; sin embargo, para usos generales en la ingeniería, la representación altimétrica se hace mediante líneas de nivel (Curvas de nivel o isohipsas), es decir, cada línea indica el nivel correspondiente y su forma dibujada en el plano indica su posición relativa en la planimetría.

La configuración tiene como finalidad la obtención de las coordenadas (X,Y,Z) de puntos que nos definan el relieve del terreno para su posterior uso en la obtención de las curvas de nivel.

CURVA DE NIVEL

Definición.

1. Es la intersección de un plano horizontal con la superficie natural del terreno.
2. Es una línea que une puntos de igual cota.

A la distancia vertical que existe entre curvas de nivel se le denomina equidistancia y es variable según el uso que se le dé al plano, carta o mapa.

Existen 4 métodos de configuración conocidos:

- A) Por secciones transversales.- Representación de fajas de terreno.
- B) Por cuadrícula.- Representación de zonas casi planas,
- C) Por puntos aislados.- Medición indirecta de distancias
- D) Por fotogrametría.- Mediante fotografías aéreas restituidas fotogramétricamente.

Para los métodos A, B y C, se requiere de una ó varias poligonales de apoyo, ya sean abiertas o cerradas, según sea el caso; y para dibujar las curvas de nivel se requiere de métodos de interpolación.

Para el P.R.H. San Rafael, se utilizaron los cuatro métodos de configuración; se hizo un levantamiento aéreo-fotogramétrico y se configuró por el método de puntos aislados para los estudios de anteproyecto. Para las vialidades, se configuró por el método de secciones transversales a partir del eje de camino. Para las zonas de desplante de las estructuras principales: Cortina, Excedencias y Obra de Toma, se requirió de una configuración más precisa, por lo que se configuró por el método de cuadrícula y se procesó la información mediante un software llamado SURFER (Surface Representation) versión 4.15 .

III.2.4.1.1 PAQUETE SURFER (Versión 4.15)

SURFER es el nombre de un paquete de computación, que permite obtener gráficas en dos ó en tres dimensiones, las cuales pueden desplegarse en pantalla y ser enviadas a una impresora o plotter.

Es a través de una serie de menús que dicho paquete se maneja para obtener isolíneas o modelos digitales del terreno a partir de datos con coordenadas X,Y,Z. Muchos de los parámetros que se consideran cuentan con valores preestablecidos, pero existe la flexibilidad de asignar otros valores según las necesidades del usuario.

El paquete se compone de cuatro programas diferentes:

1) GRID. Crea una malla con espaciamientos regulares a partir de datos distribuidos aleatoriamente y genera un archivo con extensión *.GRD. Esta malla se emplea posteriormente en los programas TOPO y SURF y puede estar en formato ASCII o binario. Así mismo, el paquete puede recibir una malla creada por el usuario. Este programa cuenta con tres métodos de interpolación:

- * Distancia Inversa
- * Kriging
- * Mínima curvatura

2) TOPO. Genera un mapa con isoíneas a partir de la malla con datos interpolados , en archivos con extensión *.PLT .

3) SURF. Genera modelos del terreno (es decir, en tercera dimensión) también a partir de la malla con datos interpolados, en archivos con extensión *.PLT.

4) PLOT. Con este programa se envían los gráficos obtenidos a la impresora o plotter.

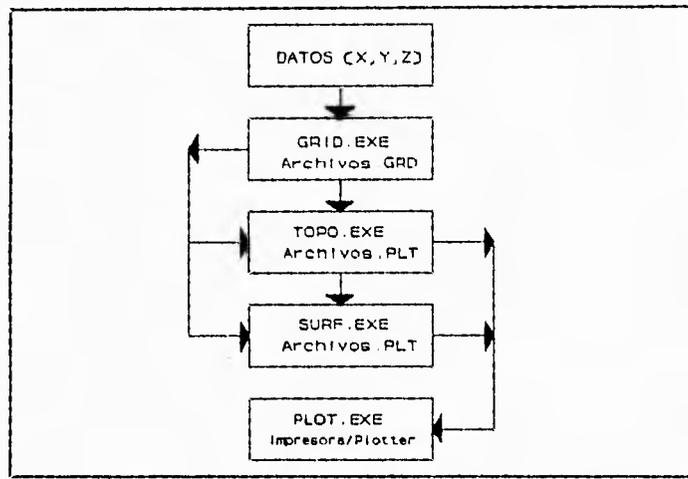


Fig. 3.7 Diagrama de flujo de SURFER

NOTA: Con este paquete, también se pueden calcular áreas y volúmenes.

El área de configuración que requirió más precisión, fue la del recinto de la cortina, ya que en esa zona se presentaban dos fallas geológicas asociadas a un sistema de fracturamiento paralelo, por lo que era necesario conocer a detalle la geometría del fondo del cauce. La configuración se hizo mediante una cuadrícula de 5 X 5 m; utilizándose para el trazo un teodolito T2 y para la nivelación diferencial por todos los puntos (Intersecciones de la cuadrícula) un nivel automático NA2; se calcularon las coordenadas X,Y,Z de todos los puntos y se procesó la información en SURFER. (Fig. 3.8, 3.9 y 3.10).

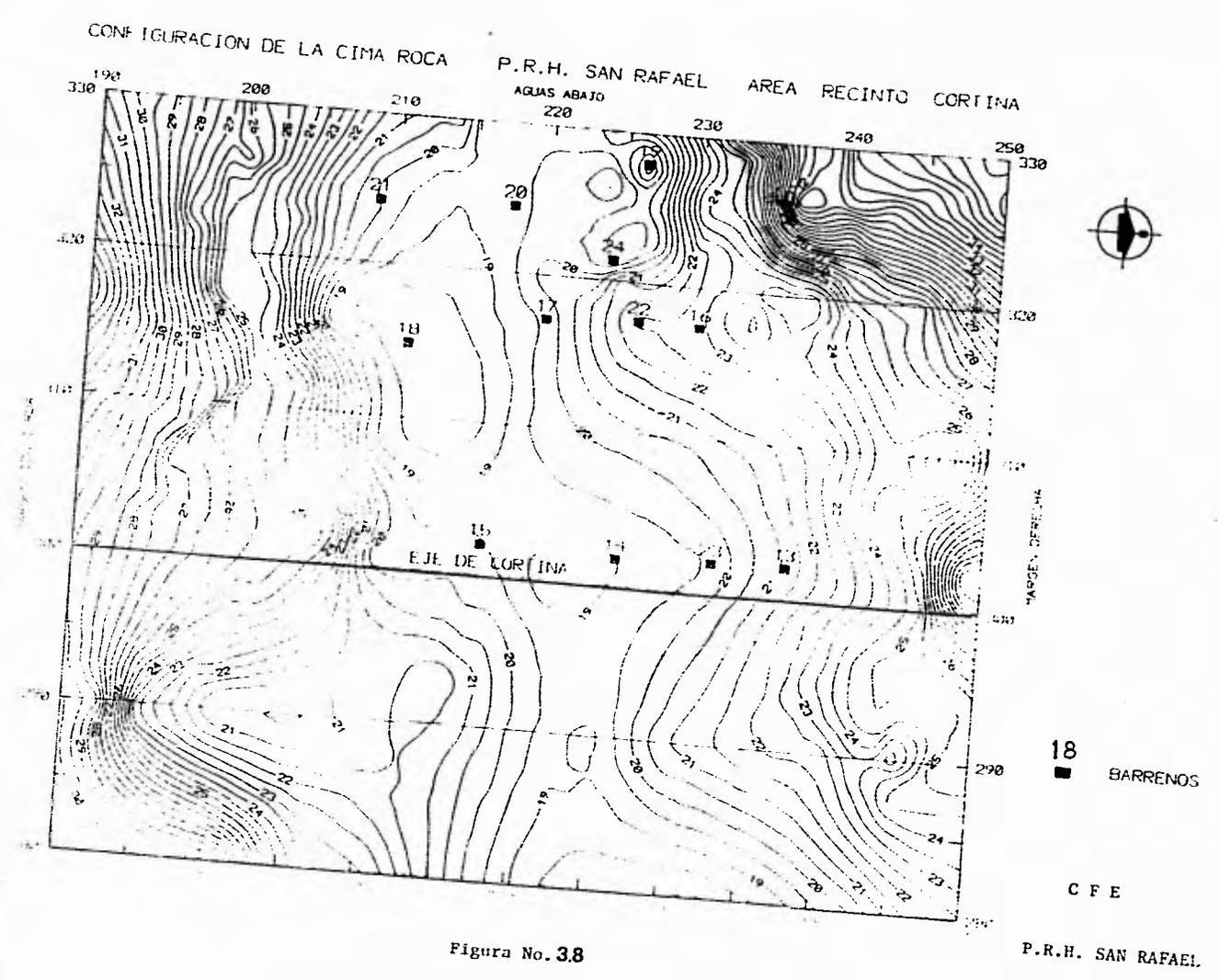


Figura No. 38

P.R.H. SAN RAFAEL
VISTA ORTOGRAFICA DE M.I. HACIA A. ARRIBA
AREA RECINTO DE CORTINA

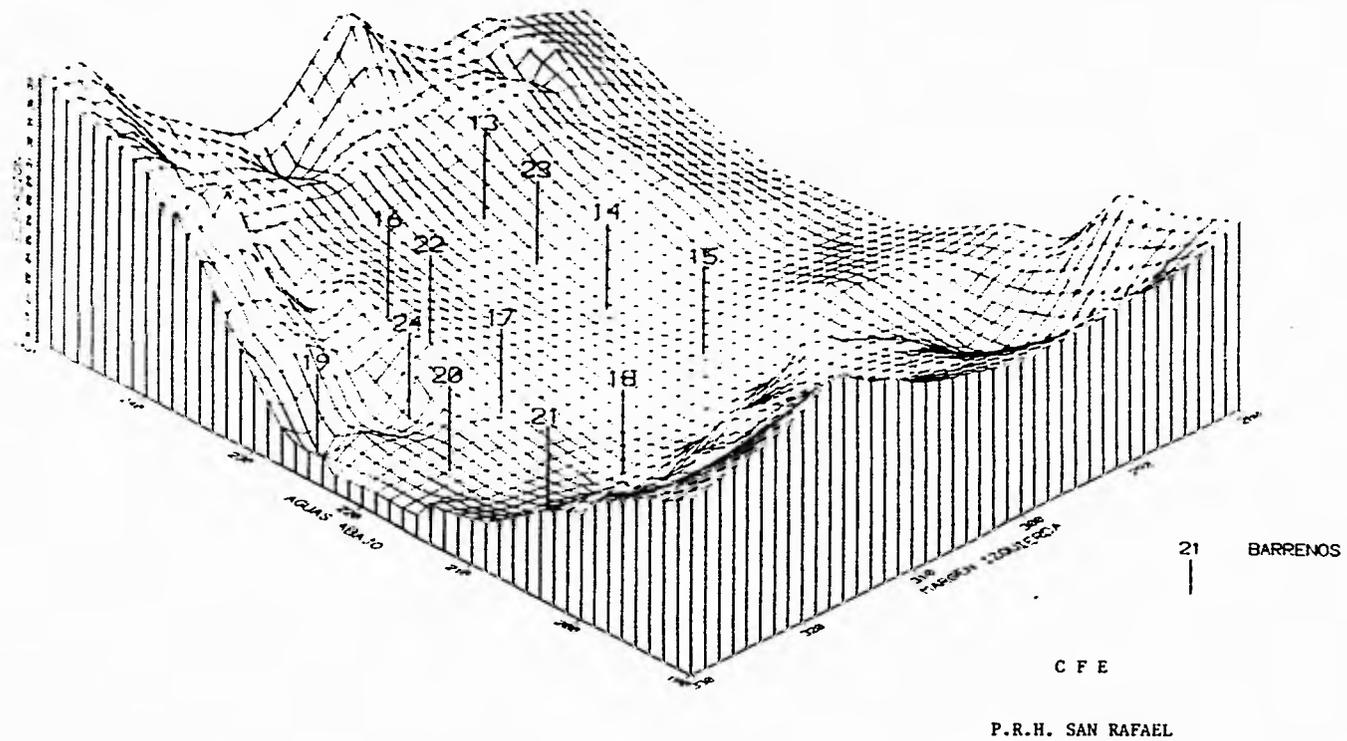


Figura No.39

P.R.H. SAN RAFAEL
VISTA ORTOGRAFICA DE M.I. HACIA A. ABAJO
AREA RECINTO DE CORTINA

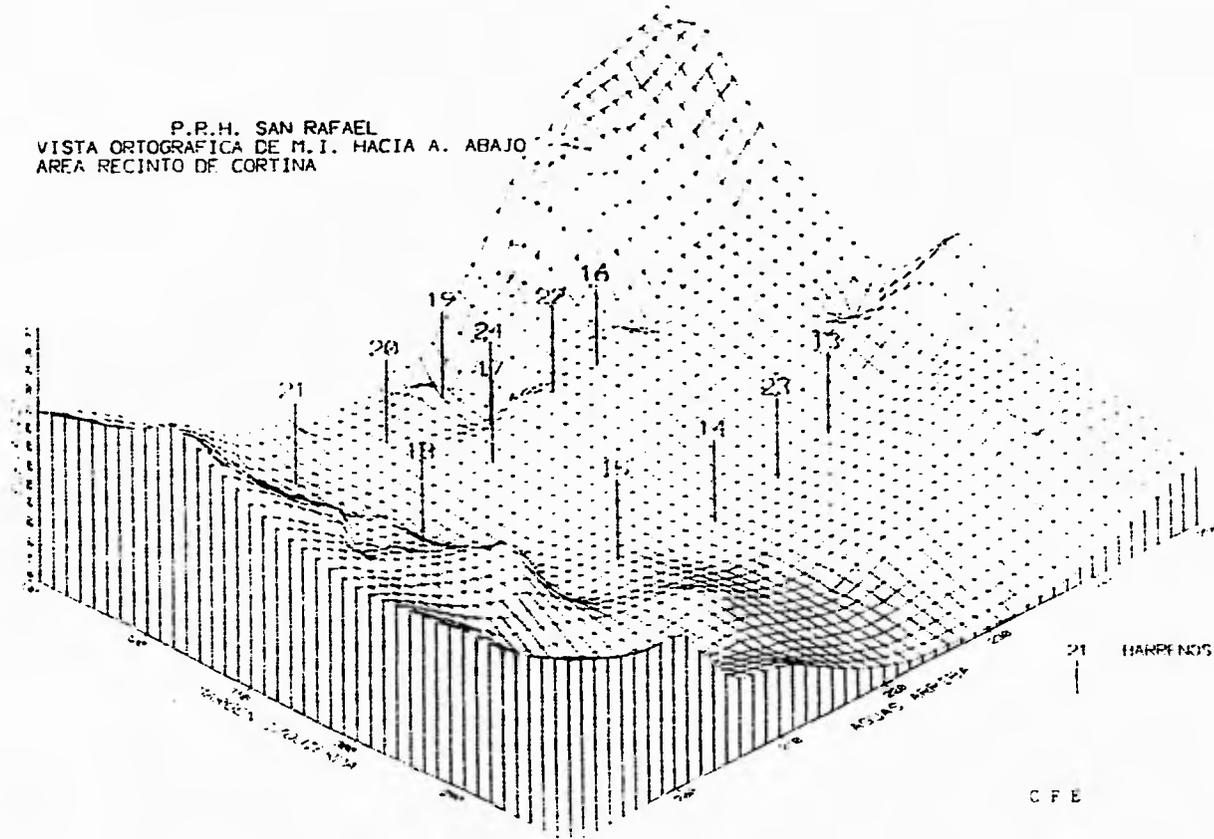


Figura No. 3.10

P.R.H. SAN RAFAEL

III.2.4.1.2 PROCEDIMIENTO DE CAMPO

En el recinto de la cortina, se trazaron las curvas de nivel a cada metro a partir de la elevación 18.00 m hasta la elevación 42.00 m. El trazo de las curvas de nivel se hizo sobre la roca con pintura vinílica en aerosol. Estas curvas de nivel sirvieron de referencia para el desplante de las losas de cimentación y colocación de CCR, además de servir como guías para cuantificar volúmenes de excavación en roca (Fig. 3.11)

PROCEDIMIENTOS DE TRAZO Y LEVANTAMIENTO

En el recinto, sobre la margen izquierda se pintaron escalas altimétricas desde la elevación 17.00 m hasta la 32.00 m con divisiones de 0.50 m, esto debido a que se presentó una inundación en el recinto por las fuertes filtraciones en las pantallas de las dos ataguías y era necesario ir llevando un control del sistema de bombeo para desalojar el agua del recinto, utilizando como referencia dicha escala. Se colocó un nivel automático NA2 a la altura de la escala llevando el anteojo a la línea de nivel marcada (Ejemplo: Escala 26.00 → Altura de aparato = 27.00) y se fue trazando a esa misma elevación por todo el perímetro de la excavación, la curva de nivel.

Trazada la curva de nivel, se procedió a su levantamiento con teodolito T2 y distanciómetro DI1001, haciendo estación en puntos localizados sobre el eje de la cortina y visando todos los puntos sobresalientes (puntos que definan la geometría de la roca) contenidos en dicha curva de nivel.

En el trazo, se le va indicando al cadenero donde debe marcar la curva, y en el levantamiento el cadenero identifica los puntos sobresalientes contenidos en la curva de nivel y en cada uno de ellos va colocando el prisma.

A continuación se muestra como ejemplo de lo anterior un registro de campo del levantamiento de la curva de nivel 26.00

REGISTRO

P.R.H. SAN RAFAEL, NAY. FRETE: RECINTO LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA CURVA DE NIVEL 26.00				
			FECHA: MARTES 03 DE MAYO DE 1994 HOJA 1 DE 3	
ESTACIÓN	P.V.	DISTANCIA HORIZONTAL	ANGULO HORIZONTAL ° ' "	OBS.
Y=0+200.000	Y=0+204.467		0 00 00	→ AZIMUT = 357°43'21.74"
	1	44.072	8 45 30	
	2	42.260	7 46 25	
	3	43.720	7 20 44	
	4	47.055	2 01 42	
	5	46.805	00 59 50	
	6	47.483	356 01 20	
	7	47.912	355 13 00	
	8	48.863	354 56 00	
	9	49.104	353 20 39	
	10	48.653	352 29 22	
	11	46.837	351 14 46	
	12	46.356	348 28 20	
	13	47.310	346 45 52	
	14	48.461	342 02 15	
	15	49.602	339 49 01	
	16	49.268	337 09 11	
	17	48.070	337 18 20	1.45m
	18	46.402	336 31 10	
	19	45.261	335 23 30	
	20	45.250	334 13 00	
	21	46.539	333 13 40	

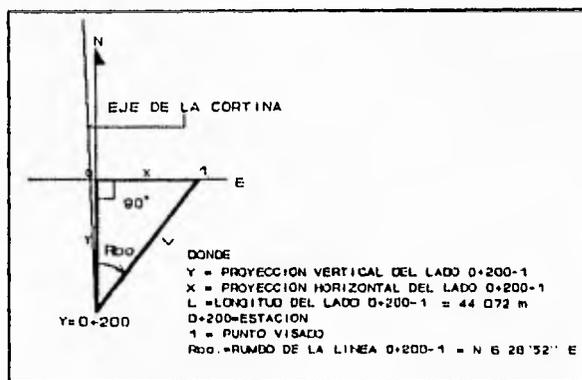
III.2.4.1.3 CALCULO DE COORDENADAS

Para determinar las coordenadas de los puntos radiados, se realiza lo siguiente:

- A) Se calculan los rumbos de las radiaciones.
- B) Se calculan las proyecciones de cada radiación.

En topografía se llaman proyecciones de una línea ($0+200 - 1$) a los catetos de un triángulo rectángulo formado por una vertical que parte de la estación ($0+200$) hasta encontrar a la horizontal que parte del punto visado. (Fig. 3.12)

Fig. 3.12



Por trigonometría, en el triángulo $0+200-1-0$, se tiene:

$$X = L \text{ sen } Rbo \quad (1)$$

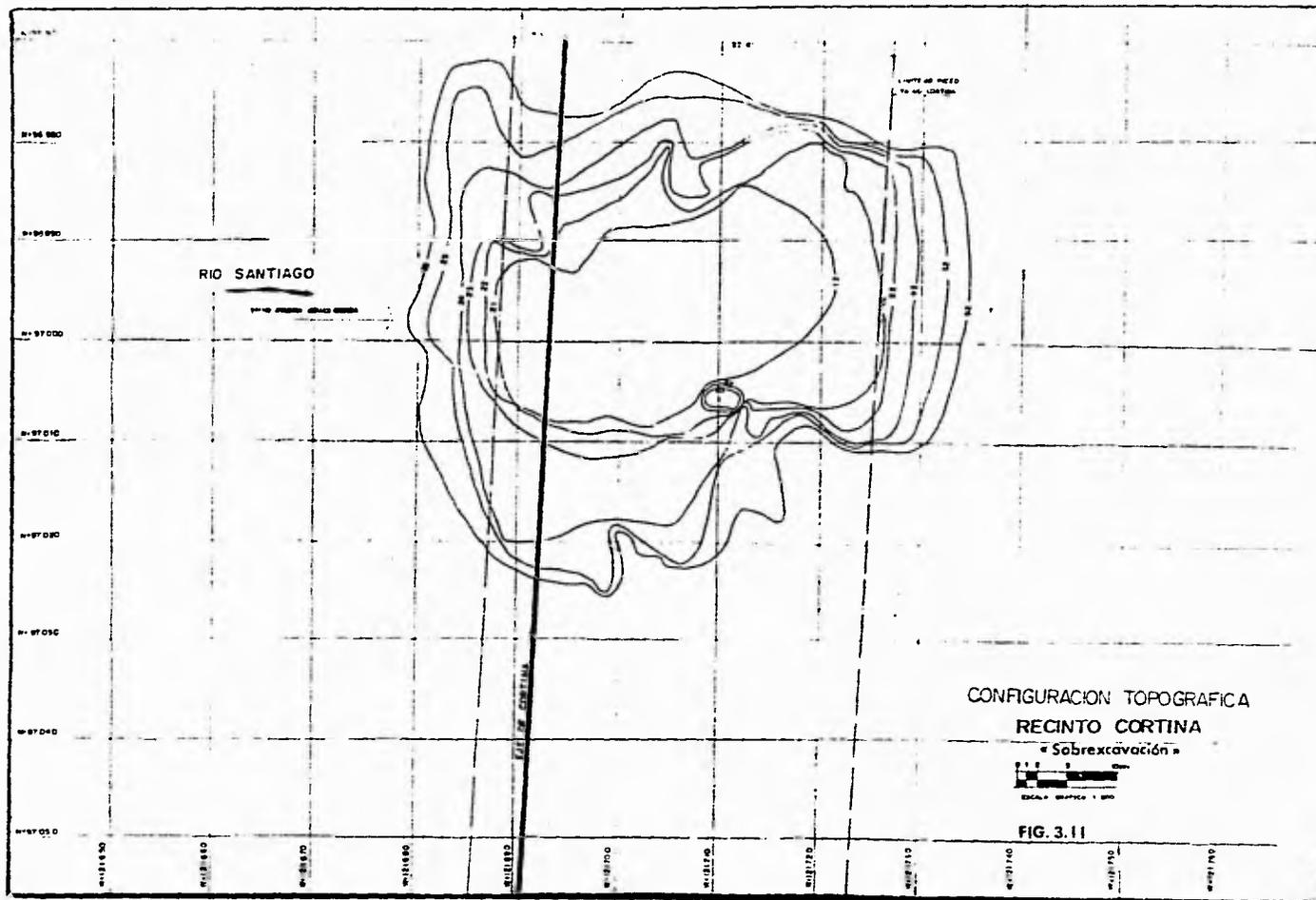
$$Y = L \text{ cos } Rbo \quad (2)$$

Las fórmulas (1) y (2) son las que se usan para el cálculo de las proyecciones.

Si la proyección vertical va hacia el Norte, tiene signo positivo y se designa con la letra N; y si va hacia el sur, su signo es negativo y se designa con la letra S.

La proyección horizontal tiene signo positivo si va hacia el Este y tiene signo negativo si va hacia el Oeste, designándose por las letras E y W respectivamente.

Las coordenadas de los puntos radiados se calculan sumando algebraicamente las proyecciones de cada lado a las coordenadas de la estación anterior.



III.2.4.1.4 DETERMINACION DE VOLUMENES POR MEDIO DE CURVAS DE NIVEL

La determinación de volúmenes de terracería por medio de curvas de nivel, por supuesto, no proporciona resultados precisos; pero cuando las equidistancias verticales no son grandes, proporciona resultados aceptables.

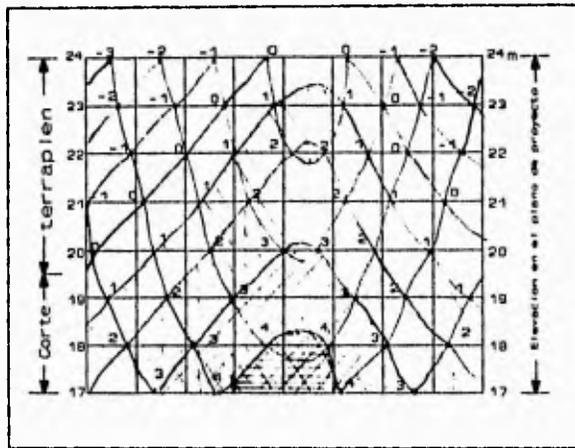


Fig. 3.13

En la figura, las equidistancias verticales de las curvas de nivel son de 1 m. El plano del proyecto está inclinado y está representado por líneas rectas paralelas que unen las mismas cotas del perímetro de la figura. Las diferencias de las cotas del plano del proyecto y las de las curvas de nivel son los espesores de corte o terraplén; si la superficie del terreno está más alta que el plano del proyecto, es corte; si es al revés, es terraplén.

Después de calcular los espesores de terraplén y de corte en los puntos de intersección de las curvas de nivel con el plano del proyecto, se unen los puntos del mismo espesor de terracería, por ejemplo con los espesores -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, etc. Por medio de un planímetro se obtienen las áreas A_1 , A_2 , A_3 , etc. de las curvas de los espesores iguales de terracerías.

El volúmen de terracería se obtiene aplicando la primera fórmula de Simpson:

$$V_{1-3} = \frac{h}{3} (A_1 + 4A_2 + A_3) : \text{Volúmen entre las curvas del mismo espesor de terracerías, entre las 1ª y 3ª.}$$

$$V_{3-5} = \frac{h}{3} (A_3 + 4A_4 + A_5) : \text{Volúmen entre las curvas del mismo espesor de terracerías, entre las 3ª y 5ª.}$$

$$V_{5-7} = \frac{h}{3} (A_5 + 4A_6 + A_7) : \text{Volúmen entre las curvas del mismo espesor de terracerías, entre las 5ª y 7ª.}$$

.....

$$V_{(n-2)-n} = \frac{h}{3} (A_{n-2} + 4A_{n-1} + A_n) : \text{Volúmen entre las curvas del mismo espesor de terracerías, entre las (n-2) y n}$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{h}{3} [(A_1 + A_n) + 2(A_3 + A_5 + \dots + A_{n-2}) + 4(A_2 + A_4 + \dots + A_{n-1})]$$

Donde:

V = Volúmen total de terracería.

h = Equidistancia vertical entre curvas del mismo espesor de terracería.

A = Areas que encierran las curvas de los mismos espesores de terracería.

n = Número de curvas de los mismos espesores de terracería.

CALCULO DE LOS ELEMENTOS GEOMETRICOS

INCOGNITA	DATOS	FORMULA	INCOGNITA	DATOS	FORMULA
R	ST Δ	$R = ST \cot \frac{1}{2} \Delta$	E	R Δ	$E = \text{exsec } \frac{1}{2} \Delta$
	g c	$R = \frac{c^2}{\text{sen } \frac{1}{2} g}$		ST Δ	$E = ST \tan \frac{1}{2} \Delta$
	E Δ	$R = \frac{E}{\text{exsec } \frac{1}{2} \Delta}$		CL Δ	$E = \frac{1}{2} CL \frac{\text{exsec } \frac{1}{2} \Delta}{\text{sen } \frac{1}{2} \Delta}$
	CL Δ	$R = \frac{CL}{2 \text{sen } \frac{1}{2} \Delta}$		R F	$E = (R \cdot F)/(R - F)$
	F Δ	$R = \frac{F}{\text{sen vers } \frac{1}{2} \Delta}$		F Δ	$E = F \cos \frac{1}{2} \Delta$
	R Δ	$E = \frac{R}{\cos \frac{1}{2} \Delta} - R$			
Δ	ST R	$\tan \frac{1}{2} \Delta = ST/R$	F	ST Δ	$F = ST \cot \frac{1}{2} \Delta \text{ sen vers } \frac{1}{2} \Delta$
	CL R	$\text{sen } \frac{1}{2} \Delta = CL/2R$		E Δ	$F = E \cos \frac{1}{2} \Delta$
	F R	$\text{sen vers } \frac{1}{2} \Delta = F/R$		CL Δ	$F = \frac{1}{2} CL \tan \frac{1}{2} \Delta$
	E R	$\text{exsec } \frac{1}{2} \Delta = E/R$		R Δ	$F = R - R \cos \frac{1}{2} \Delta$
	CL ST	$\cos \frac{1}{2} \Delta = CL/2ST$		R E	$F = (R \cdot E)/(R + E)$
ST	R Δ	$ST = R \tan \frac{1}{2} \Delta$	CL	R Δ	$CL = 2R \text{sen } \frac{1}{2} \Delta$
	g, c, Δ	$ST = \frac{10 \tan \frac{1}{2} \Delta}{\text{sen } \frac{1}{2} g}$		ST Δ	$CL = 2ST \cos \frac{1}{2} \Delta$
	E Δ	$ST = E \cot \frac{1}{2} \Delta$		F Δ	$CL = 2F \cot \frac{1}{2} \Delta$
	CL Δ	$ST = \frac{CL}{2 \cos \frac{1}{2} \Delta}$		E Δ	$CL = 2E \frac{\text{sen } \frac{1}{2} \Delta}{\text{exsec } \frac{1}{2} \Delta}$
	F Δ	$ST = \frac{F \tan \frac{1}{2} \Delta}{\text{sen vers } \frac{1}{2} \Delta}$		F R	$CL = 4 [2FR - F^2]$
g	C R	$\text{sen } \frac{1}{2} g = \frac{c/2}{R}$	LC	R Δ	$LC = \frac{R \Delta \pi}{180}$
	ST Δ c=10	$\text{sen } \frac{1}{2} g = \frac{10 \tan \frac{1}{2} \Delta}{ST}$		Δ g c=20	$LC = (\Delta / g) \cdot 20 \text{ m}$ (para R > 100 m)
Cad. PC	PI ST	$\text{Cad. PC} = \text{Cad. PI} \cdot ST$	Cad. PT	PC LC	$\text{Cad. PT} = \text{Cad. PC} + LC$

III.2.4.2.2 TRAZO DE LAS CURVAS EN EL TERRENO

Las curvas pueden trazarse con teodolito y cinta, ó con cinta exclusivamente. También pueden trazarse con dos teodolitos al mismo tiempo, mediante intersecciones. El trazo de las curvas de las diferentes estructuras del P.R.H. San Rafael se hizo por DEFLEXIONES (Fig. 3.15). El origen de las deflexiones es la tangente, es decir, la visual al PI. Estos ángulos de deflexión son la mitad de los ángulos centrales, para ir marcando cada cuerda que es abarcada por (g) desde el centro, las deflexiones van variando ($g/2$). Haciendo estación en el PC, se pone en cero el teodolito y visando al PI, las deflexiones que se van marcando son $g/2$, g , $1\frac{1}{2}g$, $2g$,..... hasta llegar a ver al PT (previamente marcado con la medida de ST a partir del PI).

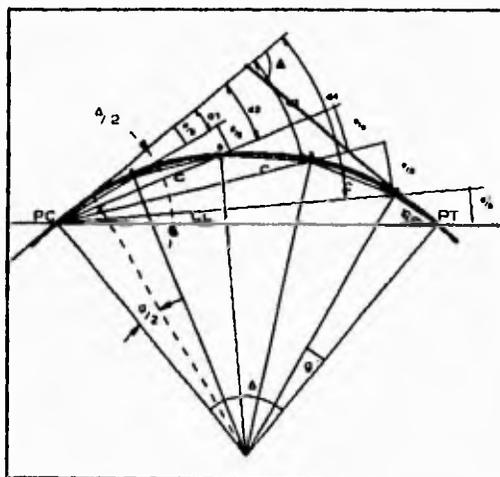


Fig. 3.15

Para cada deflexión se mide la cuerda desde el punto anterior, y en la intersección estará el nuevo punto de la curva. El trabajo se puede comprobar :

Angularmente.- Visando al PT, la graduación del teodolito T1 debe marcar ($\Delta/2$).

Tolerancia = $\pm 20''$.

Linealmente.- La distancia entre el último punto trazado y el PT, será la SC previamente calculada. Tolerancia = ± 0.10 m

Se recomienda trazar la mitad de la curva desde PC y la otra mitad desde PT para encontrarse al centro, con objeto de disminuir errores acumulativos que pudieran arrastrarse al hacer el trazo continuo total.

La deflexión que corresponda se calcula conociendo la deflexión por metro de curva, la cual se obtiene dividiendo la deflexión para trazar la longitud de una cuerda, entre la cuerda o la deflexión para trazar toda la curva entre la longitud de la curva.

$$dxm = \frac{1}{2} \Delta / LC \quad \text{DEFLEXION POR METRO}$$

III.2.4.2.3. TRAZO DE CURVAS EN LAS OBRAS DE DESVIO

En canales, los radios dependen de muchos factores, (velocidad, pendiente, tirante, ancho del canal, etc.) y no hay limitaciones generales. Puede considerarse que como mínimo, el valor de (R) debe ser del doble al triple del ancho del canal.

Como se muestra en los planos (Capítulo II), para el canal de desvío se trazaron tres curvas circulares simples, cuyos datos y registros de trazo se muestran a continuación.

CURVA 1

DATOS DE LA CURVA	
R =	85.000 m
Δ =	30° DER.
g =	13° 28' 53" DER.
ST =	22.776 m
LC =	44.506 m
CAD. PI =	0+112.172

$$\begin{array}{r}
 \text{CAD. PI} = 0+112.172 \\
 - \text{ST} = \quad 22.776 \\
 \hline
 \text{CAD. PC} = 0+089.396 \\
 + \text{LC} = \quad 44.506 \\
 \hline
 \text{CAD. PT} = 0+133.902 \\
 dxm = [15^\circ/44.506] = 0^\circ 20' 13.32'' \\
 c = 10.000 \text{ m}
 \end{array}$$

REGISTRO DE TRAZO

ESTACIÓN	P.V.	DEFLEXION	H	L _(ARCO)	L _(CUERDA)
PC=0+089.396					
	0+090	0°12'13"	0°12'13"	0.605 m	0.604 m
	0+100	3°22'13"	3°34'26"	10.000 m	9.994 m
	0+110	3°22'13"	6°56'39"	10.000 m	9.994 m
	0+120	3°22'13"	10°18'52"	10.000 m	9.994 m
	0+130	3°22'13"	13°41'05"	10.000 m	9.994 m
	PT=0+133.902	1°18'54"	14°59'59"	3.902 m	3.901 m
		$\Delta \frac{1}{2} =$	15°00'00"		

CURVA 2

DATOS DE LA CURVA

R = 54.896 m
 $\Delta = 80^{\circ} 50' 32''$ DER.
 $g = 21^{\circ} 21' 58''$ DER.
 ST = 46.755 m
 LC = 74.456 m
 CAD. PI = 0+132.467

CAD. PI = 0+132.467
 - ST = 46.755
 CAD. PC = 0+085.712
 + LC = 74.456
 CAD. PT = 0+160.168
 $dxm = [40^{\circ} 25' 16'' / 74.456] = 0^{\circ} 32' 34.39''$
 c = 5.000 m

REGISTRO DE TRAZO

ESTACIÓN	P.V.	DEFLEXION	H	L _(ARCO)	L _(CUERDA)
PC=0+085.712					
	0+090	2°19'40"	2°19'40"	4.460 m	4.459 m
	0+095	2°42'52"	5°02'32"	5.201 m	5.199 m
	0+100	2°42'52"	7°45'24"	5.201 m	5.199 m
	0+105	2°42'52"	10°28'16"	5.201 m	5.199 m
	0+110	2°42'52"	13°11'08"	5.201 m	5.199 m
	0+115	2°42'52"	15°54'00"	5.201 m	5.199 m
	0+120	2°42'52"	18°36'52"	5.201 m	5.199 m
	0+125	2°42'52"	21°19'44"	5.201 m	5.199 m
	0+130	2°42'52"	24°02'36"	5.201 m	5.199 m
	0+135	2°42'52"	26°45'28"	5.201 m	5.199 m
	0+140	2°42'52"	29°28'20"	5.201 m	5.199 m
	0+145	2°42'52"	32°11'12"	5.201 m	5.199 m
	0+150	2°42'52"	34°54'04"	5.201 m	5.199 m
	0+155	2°42'52"	37°36'56"	5.201 m	5.199 m
	0+160	2°42'52"	40°19'48"	5.201 m	5.199 m
	PT=0+160.168	0°05'28"	40°25'16"	0.175 m	0.174 m
		$\Delta \frac{1}{2} =$	40°25'16"		

CURVA 3

DATOS DE LA CURVA
R = 85.000 m
$\Delta = 30^\circ$ DER.
g = 13° 28' 53" DER.
ST = 22.776 m
LC = 44.506 m
CAD. PI = 0+362.819

$$\begin{aligned}
 \text{CAD. PI} &= 0+362.819 \\
 - \text{ST} &= 22.776 \\
 \text{CAD. PC} &= 0+340.043 \\
 + \text{LC} &= 44.506 \\
 \text{CAD. PT} &= 0+384.549 \\
 \text{dxm} &= [15^\circ/44.506] = 0^\circ 20' 13.32'' \\
 c &= 10.000 \text{ m}
 \end{aligned}$$

REGISTRO DE TRAZO

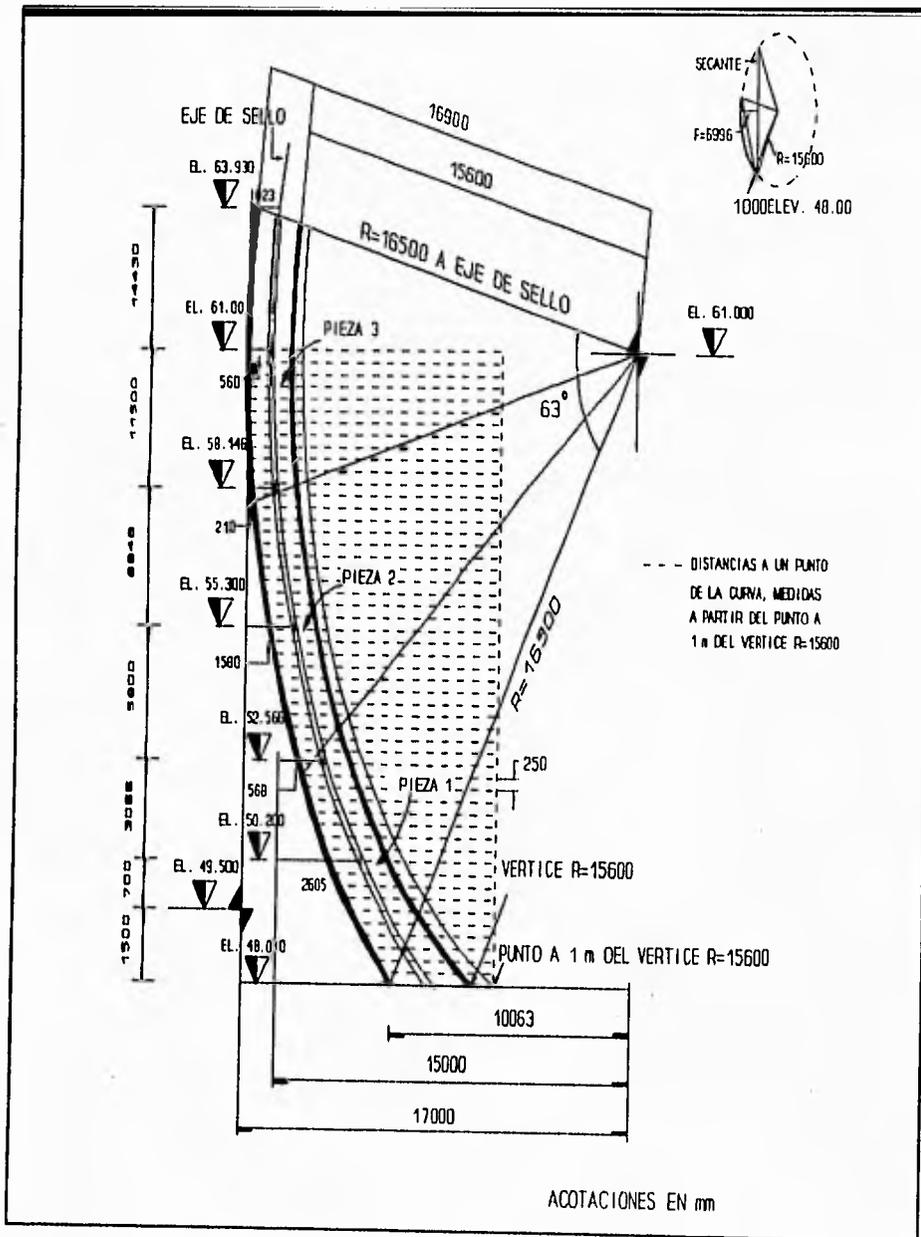
ESTACIÓN	P.V.	DEFLEXION	H	L _(ARCO)	L _(CUERDA)
PC=0+340.043					
	0+350	3°21'21"	3°21'21"	9.957 m	9.951 m
	0+360	3°22'13"	6°43'34"	10.000 m	9.994 m
	0+370	3°22'13"	10°05'47"	10.000 m	9.994 m
	0+380	3°22'13"	13°28'00"	10.000 m	9.994 m
	PT=0+384.549	1°31'59"	14°59'59"	4.549 m	4.548 m
		$\Delta \frac{1}{2} =$	15°00'00"		

Como comprobación, la última deflexión visando al PT será igual a la mitad del .
 El PT no se fija mediante el trazo de la curva sino desde el PI con la ST.

III.2.4.2.4 TRAZO DE CURVAS EN LA OBRA DE CONTROL Y EXCEDENCIAS

CURVAS RADIALES PARA LAS COMPUERTAS

Se trazaron curvas radiales (12 en total) para el montaje de las compuertas metálicas, sobre los muros y las pilas del vertedor. Dichas curvas se trazaron por partes conforme se fueron construyendo los muros y las pilas. Para el trazo de cada curva, se trazó una línea vertical (Secante) a 1 m aguas abajo de la curva de R = 15.600 m (Fig. 3.16) y se midieron, a partir de la misma, distancias horizontales (Calculadas previamente) a cada punto de la curva, midiendo distancias a cada 0.250 m de elevación.



DISTANCIAS A UN PUNTO A 1 m DEL VERTICE DE R=15.600

ELEV.	h	R=16.5	R=16.9	R=15.6
48.00	0.00	2.53799	3.17539	1.00000
	0.25	2.84996	3.46945	1.36552
48.50	0.50	3.14711	3.75043	1.71005
	0.75	3.43062	4.01926	2.03584
49.00	1.00	3.70153	4.27678	2.34472
	1.25	3.96071	4.52369	2.63823
49.50	1.50	4.20894	4.76064	2.91765
	1.75	4.44688	4.98818	3.18406
50.00	2.00	4.67515	5.20682	3.43842
	2.25	4.89426	5.41700	3.68153
50.50	2.50	5.10470	5.61913	3.91411
	2.75	5.30688	5.81357	4.13677
51.00	3.00	5.50118	6.00065	4.35008
	3.25	5.68796	6.18067	4.55452
51.50	3.50	5.86751	6.35390	4.75054
	3.75	6.04014	6.52059	4.93852
52.00	4.00	6.20609	6.68097	5.11883
	4.25	6.36561	6.83525	5.29179
52.50	4.50	6.51891	6.98362	5.45768
	4.75	6.66619	7.12627	5.61677
53.00	5.00	6.80765	7.26335	5.76931
	5.25	6.94343	7.39501	5.91552
53.50	5.50	7.07371	7.52141	6.05559
	5.75	7.19863	7.64267	6.18972
54.00	6.00	7.31833	7.75891	6.31808
	6.25	7.43292	7.87024	6.44083

ELEV.	h	R=16.5	R=16.9	R=15.6
54.50	6.50	7.54253	7.97678	6.55810
	6.75	7.64725	8.07861	6.67004
55.00	7.00	7.74720	8.17583	6.77678
	7.25	7.84246	8.26852	6.87841
55.50	7.50	7.93312	8.35676	6.97506
	7.75	8.01927	8.44063	7.06682
56.00	8.00	8.10096	8.52020	7.15378
	8.25	8.17828	8.59551	7.23603
56.50	8.50	8.25128	8.66665	7.31364
	8.75	8.32003	8.73365	7.38669
57.00	9.00	8.38459	8.79658	7.45524
	9.25	8.44499	8.85547	7.51935
57.50	9.50	8.50129	8.91038	7.57908
	9.75	8.55353	8.96133	7.63448
58.00	10.00	8.60176	9.00837	7.68560
	10.25	8.64599	9.05153	7.73247
58.50	10.50	8.68628	9.09084	7.77515
	10.75	8.72265	9.12633	7.81366
59.00	11.00	8.75511	9.15802	7.84804
	11.25	8.78371	9.18592	7.87831
59.50	11.50	8.80845	9.21008	7.90449
	11.75	8.82936	9.23048	7.92661
60.00	12.00	8.84644	9.24716	7.94469
	12.25	8.85972	9.26013	7.95874
60.50	12.50	8.86920	9.26938	7.96876
	12.75	8.87488	9.27493	7.97477
61.00	13.00	8.87678	9.27678	7.97678

III.2.4.2.5 TRAZO DE CURVAS EN OBRA DE TOMA

CURVA DEL MURO RADIAL

En Obra de Toma se construyó un muro perimetral de trayectoria curva. La sección del muro es similar a la de la cortina, una sección gravedad con un ancho de corona de 6.00 m; taludes exteriores: aguas arriba vertical y aguas abajo 0.8:1. La elevación de la corona es 67.85.

DATOS DE LA CURVA	
R =	80.000 m
Δ =	90° IZO.
ST =	30.000 m
LC =	47.124 m
CAD. PI =	0+402.000

$$\begin{aligned}
 \text{CAD. PI} &= 0+402.000 \\
 - \text{ST} &= \quad 30.000 \\
 \hline
 \text{CAD. PC} &= 0+372.000 \\
 + \text{LC} &= \quad 47.124 \\
 \hline
 \text{CAD. PT} &= 0+419.124 \\
 dxm &= [45^\circ/47.124] = 0^\circ 57' 17.74'' \\
 c &= 5.000 \text{ m}
 \end{aligned}$$

REGISTRO DE TRAZO

ESTACIÓN	P.V.	DEFLEXION	H	L _(ARCO)	L _(CUERDA)
	PT=0.419.124		40°00'02"		
	0+415	3°56'17"	41°03'45"	4.124 m	4.121 m
	0+410	4°46'29"	36°17'16"	5.000 m	4.994 m
	0+405	4°46'29"	31°30'47"	5.000 m	4.994 m
	0+395	4°46'29"	26°44'18"	5.000 m	4.994 m
	0+390	4°46'29"	21°57'49"	5.000 m	4.994 m
	0+385	4°46'29"	17°11'20"	5.000 m	4.994 m
	0+380	4°46'29"	12°24'51"	5.000 m	4.994 m
PC=0+372.000		7°38'22"	7°38'22"	8.000 m	7.976 m
		$\Delta \frac{1}{2} =$	45°00'00"		

III.2.5 VERIFICACIONES

Los servicios de topografía para la supervisión de la construcción del P.R.H. San Rafael se relacionaron con el trazo, levantamientos topográficos, verificaciones de las estructuras, y obras auxiliares, incluyendo todas las actividades necesarias para contar con referencias tales como ejes, bancos de nivel y puntos de apoyo "in situ" que permitieron desarrollar la supervisión topográfica de las estructuras durante todo el proceso de construcción: excavaciones, colocación de concreto, acero estructural y otras actividades propias del montaje electromecánico, así como el tratamiento de la roca que consistió en concreto lanzado, barrenación para drenaje y colocación de anclaje.

Para llevar a cabo el cumplimiento de las especificaciones de carácter topográfico, se utilizaron mecanismos de control que consistieron en formatos en los cuales se registraron las instrucciones y resultados de la supervisión topográfica.

A continuación se describen los aspectos que se revisaban en forma sistemática en cada una de las actividades en las que fue imprescindible la supervisión topográfica.

III.2.5.1 COLOCACION DE ANCLAJE

[FORMA No. 1]

Verificación del trazo del eje ó ejes necesarios para la correcta ubicación de los barrenos.

Verificación del marcado "in situ" de cada uno de los barrenos.

Verificación del ángulo de inclinación de la barrenación, dirección de la barrenación, diámetro de la barrenación y longitud de la misma.



PROYECTO HIDROELECTRICO
REPORTE DIARIO DE ANCLAJE

FORMA No. 1

HOJA ___ DE ___

UBICACION _____
 TURNO _____ FECHA _____ EQUIPO _____

BARRENACION

INSTRUCCION	CADENAMIENTO	BARRENO No.	DIAMETRO	LONGITUD	OBSERVACIONES

COLOCACION E INYECCION DE ANCLAS.-

INSTRUCCION	CADENAMIENTO	DIAMETRO	LONGITUD	COLOCACION No. DE ANCLA	INYECCION No. BARRENO	OBSERVACIONES

	3 m.	6 m.	9 m.	12 m.	OBSERVACIONES
BARRENO _____ Ø					
BARRENO _____ Ø					
ANCLA _____ Ø					
ANCLA _____ Ø					

PERSONAL	CANT.	MAQUINA	MODELO	MARCA	H. E.	H. O. H. R.	OBSERVACIONES

SUPERVISOR
 FIRMA _____
 NOMBRE _____

EJECUTOR
 FIRMA _____
 NOMBRE _____

III.2.5.2 CONCRETO LANZADO

[FORMA No. 2]

Verificación de los cadenamientos y las elevaciones que limitaban la zona de lanzado, así como la colocación de malla [FORMA No. 3] y su anclaje respectivo de acuerdo a lo especificado en los puntos del proyecto.

III.2.5.3 BARRENACION DE DRENAJE O INYECCION

[FORMA No. 4]

Verificación del trazo del eje o ejes necesarios para la correcta ubicación de los barrenos.

Verificación del ángulo de inclinación de la barrenación, dirección de la barrenación, diámetro de la barrenación y longitud de la misma.

Tolerancia en el marcaje de los barrenos $t = \pm 0.05$ m del punto teórico.

III.2.5.4 ORDEN DE COLADO

[FORMA No. 5]

Se verificó la elevación inferior o de desplante, elevación superior, cadenamientos extremos, colinealidad de la cimbra con sus ejes respectivos, dimensiones de la cimbra, volúmen por colar, alineamiento de elementos fijos y su adecuada sujeción, medición del acero de refuerzo colocado tanto de proyecto como adicional.

Tolerancias para la verificación de la cimbra:

Alineación horizontal: $t = \pm 0.005$ m

Alineación vertical (Elevación): $t = \pm 0.005$ m

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION

C F E	OBRA : _____ "ORDEN DE COLADO"	No. _____ Fecha: _____
----------------------------------	--	-------------------------------

Estructura _____ Frente _____ De elevación _____ a elevación _____ De cadenamiento _____ a cadenamiento _____ Volumen estimado _____ m ³	f'c = _____ kg/cm ² t m.a. ± _____ (pulgadas) Rvto. : _____ cm temperatura : _____ °C
---	---

OBRA CIVIL

Se autoriza la ejecución del colado, dado que los elementos de la estructura enlistados están correctos

1.- Líneas y niveles

topografía

- 2- Diámetro, separación y recubrimiento del acero de refuerzo
- 3- Estanqueidad y rigidez del encofrado

Residencia Civil

- 4- Colocación de partes fijas, conexiones, tierras, etc.

Residencia Electromecánica

LABORATORIO

El encargado del control de calidad del concreto, considerando que se encuentran cubiertos satisfactoriamente los requisitos abajo descritos, autoriza la realización de colado

- 1- Planta dosificadora en buen estado
- 2- Ingredientes para fabricación del cemento suficientes y de buena calidad
- 3- Protección de tolvas y bandas contra lluvia
- 4- Número suficiente de unidades de transporte y en buen estado
- 5- Equipo suficiente, adecuado y en buen estado para colocar y compactar el concreto (incluyendo equipo de respaldo)
- 6- Personal suficiente y adecuado
- 7- Escarificado del concreto
- 8- Superficie y acero de refuerzo limpios y exentos de cualquier sustancia que disminuya la adherencia
- 9- Engrasado y tersura de la cimbra
- 10- Protección del sitio de colado y del equipo contra sol y lluvia (lonas, plásticos, etc.)
- 11- Iluminación suficiente
- 12- Tiempo propicio

_____ Control de Calidad

Concreto solicitado por _____ Representante de la Cía. _____	compañía	HORA DE RECEPCION			
	hora	Topografía	Residencia Civil	Residencia Electromecánica	Laboratorio Concreto
	Fecha				
	Hora				



PROYECTO HIDROELECTRICO

REPORTE DIARIO DE CONCRETO HIDRAULICO

FORMA No. 6

HOJA ___ DE ___

FRENTE _____

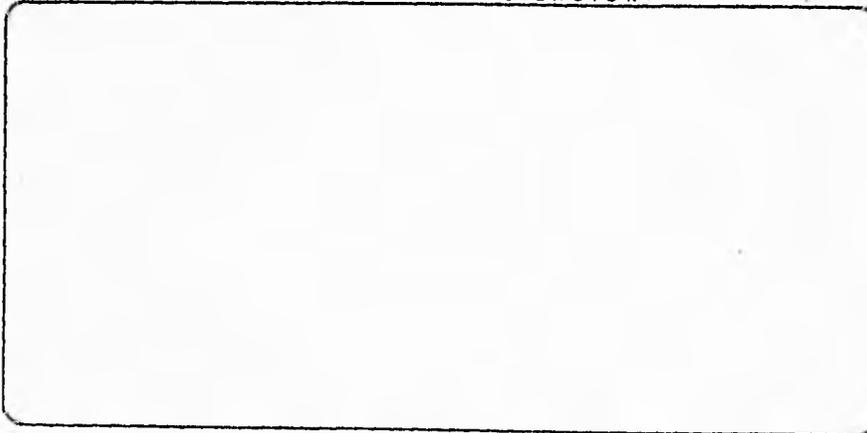
SEMANA No. _____ FECHA _____ TURNO _____

ELEVACION DE _____ A _____ ESTACIONES DE _____ A _____

INSTRUCCION _____

OBSERVACIONES _____

CROQUIS DE LOCALIZACION



PERSONAL	CANT.	MAQUINA	MODELO	MARCA	HE	HCI	P	OBSERVACIONES

SUPERVISOR

FIRMA _____

NOMBRE _____

EJECUTOR

FIRMA _____

NOMBRE _____

III.2.5.4.1 SEGUNDOS COLADOS

Se hizo una verificación similar a la descrita en el párrafo anterior, poniendo especial atención en la alineación de elementos fijos.

Tolerancias en la alineación de elementos fijos:

Alineación horizontal: $t = \pm 0.001$ m

En elevación: $t = \pm 0.001$ m

III.2.5.5 MONTAJE DE COMPUERTAS METALICAS

Se verificaron las dimensiones físicas de cada compuerta y su comparación con el levantamiento por el eje de las vigas de rodamiento o por el eje de las placas radiales de sello.

En la verificación del montaje de compuertas, se estableció un polígono rectangular de apoyo, levantado con teodolito de 1" de aproximación angular, cerrado lineal y angularmente dentro de la tolerancia especificada; el polígono se replanteó de tal manera que las compuertas quedaran inscritas en él. Se alinearon los tabieros o paños de compuerta durante el proceso de soldadura cada vez que el montador lo solicitó para asegurarse que no hubieran desalineamientos a causa del "jaión" producido por la soldadura.

Se verificó la alineación de ruedas, sellos, placa de sujeción del mecanismo de izaje, placa de fijación de los brazos para compuerta, armado y rectilineidad de los brazos.

Tolerancia en el armado de compuertas metálicas.

Tolerancia lineal $t = 0.001$ m

Tolerancia angular $t = 10''$

Tolerancia en desnivel $t = 0.0005$ m

III.2.5.6 MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS

Esta verificación se refiere al montaje de columnas de acero que soportaron la banda transportadora de material en la colocación de CCR, montaje de vigas puente en obra de control y excedencias, montaje de vigas puente en obra de toma, montaje de grúa pórtico en obra de control y excedencias, montaje de grúa pórtico en obra de toma, rieles para las grúas, marcos metálicos, etc.

Se verificaron las distancias, perpendicularidad y paralelismo entre los ejes respectivos en el sitio del montaje, verificando el establecimiento de los bancos de nivel y referencias necesarias, verificación de las dimensiones de los elementos por montar y marcaje de los ejes físicos de las piezas.

Durante la etapa de montaje o armado, se verificó cuidadosamente el centrado o alineación de las partes estructurales en tres dimensiones respecto a sus ejes.

Tolerancias en la alineación horizontal y vertical de placas, agujas metálicas y partes estructurales que sirven de apoyo para el mantenimiento de las compuertas, rieles para las grúas pórtico y alineación de chumaceras y enclavamientos.

Tolerancia horizontal $t = \pm 0.0016$ m

Tolerancia en elevación $t = \pm 0.0016$ m

III.2.6 REPLANTEO Y ACTUALIZACION DE EJES, PUNTOS DE REFERENCIA, BANCOS DE NIVEL Y MOJONERAS

Este punto se refiere a la verificación de la exactitud de los puntos sobre las placas de las mojoneras de referencia que definen los ejes de las estructuras.

La verificación se hizo con teodolito de 1" de aproximación angular.

Los ángulos fueron medidos 2 veces en posición directa y 2 veces en posición inversa como mínimo; promediando los ángulos.

Tolerancias: Angular $\rightarrow T_a = \pm a\sqrt{n}$

donde: a \rightarrow aproximación del aparato

n \rightarrow número de ángulos medidos

Lineal $\rightarrow T_l = \pm 1/25000$ para mediciones con cinta de acero

$T_l = \pm (0.005 \text{ m} + 5 \text{ ppm})$ ó menor para mediciones con
distanciómetro.

Se reservó el uso del distanciómetro a distancias largas o bien a donde el uso de la cinta de acero no fuera posible; las distancias se midieron de ida y regreso las veces que fue necesario, promediando las distancias.

Los ejes de las estructuras cuya construcción se inició de manera independiente pero que en cierta etapa se comunicaron y quedaron ligados através del montaje de elementos mecánicos ó de pailería y cuyos puntos fueron replanteados mediante poligonales abiertas, fueron verificados antes de iniciar la etapa de colados, por el camino de unión ajustando los ejes, siempre y cuando los errores de cierre no excedieran las tolerancias especificadas.

Respecto al replanteo de los ejes de los elementos fijos tales como, placas y anclas para el montaje de equipo, guías para compuertas, vigas de asiento de compuertas, agujas y rieles, la tolerancia debe ser $T = \pm 0.005 \text{ m} \sqrt{k}$, donde $k = 0.01$

Para la verificación del alineamiento de dichos elementos fijos, la tolerancia fue: $T = \pm 0.005 \text{ m} \sqrt{k}$, donde $k = 0.01$ por metro de longitud de la pieza, en el caso de vigas y guías de asiento de compuerta.

Fue responsabilidad del Contratista de Supervisión el mantener " en buen estado y ajustados" sus aparatos para evitar " errores sistemáticos ", verificando periódicamente el equipo, anotando el procedimiento de verificación y los resultados en una libreta ex-profeso.

La actualización de ejes y puntos de referencia, consiste en el replanteo del eje ó de los ejes de una estructura ó parte de ella por cambio a las coordenadas de los puntos que definen dicho eje ó ejes ó bien, porque las mojoneras de referencia hayan sido movidas por alguna maniobra ó porque desde su ubicación ya no existiera la visibilidad suficiente hacia el frente de trabajo.

Fue obligación de la compañía supervisora mantenerse al día respecto a las nuevas revisiones de planos aprobados para construcción y en consecuencia la actualización de ejes y puntos de referencia.

Los puntos de referencia se materializaron sobre placas de acero cuadradas de 0.100 m X 0.100 m X 1/4" de espesor, con una pata de varilla corrugada de 1/2" de diámetro, en forma de "L" de 0.15 X 0.05 m de largo soldado al centro; dichas placas se colocaron en la parte superior de las mojoneras, coladas para el efecto. Las mojoneras se fabricaron de concreto hidráulico colado "in situ", el concreto pudo ser ciclópeo.

La forma de las mojoneras en su porción visible, fue de pirámide truncada de base cuadrada, de 0.20 X 0.20 m en el extremo superior, y de 0.30 X 0.30 m en la parte inferior, por 0.40 m de altura. (Fig. 3.17)

La supervisión pintó en las caras de las mojoneras, sobre roca y en los muros de concreto, referencias de ejes de tipo mariposa con color rojo bermellón sobre fondo blanco.

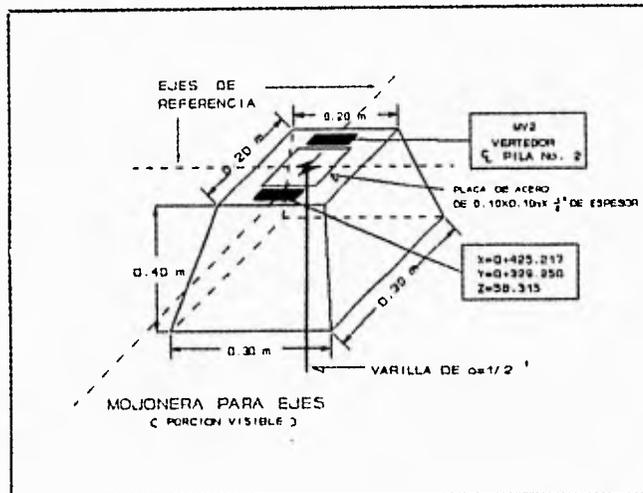


Fig. 3.17

Respecto a los bancos de nivel, fue responsabilidad del contratista, verificar las cotas de los bancos de nivel que le fueron entregados por CFE, cerciorándose que los cierres estuvieran dentro de la tolerancia especificada, utilizando para el efecto, el equipo para nivelación adecuado.

Una red de nivelación compuesta por varios bancos de nivel que forman circuitos de nivelación, se compensó por aproximaciones sucesivas.

Para compensar la red por aproximaciones sucesivas, cada circuito se compensa por separado, pero en orden, recorriendo la red en un sólo sentido. Compensado el primer circuito, los desniveles **corregidos** sirven para calcular el error de cierre del siguiente circuito a compensar y así sucesivamente. Después de haber compensado todos, como aparecen descompensaciones por las mismas correcciones que sufren las rutas comunes contiguas, deberá repetirse el ciclo a partir de los valores obtenidos, varias veces hasta lograr el equilibrio simultáneo. Generalmente en el 3^o ó 4^o ciclo se logra este equilibrio.

Las nivelaciones invariablemente se comprobaron por los sistemas de nivelación conocidos: ida y regreso, doble o triple punto de liga, doble altura de aparato ó bien por el método de los tres hilos.

Las dimensiones de los bancos de nivel son similares a las dimensiones de las mojoneras para ejes; el banco de nivel se construyó preferentemente con un balín soldado en un extremo de una varilla de 1/2 " y 0.20 m de longitud como mínimo, ahogado en el concreto al momento de colar, sobresaliendo soamente el balín.

La cimentación tanto de las mojoneras para ejes como de los bancos de nivel, fue de la profundidad suficiente para evitar que se aflojaran los monumentos con las lluvias ó por el tránsito vehicular ó de maquinaria por el lugar; en los lugares de tráfico intenso y zonas de trabajo de maquinaria pesada, fue necesario colar las placas de las mojoneras al nivel de la subrasante para impedir que fueran movidas, recortando la patita de anclaje al mínimo necesario.

- Verificación de la red de bancos de nivel de la obra.

$T = 0.005 \text{ m} \cdot k$; donde $k =$ kilómetros nivelados ida y regreso.

- Verificación de nivelaciones auxiliares para control de excavación, tales como el chequeo de pies y hombros de taludes en bermas, precorte en taludes, replanteo de niveletas (referencias pintadas), referencias para excavaciones o tratamientos, nivelaciones de perfil para verificaciones de subrasantes y para apoyo en seccionamientos. $T = \pm 0.02 \text{ m} \cdot k$; $k = 0.5$

- Nivelaciones para la verificación de elevaciones en desplante de estructuras, elevaciones superiores de plantilla, elevaciones en colado de zapatas, muros y pilas. $T = 0.01 \text{ m} \cdot k$; donde $k = 0.5$

- Nivelación para la verificación de elevaciones de elementos fijos tales como: placas y anclas para montaje de equipo, guías para compuertas, centro de compuertas, servomotores, chumaceras, enclavamientos, rieles, etc. $T = \pm 0.005 \text{ m} \cdot k$; donde $k=0.01$

III.2.7 VIALIDADES

Los trabajos topográficos que se requieren para la construcción de un camino, se pueden dividir en dos etapas: la primera se refiere a los trabajos de estudios preliminares donde se hacen recorridos para el reconocimiento del terreno, para poder definir por donde realizar el trazo preliminar tomando en cuenta factores como: el tipo de camino, distancias cortas, el movimiento de materiales en cortes y en terraplenes, ruta más corta, rápida y económica, etc. En general, la primera etapa incluye todos los trabajos de campo necesarios para la obtención de todo tipo de datos que se requieren en gabinete para la elaboración del anteproyecto y proyecto definitivo y con esto poder obtener cantidades de obra para diseñar un programa de ejecución.

La segunda etapa comprende todos los trabajos topográficos necesarios durante la construcción como son: el replanteo del trazo de proyecto, la verificación de las referencias tanto para la planta como para el perfil, la marcación de los cerros, cortes terraplenes, cadenamamientos, levantamientos periódicos de secciones transversales para cubicar los avances.

Además durante los trabajos de revestimiento del camino, se requiere constantemente del control topográfico ya que se presentan varios detalles a la vez, como son, el alineamiento vertical ó sea las pendientes, sobreechanos, aperaltamientos, transiciones (sobre todo en la carpeta asfáltica donde se reducen las tolerancias permitidas), etc.

Para el caso del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, la construcción de las vialidades fue planeada en dos etapas, tanto la vialidad por la margen izquierda como la vialidad por la margen derecha; en la primera etapa se construyeron caminos a nivel terracería, que comprendió los trabajos de desmonte, obras de drenaje, cortes y terraplenes hasta dejar la subrasante de proyecto de tal manera que se pudiera transitar con equipo pesado en el acarreo de materiales para la cortina, y dar acceso a todos los frentes de trabajo durante la etapa de construcción. La segunda etapa, sobre todo en las vialidades definitivas, consistió en la construcción del revestimiento de los caminos con capas de sub-base y base de 15 cm de espesor cada una, riego de impregnación, carpeta asfáltica y riego de sellado.

El estudio y proyecto para los caminos, se realizó de acuerdo con las normas y especificaciones vigentes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, salvo algunas adecuaciones en los grados de curvatura, pendientes y aperlaltamientos, todo esto previendo el traslado de equipos electromecánicos de gran volúmen y peso.

Cabe mencionar que durante la construcción de las vialidades, hubo modificaciones de los proyectos originales, tomando en cuenta el período de ejecución, volúmenes de obra y costos.

CAPITULO IV

**MÉTODOS TOPOGRÁFICOS PARA LA
INSTRUMENTACION DE LA PRESA**

IV.1 INSTRUMENTACION

En todas las obras de ingeniería civil el suelo juega un importante papel, al construir el elemento de soporte de cualquier estructura y emplearse también como material de construcción; es por esto que ha sido preocupación de los ingenieros conocer sus propiedades y comprender su comportamiento para proyectar y construir obras seguras y económicas.

La instrumentación es el conjunto de instrumentos cuyo objetivo principal es el de observar el comportamiento de las presas, esto con el fin de mejorar el conocimiento de fenómenos que ocurren en el interior de las masas durante el proceso constructivo, el primer llenado del embalse y su operación subsecuente, incluyendo en esta última el impacto acumulado de los sismos, crecientes en el río y lluvia local extraordinaria.

El trabajo de instrumentación es muy importante ya que los análisis tienen por objeto conocer el comportamiento de las estructuras instrumentadas, a corto y a largo plazo, para evaluar su seguridad y detectar oportunamente cualquier anomalía que se llegara a presentar.

En la instrumentación de todas las presas de CFE, se han instalado líneas de referencias topográficas superficiales, que han permitido conocer la magnitud y dirección de las deformaciones superficiales, proporcionando información de gran utilidad para evaluar los efectos de sismos y en general el comportamiento a largo plazo de las obras. Por lo que se contempló desde el inicio del proyecto, la instalación de estas referencias en la presa de San Rafael. En octubre de 1993 se comenzaron los estudios para la instrumentación de la presa de San Rafael, dichos estudios fueron realizados por personal de CFE adscrito a la GIEyC (Gerencia de Ingeniería Experimental y Control) en apoyo con el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

IV.2 ANTECEDENTES

Comisión Federal de Electricidad ha venido instrumentando las presas que ha construido desde 1960. Durante más de 30 años se ha observado el comportamiento de las estructuras térreas. Desde un principio, la instrumentación fue orientada hacia la determinación de la magnitud y distribución de las deformaciones y desplazamientos, con la presa "El Infiernillo" situada en el estado de Michoacán. En 1965 se instalaron por primera vez celdas de presión en diferentes puntos dentro de la presa "La Villita" situada en el estado de Michoacán, para tener información más completa sobre el comportamiento de los materiales durante la construcción y evaluar los esfuerzos dentro de la estructura y se instalaron niveles hidráulicos para medir asentamientos.

Ai evolucionar las teorías y métodos de análisis de comportamiento de presas, fue necesario aumentar el alcance de las mediciones para conocer el estado de esfuerzos y deformaciones; en la Presa de La Angostura, Chiapas, se instalaron grupos de instrumentos para medir la interacción núcleos - respaldos y en general, la distribución de esfuerzos y deformaciones en la estructura y su cimentación. Se continuó con esta filosofía de medición en las presas: Chicoasén y Peñitas, situadas en el estado de Chiapas, y El Caracol, situada en el estado de Michoacán. Después vino la construcción de las presas de Aguamilpa y San Rafael en el estado de Nayarit, y la presa de Zimapán, Hidalgo; cuyas características hicieron que la instrumentación en México volviera a evolucionar, enfocando su objetivo a la deformación de las estructuras, apoyados en experiencias de otras obras (La Presa Foz Do Areia situada en Salvajina, Colombia, y la Presa Petit Saut situada en la Guayana Francesa); se determina por primera vez en México tener mediciones del comportamiento de las juntas verticales de tracción (*extremos*), así como las juntas perimetrales y comportamiento del CCR.

La instrumentación de las presas tiene como antecedente la necesidad de medir el comportamiento de las estructuras.

Los parámetros a medir elegidos fueron:

- a) Medición de niveles de agua en el cuerpo de la cortina.
- b) Medición de deformaciones del cuerpo de la cortina, tanto interna como superficialmente.
- c) Registro de precipitación pluvial en la zona de la cortina.
- d) Aforo de filtraciones.
- e) Registro de eventos sísmicos para correlacionarlos con la estabilidad de la estructura.

Las funciones de la oficina de Instrumentación, son las de adquirir los materiales y equipo necesario, coordinar la instalación en los sitios elegidos para evitar interferencias con la construcción, instalar los equipos, realizar las mediciones, procesar en forma preliminar los datos obtenidos y transmitirlos a la GIEyC para su interpretación y análisis. Es responsabilidad del área de Instrumentación, llevar a cabo el adecuado monitoreo del comportamiento de la presa, sin contratiempos; que las mediciones se realicen dentro de los parámetros de confiabilidad solicitados, que la información sea transmitida con oportunidad a las autoridades del proyecto así como a los responsables del análisis para tomar las medidas correctivas a los procedimientos constructivos en caso necesario y reportar los eventos extraordinarios que pudieran ocurrir que afecten la seguridad de la estructura.

La instalación y monitoreo de los aparatos de medición, así como las mediciones topográficas, fueron realizados por personal de Comisión Federal de Electricidad, adscrito al área de Instrumentación, auxiliados por personal del contrato 921001 relativo a "Instalación para la Instrumentación de la Cortina del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, Nayarit".

IV.3 DESCRIPCION DE LA INSTRUMENTACION EMPLEADA

IV.3.1 INCLINOMETROS

El inclinómetro es el instrumento más utilizado para la determinación de distribuciones de desplazamientos horizontales; consiste en una tubería telescópica especial de aluminio o plástico con cuatro ranuras longitudinales, colocada durante el proceso de construcción y un dispositivo medidor de inclinación que se introduce en ella. Este dispositivo conocido como sonda, se guía dentro de la tubería por ruedas que entran en las ranuras y se suspende desde el brocal por medio de un cable acotado (Fig. 4.1.a).

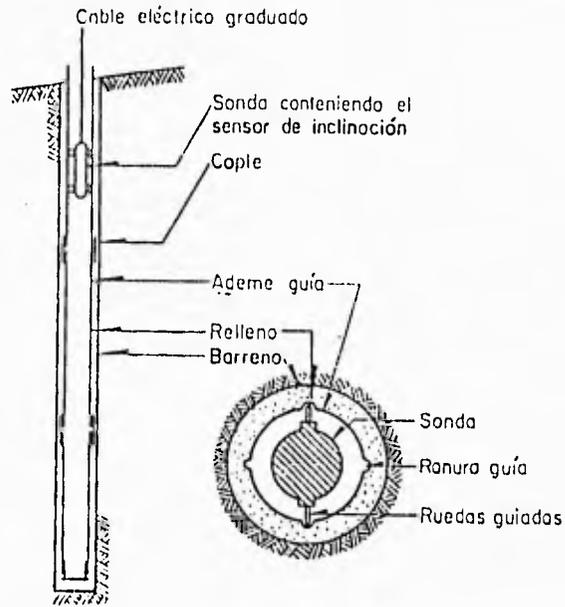


Fig. 4.1.a Sonda dentro de la tubería del inclinómetro

Mediante el conocimiento de la inclinación de la tubería en una serie de puntos, de la distancia vertical entre ellos y por medio de la suma acumulativa de las distancias horizontales obtenidas, se determina el perfil de la tubería (Fig. 4.1.b). Los desplazamientos horizontales son obtenidos por medio de la diferencia entre perfiles de deformación de la tubería en diferentes mediciones.

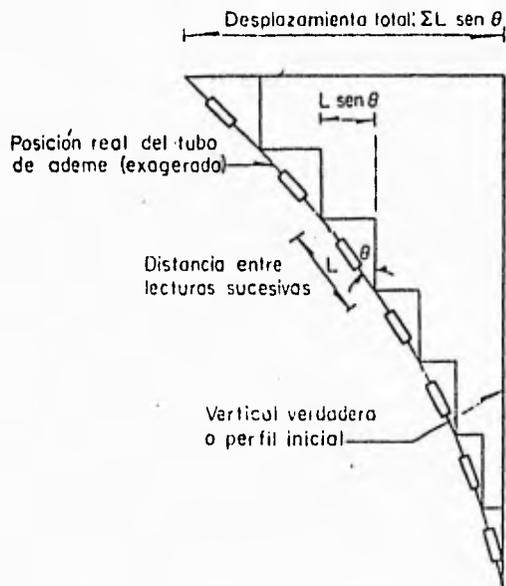


Fig. 4.1.b Desplazamiento del inclinómetro

Normalmente se considera que el fondo de inclinómetro no tiene desplazamientos, efectuándose la suma acumulativa de abajo hacia arriba. Cuando el fondo del inclinómetro tiene movimientos, la suma se hace de arriba hacia abajo, refiriendo las distancias horizontales al brocal del inclinómetro cuyos desplazamientos se determinan topográficamente. (Fig. 4.1.c)

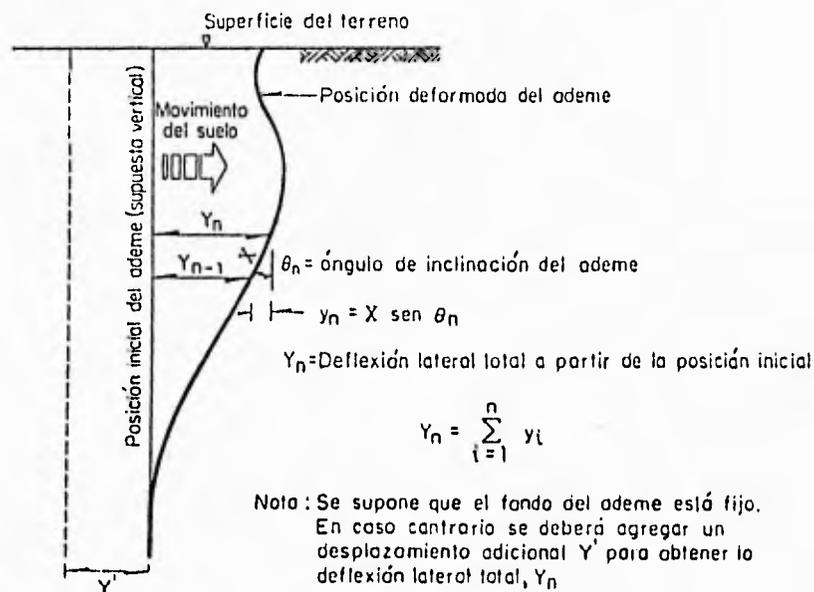
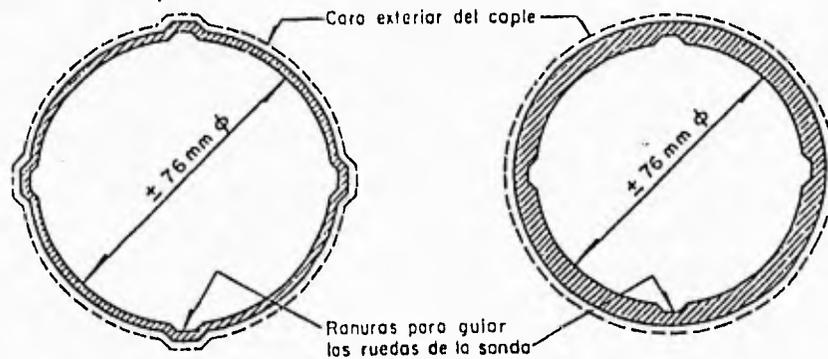


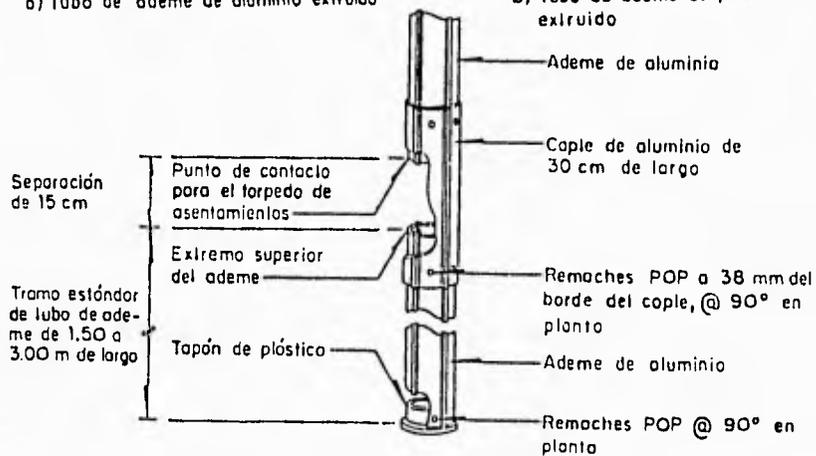
Fig. 4.1.c Principio de operación del inclinómetro

La misma tubería se utiliza para determinar el asentamiento de los terraplenes. El asentamiento se determina en el espacio de 15 cm dejado entre tubo y tubo, trasladando la elevación de la boca inferior de cada tubo a la superficie con una cinta de acero que se hace descender dentro de la columna de tubos, de la cual pende una sonda mecánica con aletas retractiles a los lados (Fig. 4.1.d), mismas que se atoran en el borde interior y aplicando una tensión constante a la cinta por medio de dinamómetros, se puede transferir su posición vertical a un nivel que el topógrafo establezca en la superficie.



a) Tubo de ademe de aluminio extruido

b) Tubo de ademe de plástico ABS extruido



c) Instalación de un cople deslizante de 30 cm de largo en el tubo de ademe de aluminio

Para la instalación de la tubería se deben cubrir los aspectos siguientes:

a) Referencias topográficas provisionales para la localización de los inclinómetros.

Se construyen para establecer una línea paralela y una diagonal al eje de la cortina y cuya intersección marcará el centro de la boca de cada uno de los inclinómetros instalados en la cortina. Son mojoneras o monumentos de concreto armado $f'c = 100$ construidas sobre las laderas, empotradas en roca firme.

Estas referencias deben estar ligadas a vértices de la triangulación de control, teniendo las coordenadas topográficas correspondientes, así como del punto de intersección y de esta forma tener coordenadas de la boca del inclinómetro.

b) Barreno para desplante de inclinómetro.

Tiene la finalidad de fijar la base del inclinómetro para referir las mediciones a este punto. Se desplantará en un barreno de 4 a 5 metros de profundidad y 6 pulgadas de diámetro. La verticalidad tolerable será de 1 %, deberá estar libre de azolves al terminar la perforación, protegiéndolo con un tapón en su parte superior para evitar la entrada de material. El brocal del barreno se debe localizar topográficamente.

IV.3.2 NIVEL HIDRAULICO

Este dispositivo se diseño con la finalidad de medir asentamientos en puntos internos de la cortina, a lo largo de un alineamiento próximo al horizontal.

La posición vertical de un punto dentro de un terraplén se puede trasladar horizontalmente a un lugar conveniente fuera de la estructura, mediante un nivel de manguera dotado de un dispositivo de derrame (vertedor). La presión hidráulica necesaria para hacer que el agua derrame por el vertedor se mide con precisión en un punto de elevación conocida a partir de la cual se puede calcular la elevación del dispositivo.

El principio de operación se muestra esquemáticamente en la Fig. 4.2. El tubo de aire es necesario para mantener la misma presión en las dos superficies de agua y el tubo de drenaje permite desalojar el agua que se derrama del vertedor; estas operaciones se pueden combinar instalando un tubo metálico telescópico de protección de la manguera de agua, abierto a la atmósfera en la corona de la cortina.

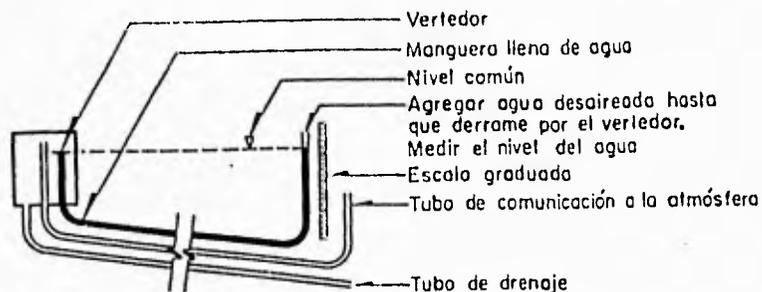


Fig. 4.2 Principio de medición del vertedor
(Medidor hidráulico de asentamientos).

Se debe tener cuidado al seleccionar el diámetro de la manguera de agua y evitar burbujas de aire dentro de ella haciendo circular agua desaireada.

Instalación de los niveles hidráulicos.- Definiendo los trazos de los ejes para la instrumentación de los niveles hidráulicos en la cortina, la brigada de topografía apoya en la instalación de los aparatos, con las siguientes actividades:

- a) Trazo topográfico del nivel hidráulico correspondiente.
- b) Control de la excavación (según datos del proyecto)
- c) Localización del nivel hidráulico para ubicar el material fino.
- d) Colocación de ductos y niveles hidráulicos.
- e) Alineamiento de la tubería ya instalada

f) Nivelación definitiva respetando datos de proyecto del lomo hidráulico de la tubería.

e) En seguida se efectúa una nivelación de precisión de la pipeta del vertedor hidráulico instalado un día antes. En ese momento, la brigada de mediciones lleva a cabo lecturas desde una caseta de instrumentación instalada en la corona de la cortina, inmediatamente se traslada la brigada para nivelar el "0" de escala. Ambas lecturas deben coincidir, es decir:

Elevación "0" de escala + lectura del aparato = elevación de pipeta.

Conjuntamente, entre la brigada de topografía y la brigada de mediciones, debe existir una absoluta coordinación y precisión, para que ambas lecturas coincidan.

IV.3.3 ACELEROGRAFOS

El acelerógrafo es un instrumento que sirve para medir movimientos fuertes del suelo de forma que los registros puedan ser leídos directamente con aceleración. Existen dos tipos de acelerógrafos: analógico y digital, registrando en forma continua (película fotográfica) y discreta (cinta magnética, memoria de estado sólido) respectivamente.

Actualmente en CFE la mayoría de los equipos son digitales, los cuales registran la aceleración en tres direcciones octagonales entre sí (dos horizontales y una vertical), a velocidad de 100 muestras por segundo. Tienen un umbral de disparo de 2 cm/s^2 y rango entre 0.25 y 2 g, estos equipos son alimentados con baterías en flotación de 12 voltios.

Se instalan sobre la cortina, las laderas y sitios de interés, con el fin de contar con información detallada de las aceleraciones, velocidades, desplazamientos, etc., inducidos a las estructuras, lo cual permite estudiar fenómenos de amplificación, amortiguamiento y transmisión de ondas sísmicas deduciendo la magnitud de las cargas que soportan las estructuras y la respuesta dinámica de estas ante el sismo.

IV.3.4 PIEZOMETROS

Hay dos tipos de piezómetros:

1) PIEZOMETROS ABIERTOS.- Se utilizan para conocer la presión de poro que se desarrolla por el proceso de consolidación del terraplén en los materiales arcillosos y por el agua del embalse que penetra dentro de la cortina.

2) PIEZOMETROS ELECTRICOS.- Se utilizan para conocer el nivel freático dentro del subsuelo y es de gran utilidad para medir la eficiencia hidráulica de pantallas, sistemas de drenaje y subpresiones actuantes bajo las estructuras.

El instrumento consiste básicamente de un tubo vertical de PVC de 3/4 pulgadas de diámetro, cuyo extremo inferior tiene acoplado un bulbo ranurado, el conjunto se instala dentro de un barreno libre o ademado con camisa metálica ranurada, con un filtro de arena o gravilla alrededor del bulbo y sellado el barreno en la zona superior e inferior, para formar una cámara piezométrica a cierta profundidad dentro del barreno, por lo que es factible instalar una o varias cámaras en un mismo barreno. El nivel piezométrico se estabiliza dentro del tubo vertical al comunicarse por el bulbo y la medición se realiza introduciendo un indicador eléctrico unido a un cable graduado (sonda piezométrica), para conocer la profundidad; la cual se descuenta a la cota de la boca del piezómetro para conocer la cota piezométrica. Se instalaron doce piezómetros en la cimentación y siete en el cuerpo de la presa. Los piezómetros del cuerpo de la presa son de tipo eléctrico y los de la cimentación también pero instalados en paralelo con otros de tipo abierto.

IV.3.5 MEDIDORES DE JUNTAS

Los medidores de juntas son aparatos que se utilizan para medir apertura y cierre de las juntas de las losas de cimentación de la presa, se colocan dos referencias fijas en cada una de las losas, cualquier movimiento ocasiona que las pijas se muevan, el movimiento es medido por medio de un calibrador extensométrico; tomando lecturas directas e inversas, el calibrador es único para tomar lecturas a todas las referencias instaladas.

Equipo de medición: Micrómetros de carátula.

Son dispositivos mecánicos para la medición precisa de deformaciones axiales pequeñas, deflexiones y cambios de dimensiones, con este instrumento, el desplazamiento de un vástago metálico rectificado, colocado en contacto con el elemento que se mueve, se transmite a través de un mecanismo de piñón y cremallera a un tren de engranes que acciona a la aguja indicadora. El vástago está unido a un resorte de retorno para mantenerlo en contacto con el elemento móvil. Con el tren de engranes se pueden amplificar divisiones hasta de 0.001 mm en la carátula graduada y en algunos modelos se tiene carátula más pequeña para contar las revoluciones o número de vueltas de la aguja grande. (Fig. 4.3)

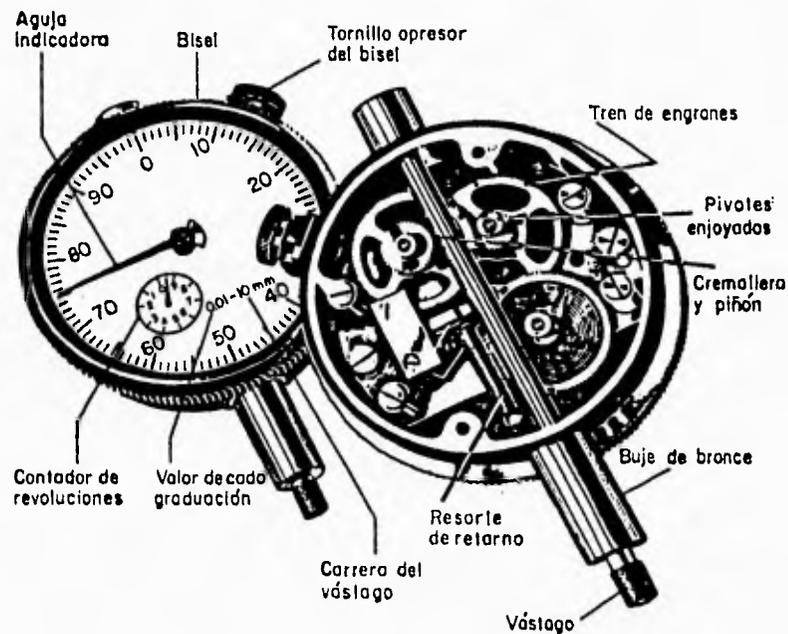


Fig. 4.3 Micrómetro de carátula

IV.3.6 TERMOMETROS ELECTRICOS

Se colocaron termómetros eléctricos en el cuerpo de la presa, para medir las temperaturas diariamente a diferentes elevaciones dentro del cuerpo de la cortina. La medición de esta variable permite además, conocer indirectamente las filtraciones a través del cuerpo de la presa.

IV.4 PROCEDIMIENTOS PARA LA INSTALACION DE INSTRUMENTOS

En la instrumentación de la presa de San Rafael, se instalaron una serie de grupos de instrumentos (Inclinómetros, piezómetros, medidores de juntas, etc.) cuya localización se indica en los planos de Proyecto de Instrumentación (Fig. 4.4, 4.5 y 4.6). El procedimiento utilizado para realizar la instalación de los instrumentos, se describe a continuación:

a) Preparación del plano para instrumentar la plataforma de instrumentos.

Dentro de los trabajos fundamentales en gabinete, se encuentra el de calcular analíticamente la posición de los aparatos en base a las características geométricas de la presa, también se deben ubicar registros de medición, estos resultados se representan en un plano que debe servir de guía durante la instalación.

b) Instalación de los aparatos en el sitio

Una vez que el nivel del terraplén sea el requerido para instrumentar, se realizan las actividades siguientes:

b.1) Trazo de la zanja de instrumentación donde se instalarán los ductos de protección de cables y mangueras, además de los aparatos.

b.2) Excavación de la zanja de acuerdo a las dimensiones establecidas en el proyecto de instrumentación.

b.3) Localización y trazo del lugar donde se instalarán los aparatos, de acuerdo a su posición indicada en el proyecto de instrumentación.

b.4) Al colocar los aparatos en el sitio se realizan series de mediciones antes y durante la instalación, para verificar el correcto funcionamiento de los mismos.

b.5) Finalizada la instalación de los aparatos, se localiza topográficamente cada uno, con el objeto de verificar sus coordenadas locales con cadenamientos y elevaciones.

b.6) Se realizan mediciones diarias en cada uno de los aparatos recientemente instalados para la observación de su comportamiento y de esta manera corregir (de ser necesario) alguna falla.

IV.4.1 ACTIVIDADES QUE REALIZA LA BRIGADA DE TOPOGRAFIA

La brigada de topografía del área de Instrumentación, realiza las siguientes actividades:

- 1) Observación de los inclinómetros.
- 2) Mediciones en la Atagüa de aguas arriba (Piezometría).
- 3) La topografía aplicada en la instalación de niveles hidráulicos e instalación de los grupos de aparatos en la presa. (Nivelaciones, localización y trazo de ejes, etc.)
- 4) Reconocimiento de campo para la ubicación de puntos de control planimétrico y altimétrico (Bases de centraje para distanciómetro).
- 5) Triangulación topográfica.
- 6) Instalación de referencias topográficas en la presa (puntos de control superficial).
- 7) Establecimiento de una red de nivelación de precisión a partir de las bases de centraje para distanciómetro.
- 8) Seccionamiento sobre los terraplenes de los grupos instalados en las atagüas.
- 9) Levantamiento de secciones longitudinales.
- 10) Ligar las bocas de los inclinómetros a los puntos de triangulación, propagando coordenadas.

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION



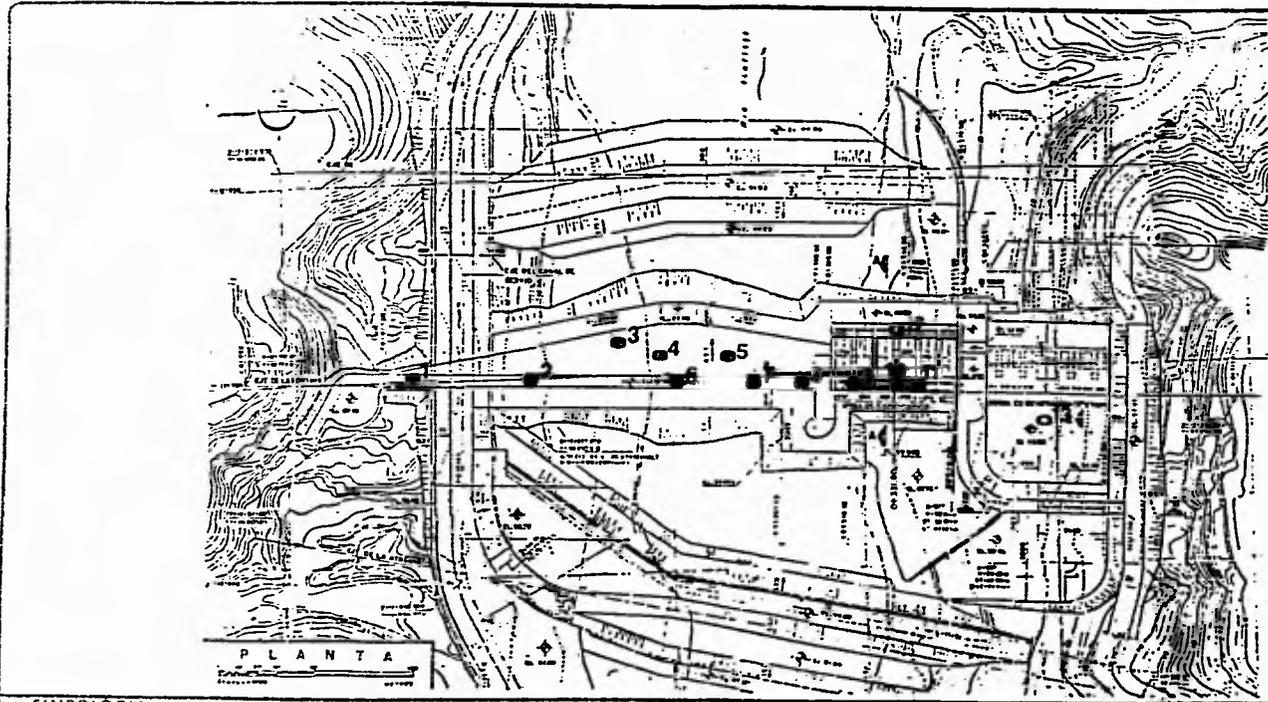
PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL

INSTRUMENTACION

PIEZOMETRIA

FORMA N. 07

HOJA DE



SIMBOLOGIA

● PIEZOMETRO ELECTRICO

○ PIEZOMETRO ABIERTO

FIG. 4.4

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION CORTINA
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

RELACION DE COORDENADAS DE BARRENOS PARA LA INSTALACION DE PIEZOMETROS
 ELECTRICOS Y ABIERTOS EN LA CORTINA DEL P.R.H. SAN RAFAEL

A) PIEZOMETROS ELECTRICOS

BARRENO	COORDENADAS LOCALES CADENAMIENTOS				DIAMETRO DE BARRENO	LONGITUD BARRENO m	ANGULO DE INCLINACION	OBSERVACIONES
	PUNTO	N (Y)	W (X)	Z				
PZE-3	BROCAL	0+190	0+317	46.0	3"	200	VERTICAL	
	FONDO	0+190	0+317	26.0				
PZE-4	BROCAL	0+217	0+317	46.0	3"	30.0	VERTICAL	
	FONDO	0+217	0+317	16.5				
PZE-5	BROCAL	0+239	0+317.5	46.0	3"	30.0	VERTICAL	
	FONDO	0+239	0+317.5	16.5				
PZE-8	BROCAL	0+316.5	0+303.0	48.0	3"	14.5	55°41'	PRIORITARIO
	FONDO	0+318.2	0+311.0	37.0				
PZE-9	BROCAL	0+338.5	0+303.0	48.0	3"	12.5	47°41'	PRIORITARIO
	FONDO	0+340.2	0+311.0	39.0				
PZE-10	BROCAL	0+353.0	0+303.0	48.0	3"	11.5	44°19'	PRIORITARIO
	FONDO	0+351.2	0+311.0	40.0				
PZE-13	BROCAL	0+338.5	0+330.5	48.0	3"	12.5	47°41'	PRIORITARIO
	FONDO	0+340.2	0+322.5	39.0				

B) PIEZOMETROS ABIERTOS

BARRENO	COORDENADAS LOCALES CADENAMIENTOS				DIAMETRO DE BARRENO	LONGITUD BARRENO m	ANGULO DE INCLINACION	OBSERVACIONES
	PUNTO	N (Y)	W (X)	Z				
PZ-1	BROCAL	0+085	0+306.5	67.85	3"	16.0	VERTICAL	
	FONDO	0+085	0+306.5	32.00				
PZ-2	BROCAL	0+149	0+306.5	67.85	3"	23.0	VERTICAL	
	FONDO	0+149	0+306.5	45.00				
PZ-6	BROCAL	0+215.5	0+306.5	67.85	4"	51.5	VERTICAL	
	FONDO	0+215.5	0+306.5	16.50				
PZ-12	BROCAL	0+250	0+306.5	67.85	4"	43.0	VERTICAL	
	FONDO	0+250	0+306.5	25.00				
PZ-7	BROCAL	0+250	0+306.5	67.85	3"	32.0	VERTICAL	
	FONDO	0+280	0+306.5	25.85				
PZ-11	BROCAL	0+420	0+306.5	41.90	3"	5.0	VERTICAL	
	FONDO	0+420	0+306.5	36.90				

C) TERMOPAR CIMENTACION

BARRENO	COORDENADAS LOCALES CADENAMIENTOS				DIAMETRO DE BARRENO	LONGITUD BARRENO m	ANGULO DE INCLINACION	OBSERVACIONES
	PUNTO	N (Y)	W (X)	Z				
TC-1	BROCAL	0+217	0+312	46.0	3"	24.0	VERTICAL	
	FONDO	0+217	0+312	21.5				

IV.5 METODOS TOPOGRAFICOS DE PRECISION APLICADOS A LA INSTRUMENTACION

Los métodos topográficos empleados en la instrumentación son fundamentales para determinar la magnitud y velocidad de desplazamientos horizontales y verticales. La precisión está controlada por la calidad de las técnicas de medición y por las características de los puntos medidos.

En general, donde quiera que se instalen instrumentos geotécnicos para medir deformaciones, también se aplicarán métodos topográficos para correlacionar los datos con puntos de control superficial, para tener una mayor cobertura de la zona de deformaciones, o para verificar la información.

Tienen la ventaja de poderse aplicar para determinar desplazamientos relativos entre puntos cercanos o el movimiento absoluto de muchos puntos, cubriendo un área relativamente grande ligada a bancos de nivel o mojonearas permanentes localizados a veces a más de 300 m entre sí. Sin embargo para alcanzar la precisión requerida, se deben tener presentes los errores propios de estos métodos y la forma de minimizarlos. En general el equipo empleado debe tener una precisión mayor que la buscada en el resultado final.

Los métodos topográficos de precisión aplicados en la instrumentación, deben cubrir las necesidades de control horizontal y vertical, por lo que se recurre a la triangulación topográfica y a la trilateración en forma combinada para el primer aspecto y a la nivelación de precisión para el segundo aspecto.

IV.5.1 EQUIPO TOPOGRAFICO DE PRECISION UTILIZADO

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION
1	Pza.	TAQUIMETRO ELECTRONICO DE PRECISION WILD TC2002 Precisión en medición angular: $\pm 0.5''$ (Desviación estándar Hz y V). Precisión en medición de distancias: 1 mm + 1 ppm , alcance con un prisma: 2 km en condiciones atmosféricas normales. Cuenta con compensador líquido en los dos ejes. Los datos de medición pueden transferirse a un módulo REC.
1	Pza.	<u>Módulo REC WILD GRM10</u> . Memoria de datos insertable al TC2002.
1	Jgo.	<u>Equipo para suministrar corriente al Wild TC2002</u> : 2 Baterías, cargador, cables de batería y cables de transmisión de datos.
4	Jgo.	<u>Sistema de reflector</u> : Base nivelante, soporte para reflector, portaprisma y señal de puntería.
6	Pza.	<u>Prisma</u>
1	Pza.	<u>Lector de datos universal WILD GIF10</u> . Sirve como interfaz universal entre un módulo REC y una computadora. Dispone de indicador y teclado incorporados, lo que permite visualizar o borrar datos memorizados en el módulo REC sin que sea necesario estar conectado a la computadora. Cuenta con batería interna.
1	Pza.	TEODOLITO UNIVERSAL WILD T2. Desviación estándar (Hz) : 0.8" Lectura directa 360° : 1"
1	Pza.	NIVEL DE PRECISION WILD N3. Desviación estándar (mm) para 1 km de doble nivelación con placa planoparalela: 0.2 ; delante del anteojo tiene montado un micrómetro de placa planoparalela con sistema óptico de lectura, con el que puede leerse directamente a 0.1 mm y estimarse a 0.01 mm.
2	Pza.	<u>MIRA DE PRECISION INVAR GPLE3N</u> de 3 m de longitud, con divisiones de 1 cm. Tiene certificado del coeficiente de dilatación y de calibración longitudinal.

IV.5.2 SISTEMAS DE TRABAJO

Se analizaron las distintas opciones que existen para la configuración de una triangulación (cadena de triángulos, polígono con punto central y cuadrilátero con diagonales) con el objeto de utilizar la más adecuada que garantice la precisión deseada y que se ajuste al tipo de terreno del proyecto; llegando a la conclusión de usar el cuadrilátero con diagonales, por ser el que se adapta mejor a los sistemas largos y angostos. Para tener un mejor resultado, se combinó con la trilateración determinando las longitudes de los lados por mediciones electrónicas con el fin de comparar y comprobar los valores obtenidos en la triangulación, resultando con esto el método llamado triangulateración.

IV.5.2.1 PUNTOS DE CONTROL SUPERFICIAL

Los procedimientos topográficos, son fundamentales para determinar la magnitud y velocidad de desplazamientos laterales y verticales. La precisión está controlada por la calidad de las técnicas de medición y por las características de los puntos medidos.

Estos puntos de control superficial son referencias topográficas instaladas en la cresta de la presa. Se instalaron 22 referencias topográficas en la presa (Fig. 4.7). Cada referencia topográfica esta constituida por un bulón y una pija ahogados en concreto.

Bulón.- Es un dispositivo de diseño exclusivo de Leica S.A. de C.V., en el cual se coloca un sistema para medición electrónica, este sistema consiste en una base nivelante para centrado forzoso, un soporte para reflector, un prisma y una señal de puntería. Durante su instalación en la superficie de la presa, se va controlando su verticalidad con un nivel esférico que se adapta al dispositivo. Este dispositivo sirve para el control planimétrico.



PROYECTO HIDROELECTRICO SAN RAFAEL
INSTRUMENTACION

● REFERENCIAS TOPOGRAFICAS

FORMA A. D.
NOVA 01

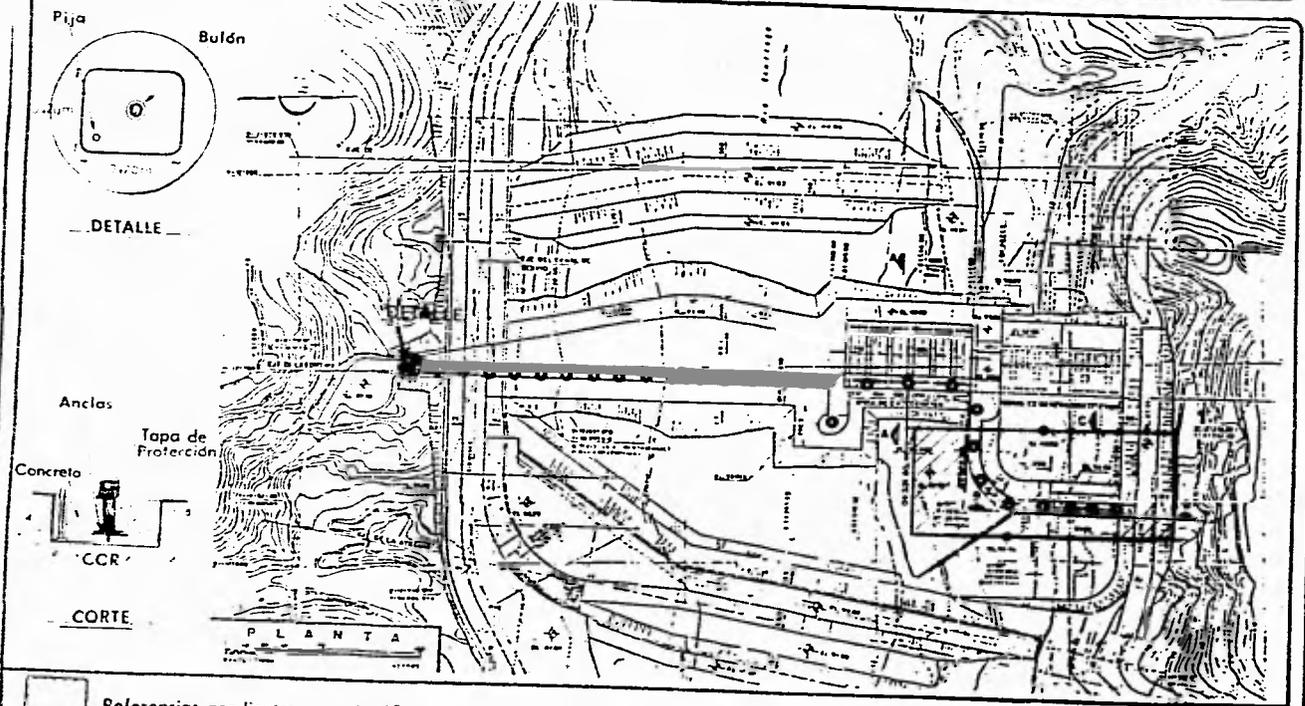


FIG. 47

Pija.- Es un elemento fijo que sustituye al sapo (accesorio donde asienta la mira de nivelación de precisión), y al igual que el bulón se alojan dentro de una pequeña losa de concreto de 0.20 X 0.20 m y 8 cm de espesor. Este elemento sirve para el control altimétrico.

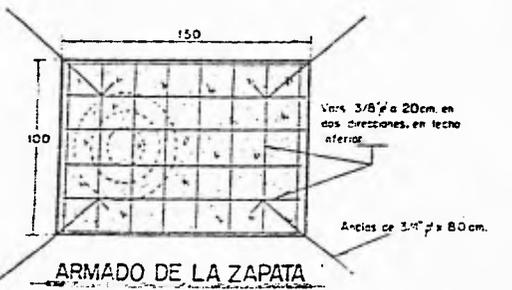
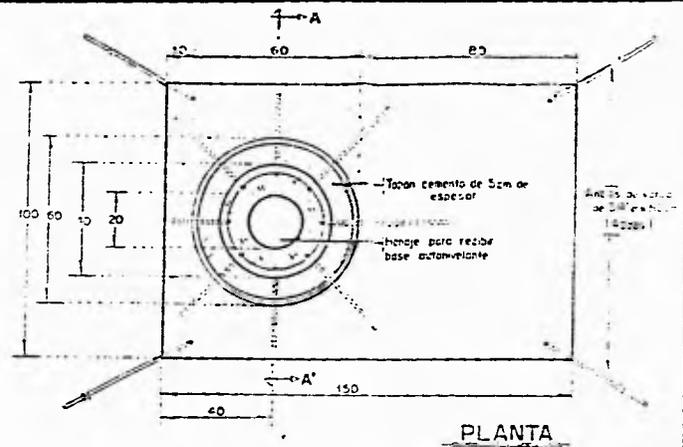
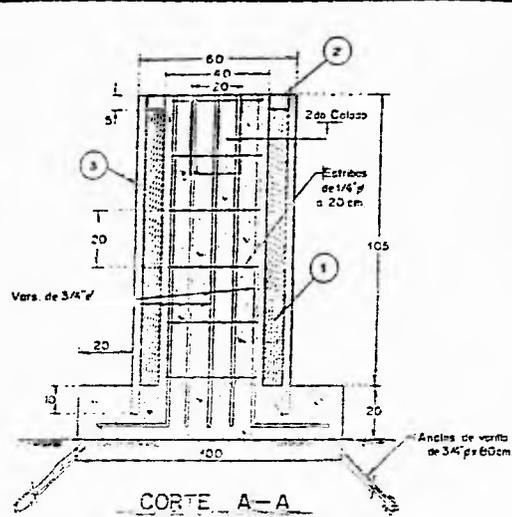
IV.5.2.2 BASES DE CENTRAJE PARA DISTANCIOMETRO

Para el apoyo planimétrico, se formaron dos cuadriláteros definidos por 6 vértices monumentados con mojoneras cilíndricas de concreto armado tipo pedestal, con adaptaciones en su parte superior de tal forma que el equipo de medición (TC2002) se fija, omitiendo así el uso del tripié. Estas mojoneras especiales, son conocidas como BASES DE CENTRAJE PARA DISTANCIOMETRO (Fig. 4.8). Al TC2002 se le cambia la base nivelante por una base de centrado forzoso y se coloca sobre un dispositivo fijo en la Base de Centraje; únicamente se nivela el instrumento y se introducen los parámetros de medida (unidades: m ó ft, 360° ó 400 gon, ppm, etc.) para empezar las mediciones.

Para el apoyo altimétrico, las Bases de Centraje para Distanciómetro sirvieron también como Bancos de Nivel, colocándose una pija en la parte superior que sirve de apoyo para la colocación de las miras de nivelación.

Las 6 Bases de Centraje para Distanciómetro fueron identificadas como V1, V2, V3, V4, V5 y V6. Se construyeron adicionalmente 3 bases más (VA,VB y VC), como apoyo adicional para el control planimétrico y altimétrico de las referencias topográficas.

Cabe señalar que se pueden manejar coordenadas iniciales X, Y, Z, arbitrarias propias de la Instrumentación e independientes del sistema de coordenadas oficiales del proyecto; pero en esta ocasión se manejó el mismo sistema de coordenadas que se utilizó para la construcción del proyecto, para que las Bases de Centraje pudieran servir de apoyo a otras áreas de estudio de CFE.



- NOTAS:**
- 1 AISLANTE TERMICO. A BASE DE POLIURETANO EXPANSIVO O FIELTRO. LLENAR HASTA 5cms ANTES DEL BORDE.
 - 2 SELLAR CON CEMENTO (GRAVA-ARENA)
 - 3 TUBO DE ASBESTO ANCLADO 10 cm. EN LA ZAPATA.
- SELECCIONAR SITIOS Y PROFUNDIDAD DEL ANCLAJE. EN FUNCION DEL TIPO DE ROCA Y ESTADO DE AGREGTAMENTO.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD SUBDIRECCION TECNICA INSTRUMENTACION CORONA	
TITULO BASE DE CENTRAJE PARA DISTANCIOMETRO	
FIG No	

IV.5.2.3 MEDICIONES ANGULARES HORIZONTALES

De los diversos métodos que existen para la medición de ángulos horizontales, se optó por utilizar el de direcciones de BESSEL, ya que es el más recomendable para los trabajos de precisión. Con este método se miden las direcciones a las estaciones en el sentido de giro de las manecillas del reloj a partir de una línea que se considera inicial; el ángulo en la estación entre líneas a cualquier par de puntos está dado por la diferencia de sus respectivas direcciones.

En cada vértice se tomaron 6 series, considerando que una serie está comprendida de una lectura directa y una inversa, rechazando las que no estuvieron dentro de una tolerancia de $\pm 4''$, comparadas con el promedio general de las series.

Por tratarse de un equipo electrónico, se elimina el error de graduación; por lo que se tomó un sólo origen para todas las lecturas en cada serie. La tolerancia en cierres angulares de cada uno de los triángulos que conformaron un cuadrilátero estuvieron dentro del orden de $2''$. El TC2002 tiene memorizado el error de colimación, de fábrica.

IV.5.2.4 MEDICIONES ANGULARES VERTICALES

El taquímetro electrónico TC2002 reduce al horizonte las distancias inclinadas medidas y calcula además las distancias verticales o desniveles, mediante funciones internas, llevando así una nivelación trigonométrica; por lo que la medición de ángulos verticales fue utilizada sólo para comprobar algún dato que se omitiera o que generara incertidumbre. El TC2002 tiene memorizado el valor del error de índice vertical, el valor memorizado se toma en cuenta para cada medición de ángulos horizontales. Al igual que el error de colimación, el error de índice vertical puede ser determinado y memorizado en cualquier momento.

IV.5.2.5 MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS

El Wild TC2002 es un T2002 (Teodolito electrónico de precisión) con un DI2002 (Distanciómetro electrónico de precisión coaxial) integrado. Este taquímetro cuenta con un programa de medición angular y lineal el cual incluye correcciones a las distancias por temperatura y presión atmosférica.

PRINCIPIO DE MEDICION

El distanciómetro emplea un rayo de luz como onda portadora, este rayo se origina por medio de un diodo de arseniuro de galio (As Ga) y es controlado por un servomecanismo que, por medio de un reloj digital de cuarzo, calcula el tiempo que tarda el rayo de luz desde que sale del servoemisor hasta que regresa al servoreceptor después de haberse reflectado en un prisma colocado en uno de los extremos de la línea y con este dato el computador integrado dentro del aparato, obtiene la distancia.

El cálculo se efectúa con base a la relación existente entre la distancia por conocer y la longitud de la onda transmitida que se conoce. Por lo general, la frecuencia de las ondas se mantiene constante por medio de cristales de cuarzo. La longitud de onda emitida es igualada con la longitud de onda de regreso y el tiempo transcurrido se mide en un circuito eléctrico de retardo calibrado con gran precisión. De esta manera se encuentra el tiempo de los recorridos de ida y regreso, y por lo tanto, la distancia al otro extremo.

Se tomaron como mínimo 3 series de mediciones en cada vértice, con el modo de repeticiones que tiene configurado el aparato, midiendo 3 veces la distancia para obtener una promedio en cada medición.

IV.5.2.6 REGISTROS DE CAMPO

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD INSTRUMENTACION P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.	CUADRILATERO No. 1 FECHA: Lunes 19 / SEPTIEMBRE / 1994 Hoja 1 de 4
TRIANGULATERACION	

EST.	P.V.	ANGULO	ANGULO	ANGULO	DISTANCIA	POS.	OBS.
		HORIZONTAL	INTERNO	VERTICAL			
		° ' "	° ' "	° ' "	(m)		
V1	V4	186 58 57.3		88 43 44.0	447.8841	I	38°C
	V5	227 32 37.4	40 33 40.1	91 29 48.8	649.3607		
	V2	265 37 46.7	38 05 09.3	90 46 43.1	441.0560		
V1	V4	6 58 51.6		271 16 06.5	447.8844	II	
	V5	47 32 30.3	40 33 38.7	268 30 00.0	649.3600		
	V2	85 37 41.2	38 05 10.9	269 13 09.0	441.0556		
V1	V4	186 58 57.3		88 43 46.7	447.8845	I	37°C
	V5	227 32 38.9	40 33 40.6	91 29 47.2	649.3615		
	V2	265 37 46.7	38 05 07.8	90 46 40.7	441.0563		
V1	V4	6 58 51.1		271 16 03.0	447.8850	II	
	V5	47 32 29.4	40 33 38.3	268 30 03.5	649.3607		
	V2	85 37 42.1	38 05 12.7	269 13 07.3	441.0560		
V1	V4	186 58 59.5		88 43 44.5	447.8842	I	36°C
	V5	227 32 38.6	40 33 39.1	91 29 50.2	649.3611		
	V2	265 37 46.0	38 05 07.4	90 46 43.0	441.0563		
V1	V4	6 58 53.1		271 16 04.1	447.8850	II	
	V5	47 32 30.4	40 33 37.3	268 30 01.3	649.3603		
	V2	85 37 42.3	38 05 11.9	269 13 06.1	441.0560		

PROMEDIO	<u>ANGULO</u>	<u>DISTANCIA</u>
	V1V4V5 = 49° 33' 39.02"	V1 → V4 = 447.8845 m
	V1V5V2 = 38° 05' 10.00"	V1 → V5 = 649.3607 m
		V1 → V2 = 441.0560 m

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
INSTRUMENTACION
P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

CUADRILATERO No. 1
FECHA: Lunes 19 / SEPTIEMBRE / 1994
Hoja 2 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL	ANGULO INTERNO	ANGULO VERTICAL	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V2	V1	221 27 07.0		89 13 27.0	441.0566	II	35°C
	V4	272 39 56.8	51 12 49.8	88 22 57.7	563.3423		
	V5	321 22 17.9	48 42 21.1	91 32 44.8	406.6278		
V2	V1	41 26 58.5		270 46 35.4	441.0563	I	
	V4	92 39 47.0	51 12 48.5	271 37 00.3	563.3423		
	V5	141 22 14.8	48 42 27.8	268 27 15.5	406.6279		
V2	V1	221 27 04.5		89 13 27.9	441.0566	II	34°C
	V4	272 39 57.3	51 12 52.8	88 22 58.5	563.3421		
	V5	321 22 20.2	48 42 22.9	91 32 41.2	406.6279		
V2	V1	41 26 56.9		270 46 28.7	441.0566	I	
	V4	92 39 52.6	51 12 55.7	271 36 58.3	563.3421		
	V5	141 22 12.4	48 42 19.8	268 27 15.2	406.6279		
V2	V1	221 27 07.3		89 13 28.0	441.0567	II	34°C
	V4	272 39 57.3	51 12 50.0	88 22 58.4	563.3424		
	V5	321 22 17.1	48 42 19.8	91 32 41.6	406.6279		
V2	V1	41 26 58.6		270 46 31.6	441.0569	I	
	V4	92 39 50.7	51 12 52.1	271 36 59.3	563.3426		
	V5	141 22 12.1	48 42 21.4	268 27 12.5	406.6283		

PROMEDIO

ANGULO	DISTANCIA
V2V1V4 = 51° 12' 51.48"	V2 → V1 = 441.0567 m
V1V5V2 = 48° 42' 22.13"	V2 → V4 = 563.3424 m
	V2 → V5 = 406.6280 m

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
INSTRUMENTACION
P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

CUADRILATERO No. 1
FECHA: Lunes 19 / SEPTIEMBRE / 1994
Hoja 3 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL	ANGULO INTERNO	ANGULO VERTICAL	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V5	V2	31 08 24.1		271 32 23.5	406.6283	I	37°C
	V1	73 08 12.8	41 59 48.7	271 29 26.1	649.3602		
	V4	116 25 54.8	43 17 42.0	273 37 10.4	424.6910		
V5	V2	211 08 31.7		88 27 25.0	406.6274	II	
	V1	253 08 12.8	41 59 41.1	88 30 23.1	649.3592		
	V4	296 25 59.9	43 17 47.1	86 22 43.6	424.6902		
V5	V2	31 08 24.3		271 32 23.1	406.6283	I	36°C
	V1	73 08 05.4	41 59 41.1	271 29 25.6	649.3602		
	V4	116 25 54.3	43 17 48.9	273 37 08.5	424.6909		
V5	V2	211 08 31.2		88 27 21.0	406.6276	II	
	V1	253 08 12.3	41 59 41.1	88 30 22.1	649.3589		
	V4	296 26 01.0	43 17 48.7	86 22 40.3	424.6898		
V5	V2	31 08 24.7		271 32 24.8	406.6280	I	37°C
	V1	73 08 06.2	41 59 41.5	271 29 23.9	649.3599		
	V4	116 25 56.4	43 17 50.2	273 37 07.9	424.6908		
V5	V2	211 08 32.4		88 27 21.0	406.6273	II	
	V1	253 08 14.3	41 59 41.9	88 30 22.1	649.3587		
	V4	296 25 57.8	43 17 43.5	86 22 40.3	424.6895		

PROMEDIO	ANGULO	DISTANCIA
	V5V2V1 = 41° 59' 42.57"	V5 → V2 = 406.6278 m
V5V1V4 = 43° 17' 46.73"	V5 → V1 = 649.3595 m	
	V5 → V4 = 424.6904 m	

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

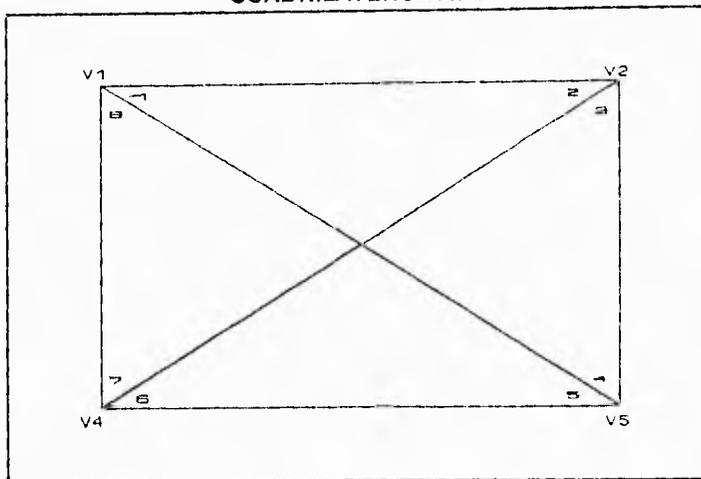
CUADRILATERO No. 1
 FECHA: Lunes 19 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 4 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL ° ' "	ANGULO INTERNO ° ' "	ANGULO VERTICAL ° ' "	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V4	V5	11 35 35.7		93 37 22.4	424.6919	I	36°C
	V2	57 35 52.2	46 00 16.5	91 37 14.8	563.3436		
	V1	107 44 11.4	50 08 19.2	91 16 16.3	447.8848		
V4	V5	191 35 25.5		266 22 24.1	424.6904	II	
	V2	237 35 40.5	46 00 15.0	268 22 35.4	563.3430		
	V1	287 44 06.7	50 08 26.2	268 43 34.0	447.8846		
V4	V5	11 35 35.6		93 37 22.6	424.6916	I	35°C
	V2	57 35 49.1	46 00 13.5	91 37 14.2	563.3432		
	V1	107 44 11.4	50 08 22.3	91 16 11.8	447.8847		
V4	V5	191 35 29.1		266 22 25.9	424.6903	II	
	V2	237 35 40.8	46 00 11.7	268 22 33.6	563.3421		
	V1	287 44 06.1	50 08 25.3	268 43 32.1	447.8839		
V4	V5	11 35 36.1		93 37 22.9	424.6914	I	
	V2	57 35 49.6	46 00 13.5	91 37 12.7	563.3429		
	V1	107 44 11.0	50 08 21.4	91 16 13.2	447.8843		
V4	V5	191 35 27.4		266 22 28.1	424.6903	II	
	V2	237 35 43.0	46 00 15.6	268 22 37.5	563.3423		
	V1	287 44 03.5	50 08 20.5	268 43 36.5	447.8838		

PROMEDIO	ANGULO	DISTANCIA
	V4V5V2 = 46° 00' 14.30"	V4 → V5 = 424.6910 m
V4V2V1 = 50° 08' 22.48"	V4 → V2 = 563.3429 m	
	V4 → V1 = 447.8844 m	

CUADRILATERO No. 1



MEDICION LINEAL		PROMEDIO	MEDICION ANGULAR	
LADO	DISTANCIA		ANGULO No.	ANGULO
V1 → V2	441.0560		1	38° 05' 10.00"
V2 → V1	441.0567	441.0564	2	51° 12' 51.48"
V2 → V5	406.6280		3	48° 42' 22.13"
V5 → V2	406.6278	406.6279	4	41° 59' 42.57"
V5 → V4	424.6904		5	43° 17' 46.73"
V4 → V5	424.6910	424.6907	6	46° 00' 14.30"
V4 → V1	447.8844		7	50° 08' 22.48"
V1 → V4	447.8845	447.8845	8	40° 33' 39.02"
V5 → V1	649.3595		S U M A	360° 00' 08.71"
V1 → V5	649.3607	649.3601	1 + 2 + 3 + 4	180° 00' 06.18"
V4 → V2	563.3429		3 + 4 + 5 + 6	180° 00' 05.73"
V2 → V4	563.3424	563.3427	5 + 6 + 7 + 8	180° 00' 05.73"
			7 + 8 + 1 + 2	180° 00' 02.98"

$1 + 2 = 89^{\circ}18'01.48''$ $7 + 8 = 90^{\circ}42'04.7''$
 $5 + 6 = 89^{\circ}18'01.03''$ $3 + 4 = 90^{\circ}42'04.7''$

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY

CUADRILATERO No. 2
 FECHA: Martes 20 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 1 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL	ANGULO INTERNO	ANGULO VERTICAL	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V6	V3	137 24 45.9		89 08 32.7	553.7868	I	29°C
	V2	167 28 31.5	30 03 45.6	88 20 27.2	667.5685		
	V5	199 58 22.0	32 29 50.5	88 42 09.3	371.4497		
V6	V3	317 24 37.7		270 51 19.0	553.7869	II	
	V2	347 28 25.3	30 03 47.6	271 39 32.0	667.5684		
	V5	19 58 15.1	32 29 49.8	271 17 41.3	371.4500		
V6	V3	137 24 44.4		89 08 29.3	553.7864	I	
	V2	167 28 31.7	30 03 47.5	88 20 23.6	667.5680		
	V5	199 58 25.2	32 29 53.3	88 42 12.5	371.4497		
V6	V3	317 24 39.1		270 51 25.0	553.7867	II	
	V2	347 28 24.8	30 03 45.7	271 39 28.8	667.5686		
	V5	19 58 21.9	32 29 57.1	271 17 39.1	371.4501		
V6	V3	137 24 44.7		89 08 29.5	553.7869	I	30°C
	V2	167 28 29.1	30 03 45.0	88 20 26.0	667.5686		
	V5	199 58 22.3	32 29 52.6	88 42 13.1	371.4499		
V6	V3	317 24 39.2		270 51 22.6	553.7873	II	
	V2	347 28 25.4	30 03 46.2	271 39 29.9	667.5692		
	V5	19 58 20.0	32 29 54.6	271 17 45.2	371.4501		

PROMEDIO	ANGULO		DISTANCIA	
	V6V3V2 = 30° 03' 46.27"	V6 → V3 = 553.7868 m	V6 → V2 = 667.5686 m	V6 → V5 = 371.4499 m
V6V2V5 = 32° 29' 52.98"				

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

CUADRILATERO No. 2
 FECHA: Martes 20 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 2 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL	ANGULO INTERNO	ANGULO VERTICAL	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V5	V6	233 28 36.7		91 17 55.0	371.4509	I	32°C
	V3	310 10 06.7	76 41 30.0	90 00 47.0	505.0497		
	V2	351 35 13.6	41 25 06.9	88 27 24.4	406.6258		
V5	V6	53 28 27.1		268 41 59.8	371.4508	II	
	V3	130 10 03.1	76 41 36.0	269 59 07.0	505.0496		
	V2	171 35 08.3	41 25 05.2	271 32 29.8	406.6261		
V5	V6	233 28 42.4		91 17 51.7	371.4513	I	
	V3	310 10 06.8	76 41 24.4	90 00 47.2	505.0502		
	V2	351 35 12.3	41 25 05.5	88 27 27.8	406.6261		
V5	V6	53 28 31.3		268 42 01.8	371.4512	II	
	V3	130 10 02.2	76 41 30.9	269 59 08.7	505.0502		
	V2	171 35 08.6	41 25 06.4	271 32 32.7	406.6263		
V5	V6	233 28 39.6		91 17 56.3	371.4515	I	33°C
	V3	310 10 04.5	76 41 24.9	90 00 48.8	505.0506		
	V2	351 35 11.1	41 25 06.6	88 27 27.0	406.6266		
V5	V6	53 28 33.8		268 41 58.4	371.4512	II	
	V3	130 10 03.0	76 41 29.2	269 59 03.7	505.0506		
	V2	171 35 08.6	41 25 05.6	271 32 29.6	406.6268		

PROMEDIO

ANGULO

V5V6V3 = 76° 41' 29.23"
 V5V3V2 = 41° 25' 06.03"

DISTANCIA

V5 → V6 = 371.4512 m
 V5 → V3 = 505.0502 m
 V5 → V2 = 406.6263 m

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY

CUADRILATERO No. 2
 FECHA: Martes 20 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 3 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZDNTAL ° ' "	ANGULO INTERNO ° ' "	ANGULO VERTICAL ° ' "	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V2	V5	93 23 10.3		91 32 46.4	406.6276	I	35°C
	V6	122 46 44.0	29 23 33.7	91 39 53.7	667.5724		
	V3	178 36 56.8	55 50 12.8	91 53 32.2	335.2778		
V2	V5	273 23 02.7		268 27 09.0	406.6274	II	
	V6	302 46 41.5	29 23 38.8	268 20 05.7	667.5722		
	V3	358 36 49.5	55 50 08.0	268 06 25.6	335.2775		
V2	V5	93 23 13.2		91 32 41.4	406.6284	I	36°C
	V6	122 46 46.2	29 23 33.0	91 39 49.4	667.5733		
	V3	178 36 56.7	55 50 10.5	91 53 30.9	335.2781		
V2	V5	273 23 11.2		268 27 11.7	406.6279	II	
	V6	302 46 40.3	29 23 29.1	268 20 00.7	667.5725		
	V3	358 36 51.4	55 50 11.1	268 06 24.4	335.2783		
V2	V5	93 23 13.9		91 32 46.6	406.6280	I	
	V6	122 46 44.8	29 23 30.9	91 39 51.4	667.5730		
	V3	178 36 57.6	55 50 07.8	91 53 29.7	335.2782		
V2	V5	273 23 01.9		268 27 13.1	406.6280	II	
	V6	302 46 42.0	29 23 40.1	268 20 00.9	667.5723		
	V3	358 36 48.1	55 50 06.1	268 06 23.7	335.2778		

PROMEDIO

ANGULO

V2V5V6 = 29° 23' 34.27"

V2V6V3 = 55° 50' 09.38"

DISTANCIA

V2 → V5 = 406.6279 m

V2 → V6 = 667.5726 m

V2 → V3 = 335.2780 m

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

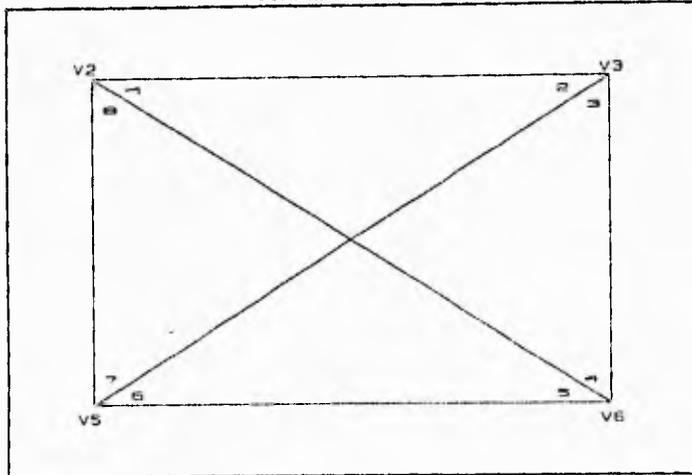
CUADRILATERO No. 2
 FECHA: Martes 20 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 4 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL ° ' "	ANGULO INTERNO ° ' "	ANGULO VERTICAL ° ' "	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V3	V2	00 24 00.0		88 06 45.0	335.2781	I	37°C
	V5	53 45 16.1	53 21 16.1	89 59 25.5	505.0517		
	V6	94 30 07.4	40 44 51.3	90 51 44.3	553.7899		
V3	V2	180 23 58.2		271 53 13.1	335.2783	II	
	V5	233 45 09.7	53 21 11.5	270 00 31.7	505.0514		
	V6	274 30 06.2	40 44 56.5	269 08 13.3	553.7898		
V3	V2	00 24 01.8		88 06 43.1	335.2782	I	38°C
	V5	53 45 12.7	53 21 10.9	89 59 26.8	505.0520		
	V6	94 30 09.5	40 44 56.8	90 51 44.2	553.7904		
V3	V2	180 23 59.2		271 53 15.5	335.2781	II	
	V5	233 45 13.6	53 21 14.4	270 00 31.9	505.0522		
	V6	274 30 05.1	40 44 51.5	269 08 16.4	553.7905		
V3	V2	00 24 01.5		88 06 45.4	335.2784	I	
	V5	53 45 15.7	53 21 14.2	89 59 26.6	505.0520		
	V6	94 30 10.8	40 44 55.1	90 51 42.1	553.7905		
V3	V2	180 23 57.3		271 53 14.8	335.2785	II	
	V5	233 45 07.6	53 21 10.3	270 00 32.9	505.0521		
	V6	274 30 06.9	40 44 59.3	269 08 13.9	553.7906		

PROMEDIO	ANGULO	DISTANCIA
	V3V2V5 = 53° 21' 12.90"	V3 → V2 = 335.2783 m
V3V5V6 = 40° 44' 55.08"	V3 → V5 = 505.0519 m	
	V3 → V6 = 553.7903 m	

CUADRILATERO No. 2



MEDICION LINEAL		PROMEDIO	MEDICION ANGULAR	
LADO	DISTANCIA		ANGULO No.	ANGULO
V2 → V3	335.2783		1	55° 50' 09.38"
V3 → V2	335.2780	335.2782	2	53° 21' 12.90"
V3 → V6	553.7903		3	40° 44' 55.08"
V6 → V3	553.7868	553.7886	4	30° 03' 46.27"
V6 → V5	371.4499		5	32° 29' 52.89"
V5 → V6	371.4512	371.4506	6	76° 41' 29.23"
V5 → V2	406.6263		7	41° 25' 06.03"
V2 → V5	406.6279	406.6271	8	29° 23' 34.27"
V2 → V6	667.5726		S U M A	360° 00' 06.05"
V6 → V2	667.5686	667.5706	1 + 2 + 3 + 4	180° 00' 03.63"
V5 → V3	505.0502		3 + 4 + 5 + 6	180° 00' 03.47"
V3 → V5	505.0519	505.0511	5 + 6 + 7 + 8	180° 00' 02.42"
			7 + 8 + 1 + 2	180° 00' 02.58"

$1 + 2 = 109^{\circ} 11' 22.28''$ $7 + 8 = 70^{\circ} 48' 40.30''$
 $5 + 6 = 109^{\circ} 11' 22.12''$ $3 + 4 = 70^{\circ} 48' 41.35''$

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
INSTRUMENTACION
P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

TRIANGULATERACION

CUADRILATERO No. 1

FECHA: Miércoles 21 / SEPTIEMBRE / 1994

Hoja 1 de 4

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL ° ' "	ANGULO INTERNO ° ' "	ANGULO VERTICAL ° ' "	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V1	V4	173 46 42.4		88 43 53.0	447.8835	I	31°C
	V5	214 20 25.3	40 33 42.9	91 29 52.0	649.3599		
	V2	252 25 33.8	38 05 08.5	90 46 47.9	441.0564		
V1	V4	353 46 37.1		271 16 11.1	447.8834	II	
	V5	34 20 16.9	40 33 39.8	268 30 08.6	649.3600		
	V2	72 25 23.9	38 05 07.0	269 13 09.0	441.0562		
V1	V4	173 46 42.6		88 43 50.5	447.8841	I	33°C
	V5	214 20 25.8	40 33 43.2	91 29 52.2	649.3610		
	V2	252 25 30.2	38 05 04.4	90 46 43.6	441.0572		
V1	V4	353 46 36.0		271 16 05.6	447.9948	II	
	V5	34 20 16.7	40 33 40.7	268 30 04.5	649.5813		
	V2	72 25 24.5	38 05 07.8	269 13 11.7	441.0973		
V1	V4	173 46 42.8		88 43 48.6	447.8839	I	36°C
	V5	214 20 26.2	40 33 43.4	91 29 53.0	649.3609		
	V2	252 25 32.2	38 05 06.0	90 46 48.9	441.0568		
V1	V4	353 46 39.4		271 16 08.3	447.8841	II	
	V5	34 20 19.5	40 33 40.1	268 30 04.3	649.3609		
	V2	72 25 25.2	38 05 05.7	269 13 05.6	441.0567		

PROMEDIO	ANGULO	DISTANCIA
	V1V4V5 = 40° 33' 41.68"	V1 → V4 = 447.8839 m
V1V5V2 = 38° 05' 06.57"	V1 → V5 = 649.3606 m	
	V1 → V2 = 441.0567 m	

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

CUADRILATERO No. 1
 FECHA: Miércoles 21 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 2 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL ° ' "	ANGULO INTERNO ° ' "	ANGULO VERTICAL ° ' "	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V2	V1	8 16 09.4		89 13 29.7	441.0571	I	35°C
	V4	59 28 59.2	51 12 49.8	88 23 00.8	563.3420		
	V5	108 11 24.1	48 42 24.9	91 32 45.3	406.6281		
V2	V1	188 16 08.7		270 46 30.5	441.0575	II	
	V4	239 28 54.9	51 12 49.2	271 37 00.2	563.3422		
	V5	288 11 21.5	48 42 23.6	268 27 13.3	406.6279		
V2	V1	8 16 11.1		89 13 29.4	441.0574	I	36°C
	V4	59 28 59.0	51 12 47.9	88 22 54.5	563.3423		
	V5	108 11 25.7	48 42 26.7	91 32 45.3	406.6283		
V2	V1	188 16 04.9		270 46 30.2	441.0578	II	
	V4	239 29 00.8	51 12 55.9	271 37 06.6	563.3422		
	V5	288 11 16.3	48 42 15.5	268 27 13.6	406.6282		
V2	V1	8 16 11.1		89 13 29.8	441.0574	I	36°C
	V4	59 28 59.5	51 12 48.4	88 22 55.7	563.3422		
	V5	108 11 24.0	48 42 24.5	91 32 42.0	406.6283		
V2	V1	188 16 08.4		270 46 29.1	441.0574	II	
	V4	239 28 58.7	51 12 50.3	271 37 00.0	563.3425		
	V5	288 11 18.4	48 42 19.7	268 27 13.6	406.6281		

PROMEDIO	ANGULO	DISTANCIA
	V2V1V4 = 51° 12' 50.25"	V2 → V1 = 441.0574 m
V1V5V2 = 48° 42' 22.48"	V2 → V4 = 563.3422 m	
	V2 → V5 = 406.6282 m	

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

CUADRILATERO No. 1
 FECHA: Miércoles 19 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 3 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL ° ' "	ANGULO INTERNO ° ' "	ANGULO VERTICAL ° ' "	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V5	V2	100 14 42.0		88 27 25.7	406.6272	I	36°C
	V1	142 14 25.0	41 59 43.0	188 30 26.7	649.3597		
	V4	185 32 09.2	43 17 44.2	86 22 43.7	424.6894		
V5	V2	280 14 38.8		271 31 31.0	406.6272	II	
	V1	322 14 17.5	41 59 38.7	27 29 29.7	649.3601		
	V4	5 32 06.8	43 17 49.3	273 37 09.1	424.6904		
V5	V2	100 14 43.5		88 27 26.7	406.6271	I	36°C
	V1	142 14 26.9	41 59 43.4	88 30 26.3	649.3595		
	V4	185 32 10.3	43 17 43.4	86 22 42.8	424.6892		
V5	V2	280 14 43.3		271 32 28.7	406.6276	II	
	V1	322 14 16.8	41 59 43.5	271 29 28.6	649.3602		
	V4	5 31 58.8	43 17 42.0	273 37 09.6	424.6904		
V5	V2	100 14 41.1		88 27 25.5	406.6270	I	37°C
	V1	142 14 21.1	41 59 40.0	88 30 26.1	649.3595		
	V4	185 32 08.2	43 17 47.1	86 22 45.3	424.6896		
V5	V2	280 14 37.0		271 32 29.7	406.6275	II	
	V1	322 14 20.3	41 59 43.3	271 29 29.5	649.3600		
	V4	5 32 09.9	43 17 49.6	273 37 09.0	424.6904		

PROMEDIO	ANGULO	DISTANCIA
	V5V2V1 = 41° 59' 41.98"	V5 → V2 = 406.6273 m
V5V1V4 = 43° 17' 45.93"	V5 → V1 = 649.3598 m	
	V5 → V4 = 424.6899 m	

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

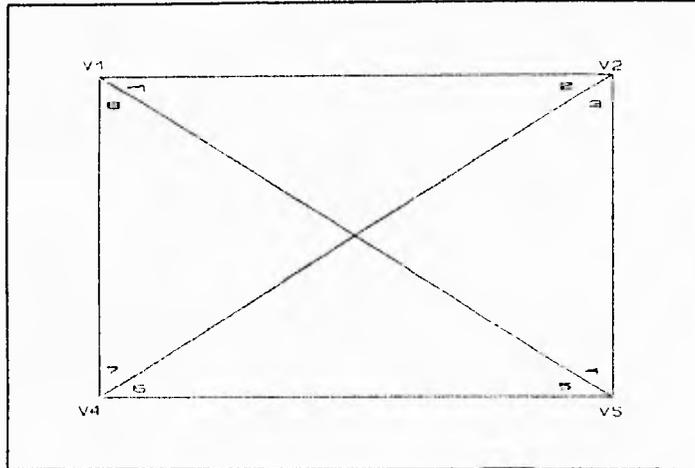
CUADRILATERO No. 1
 FECHA: Miércoles 21 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 4 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL	ANGULO INTERNO	ANGULO VERTICAL	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V4	V5	199 44 04.9		93 37 25.1	424.6912	II	35°C
	V2	245 44 18.6	46 00 13.7	91 37 15.7	563.3431		
	V1	295 52 39.3	50 08 20.7	91 16 18.5	447.8853		
V4	V5	19 43 59.5		266 22 25.8	424.6898	I	
	V2	65 44 16.1	46 00 16.6	268 22 35.3	563.3426		
	V1	115 52 34.0	50 08 17.9	268 43 36.6	447.8851		
V4	V5	199 44 06.5		93 37 23.9	424.6912	II	
	V2	245 44 20.9	46 00 14.4	91 37 16.7	563.3429		
	V1	295 52 39.8	50 08 18.9	91 16 18.6	447.8853		
V4	V5	19 44 01.1		266 22 25.0	424.6899	I	
	V2	65 44 14.3	46 00 13.2	268 22 35.9	563.3425		
	V1	115 52 37.0	50 08 22.7	268 43 34.2	447.8849		
V4	V5	199 44 08.6		93 37 23.2	424.6911	II	
	V2	245 44 20.9	46 00 12.3	91 37 15.8	563.3424		
	V1	295 52 42.7	50 08 21.8	91 16 18.1	447.8848		
V4	V5	19 44 02.3		266 22 25.0	424.6894	I	
	V2	65 44 12.6	46 00 10.6	268 22 35.4	563.3418		
	V1	115 52 33.8	50 08 21.2	268 43 32.9	447.8844		

PROMEDIO	ANGULO	DISTANCIA
	V4V5V2 = 46° 00' 13.47"	V4 → V5 = 424.6904 m
	V4V2V1 = 50° 08' 20.53"	V4 → V2 = 563.3426 m
		V4 → V1 = 447.8850 m

CUADRILATERO No. 1



MEDICION LINEAL		PROMEDIO	MEDICION ANGULAR	
LADO	DISTANCIA		ANGULO No.	ANGULO
V1 → V2	441.0567		1	38° 05' 06.57"
V2 → V1	441.0574	441.0571	2	51° 12' 50.25"
V2 → V5	406.6282		3	48° 42' 22.48"
V5 → V2	406.6273	406.6278	4	41° 59' 41.98"
V5 → V4	424.6899		5	43° 17' 45.93"
V4 → V5	424.6904	424.6902	6	46° 00' 13.47"
V4 → V1	447.8850		7	50° 08' 20.53"
V1 → V4	447.8839	447.8845	8	40° 33' 41.68"
V5 → V1	649.3598		S U M A	360° 00' 02.89"
V1 → V5	649.3606	649.3602	1 + 2 + 3 + 4	180° 00' 01.28"
V4 → V2	563.3426		3 + 4 + 5 + 6	180° 00' 03.86"
V2 → V4	563.3422	563.3424	5 + 6 + 7 + 8	180° 00' 01.61"
			7 + 8 + 1 + 2	179° 59' 59.03"

$1 + 2 = 89^{\circ} 17' 56.82''$ $7 + 8 = 90^{\circ} 42' 02.21''$
 $6 + 5 = 89^{\circ} 17' 59.40''$ $3 + 4 = 90^{\circ} 42' 04.46''$

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

CUADRILATERO No. 2
 FECHA: Jueves 22 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 1 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL	ANGULO INTERNO	ANGULO VERTICAL	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V3	V2	44 44 27.7		88 06 38.5	335.2774	I	37°C
	V5	98 05 36.9	53 21 09.2	89 59 22.1	505.0505		
	V6	138 50 34.5	40 44 57.6	90 51 37.3	553.7898		
V3	V2	224 44 22.2		271 53 14.3	335.2777	II	
	V5	278 05 32.3	53 21 10.1	270 00 31.6	505.0503		
	V6	318 50 34.5	40 44 55.2	269 08 16.3	553.7895		
V3	V2	44 44 26.1		88 06 33.9	335.2775	I	37°C
	V5	98 05 38.5	53 21 12.4	89 59 21.6	505.0506		
	V6	138 50 30.5	40 44 52.0	90 51 40.6	553.7901		
V3	V2	224 44 17.3		271 53 11.8	335.2782	II	
	V5	278 05 34.2	53 21 16.9	270 00 36.5	505.0506		
	V6	318 50 25.6	40 44 51.4	269 08 11.7	553.7898		
V3	V2	44 44 24.5		88 06 40.6	335.2777	I	
	V5	98 05 38.4	53 21 13.9	89 59 22.4	505.0505		
	V6	138 50 30.6	40 44 52.2	90 51 36.0	553.7903		
V3	V2	224 44 22.6		271 53 18.8	335.2778	II	
	V5	278 05 32.1	53 21 09.5	270 00 30.9	505.0506		
	V6	318 50 25.2	40 44 53.1	269 08 15.1	553.7898		

PROMEDIO	ANGULO	DISTANCIA
	V3V2V5 = 53° 21' 12.00"	V3 → V2 = 335.2777 m
	V3V5V6 = 40° 44' 53.58"	V3 → V5 = 505.0505 m
		V3 → V6 = 553.7899 m

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

CUADRILATERO No. 2
 FECHA: Jueves 22 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 2 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL	ANGULO INTERNO	ANGULO VERTICAL	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V2	V5	39 10 42.1		91 32 42.9	406.6279	I	38°C
	V6	68 34 12.8	29 23 30.7	91 39 50.6	667.5743		
	V3	124 24 21.2	55 50 08.4	91 53 27.4	335.2786		
V2	V5	219 10 31.2		268 27 12.4	406.6274	II	
	V6	248 34 06.8	29 23 35.6	268 20 05.5	667.5739		
	V3	304 24 13.6	55 50 06.8	268 06 25.2	335.2785		
V2	V5	39 10 30.0		91 32 39.7	406.6277	I	38°C
	V6	68 34 06.4	29 23 36.4	91 39 46.7	667.5745		
	V3	124 24 17.1	55 50 10.7	91 53 23.7	335.2788		
V2	V5	219 10 30.2		268 27 10.1	406.6272	II	
	V6	248 34 02.5	29 23 32.3	268 20 03.2	667.5736		
	V3	304 24 15.6	55 50 13.1	268 06 27.0	335.2785		
V2	V5	39 10 31.5		91 32 38.6	406.6278	I	
	V6	68 34 06.8	29 23 35.3	91 39 45.1	667.5751		
	V3	124 24 14.6	55 50 07.8	91 53 29.0	335.2786		
V2	V5	219 10 30.2		268 27 13.2	406.6278	II	
	V6	248 34 05.8	29 23 35.6	268 20 04.0	667.5741		
	V3	304 24 16.2	55 50 10.4	268 06 24.8	335.2783		

PROMEDIO	ANGULO	DISTANCIA
	V2V5V6 = 29° 23' 34.32"	V2 → V5 = 406.6276 m
	V2V6V3 = 55° 50' 09.53"	V2 → V6 = 667.5743 m
		V2 → V3 = 335.2786 m

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

CUADRILATERO No. 2
 FECHA: Jueves 22 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 3 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL ° ' "	ANGULO INTERNO ° ' "	ANGULO VERTICAL ° ' "	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V5	V6	193 27 17.5		91 17 56.8	371.4531	II	37°C
	V3	270 08 46.0	76 41 28.5	90 00 49.2	505.0520		
	V2	311 33 52.3	41 25 06.3	88 27 27.4	406.6275		
V5	V6	13 27 12.3		268 42 06.0	371.4533	I	
	V3	90 08 38.0	76 41 25.7	269 59 09.6	505.0523		
	V2	131 33 45.2	41 25 07.2	271 32 33.8	406.6275		
V5	V6	193 27 17.5		91 17 56.9	371.4538	II	
	V3	270 08 43.7	76 41 26.2	90 00 49.7	505.0522		
	V2	311 33 49.5	41 25 05.8	88 27 27.2	406.6274		
V5	V6	13 27 09.6		268 42 04.9	371.4535	I	
	V3	90 08 41.9	76 41 32.3	269 59 10.7	505.0524		
	V2	131 33 43.5	41 25 01.6	271 32 32.5	406.6277		
V5	V6	193 27 17.7		91 17 56.3	371.4533	II	36°C
	V3	270 08 45.1	76 41 27.4	90 00 51.5	505.0515		
	V2	311 33 51.2	41 25 06.1	88 27 25.5	406.6270		
V5	V6	13 27 12.9		268 42 03.5	371.4528	I	
	V3	90 08 40.2	76 41 27.3	269 59 14.8	505.0516		
	V2	131 33 45.5	41 25 05.3	271 32 34.7	406.6270		

PROMEDIO	ANGULO	DISTANCIA
	V5V6V3 = 76° 41' 27.90"	V5 → V6 = 371.4533 m
V5V3V2 = 41° 25' 05.38"	V5 → V3 = 505.0520 m	
	V5 → V2 = 406.6274 m	

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 INSTRUMENTACION
 P.R.H. SAN RAFAEL, NAY

CUADRILATERO No. 2
 FECHA: Jueves 22 / SEPTIEMBRE / 1994
 Hoja 4 de 4

TRIANGULATERACION

EST.	P.V.	ANGULO HORIZONTAL " ' "	ANGULO INTERNO " ' "	ANGULO VERTICAL " ' "	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	POS.	OBS.
V6	V3	65 24 07.3		89 08 34.8	553.7884	I	35°C
	V2	95 27 52.9	30 03 45.6	88 20 30.4	667.5700		
	V5	127 57 44.6	32 29 51.7	88 42 18.7	371.4512		
V6	V3	245 24 02.6		270 51 31.6	553.7883	II	
	V2	275 27 49.8	30 03 47.2	271 39 34.7	667.5698		
	V5	307 57 39.4	32 29 49.6	271 17 46.9	371.4511		
V6	V3	65 24 13.3		89 08 37.8	553.7886	I	
	V2	95 27 58.5	30 03 45.2	88 20 26.5	667.5698		
	V5	127 57 47.8	32 29 49.3	88 42 16.1	371.4510		
V6	V3	245 24 05.8		270 51 28.6	553.7884	II	
	V2	275 27 50.8	30 03 45.0	271 39 34.6	667.5698		
	V5	307 57 43.7	32 29 52.9	271 17 44.0	371.4514		
V6	V3	65 24 12.3		89 08 38.8	553.7886	I	34°C
	V2	95 28 00.5	30 03 48.2	88 20 26.4	667.5690		
	V5	127 57 49.1	32 29 46.6	88 42 13.1	371.4509		
V6	V3	245 24 08.5		270 51 21.1	553.7881	II	
	V2	275 27 54.7	30 03 46.2	271 39 30.0	667.5694		
	V5	307 57 44.4	32 29 49.7	271 17 46.5	371.4510		

PROMEDIO

ANGULO

V6V3V2 = 30° 03' 46.23"

V6V2V5 = 32° 29' 50.30"

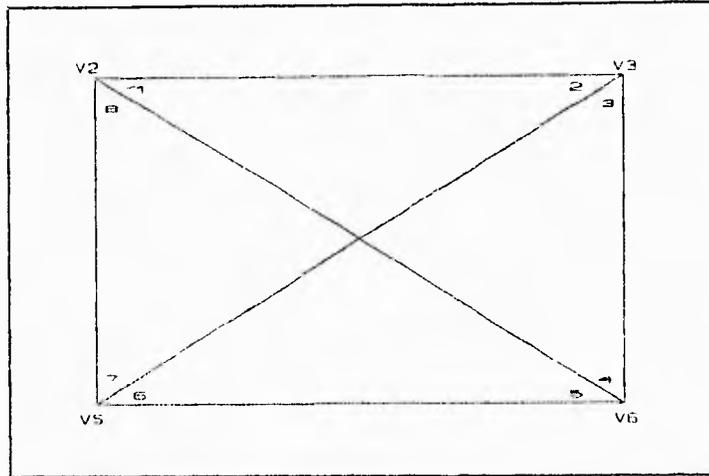
DISTANCIA

V6 → V3 = 553.7884 m

V6 → V2 = 667.5696 m

V6 → V5 = 371.4511 m

CUADRILATERO No. 2



MEDICION LINEAL		PROMEDIO	MEDICION ANGULAR	
LADO	DISTANCIA		ANGULO No.	ANGULO
V2 → V3	335.2786		1	55° 50' 09.53"
V3 → V2	335.2777	335.2782	2	53° 21' 12.00"
V3 → V6	553.7899		3	40° 44' 53.58"
V6 → V3	553.7884	553.7892	4	30° 03' 46.23"
V6 → V5	371.4511		5	32° 29' 50.30"
V5 → V6	371.4533	371.4522	6	76° 41' 27.90"
V5 → V2	406.6274		7	41° 25' 05.35"
V2 → V5	406.6276	406.6275	8	29° 23' 34.32"
V2 → V6	667.5743		S U M A	
V6 → V2	667.5696	667.5720	1 + 2 + 3 + 4	180° 00' 01.24"
V5 → V3	505.0520		3 + 4 + 5 + 6	179° 59' 58.01"
V3 → V5	505.0505	505.0513	5 + 6 + 7 + 8	179° 59' 57.90"
			7 + 8 + 1 + 2	180° 00' 01.23"

$1 + 2 = 109^{\circ} 11' 21.53''$ $7 + 8 = 70^{\circ} 46' 39.70''$
 $5 + 6 = 109^{\circ} 11' 18.20''$ $3 + 4 = 70^{\circ} 48' 39.81''$

IV.5.2.7 COMPENSACIÓN DE LAS FIGURAS POR MÍNIMOS CUADRADOS

El objeto de la compensación de una triangulación, es encontrar los valores más probables de las correcciones a los ángulos observados, pues éstos quedan afectados por errores. El número de ángulos necesarios es igual a $A_n = 2(V-2)$, siendo V el número de vértices y si el número de ángulos observados es igual a A_o , el número total de ecuaciones de condición tendrá un valor de: $C_t = A_o - 2V + 4$.

Las ecuaciones de condición se dividen en:

- a) Ecuaciones de condición de ángulos
- b) Ecuaciones de condición de lados

Fórmulas para determinar el número de cada una de ellas:

$$C_l = L_o - 1 - 2(V-2)$$

$$C_A = A_o - L_o + 1$$

Donde:

C_l = Número de ecuaciones de condición de lados

C_A = Número de ecuaciones de condición de ángulos

L_o = Lados observados

Aplicando las anteriores expresiones a nuestro caso particular, es decir, de un cuadrilátero con diagonales, el número de ecuaciones de condición es como sigue:

Datos:

$$A_o = 8 \quad C_t = 8 - 2(4 - 2) = 4$$

$$L_o = 6 \quad C_A = 8 - 6 + 1 = 3$$

$$V = 4 \quad C_l = 6 - 1 - 2(4-2) = 1$$

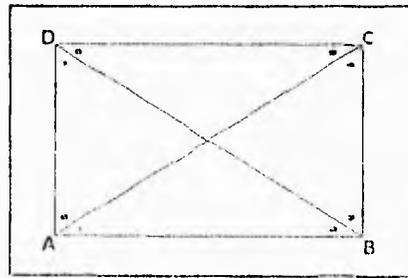
Las ecuaciones de condición se establecen utilizando las propiedades geométricas de las figuras y pueden ser tomadas al albedrío del que realiza el ajuste, siempre y cuando todas sean independientes unas de otras.

Las tres ecuaciones de condición de ángulos, pueden establecerse de varias maneras: igualando a 180° la suma de los tres ángulos de tres de los triángulos; o considerando en lugar de uno de los triángulos, el cuadrilátero entero; ó bien igualando la suma de los ángulos opuestos al vértice en que se intersectan las dos diagonales. El cuarto triángulo ya no da condición independiente, pues si los tres primeros satisfacen la condición de que la suma de sus ángulos sea igual a 180° , forzosamente la satisfará el cuarto. La cuarta condición, llamada de lados, se encuentra calculando un lado en función de otro, por dos caminos diferentes e igualando los resultados.

Ecuaciones de condición de ángulos:

$$\begin{aligned} (1) + (2) &= (6) + (5) \\ (7) + (8) &= (3) + (4) \\ (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6) + (7) + (8) &= 360^\circ \end{aligned}$$

I
II
III



Cuadrilátero con diagonales

Ecuación de condición de lados:

$$\begin{aligned} \frac{CB}{\text{sen } (1)} &= \frac{AB}{\text{sen } (4)} & AB &= CB \frac{\text{sen } (4)}{\text{sen } (1)} \\ \frac{CB}{\text{sen } (6)} &= \frac{DC}{\text{sen } (3)} & CB &= DC \frac{\text{sen } (6)}{\text{sen } (3)} \\ \frac{DC}{\text{sen } (8)} &= \frac{DA}{\text{sen } (5)} & DC &= DA \frac{\text{sen } (8)}{\text{sen } (5)} \\ \frac{DA}{\text{sen } (2)} &= \frac{AB}{\text{sen } (7)} & DA &= AB \frac{\text{sen } (2)}{\text{sen } (7)} \end{aligned}$$

Entonces:

$$AB = AB \frac{\text{sen } (4)}{\text{sen } (1)} \frac{\text{sen } (6)}{\text{sen } (3)} \frac{\text{sen } (8)}{\text{sen } (5)} \frac{\text{sen } (2)}{\text{sen } (7)}$$

Por lo tanto:

$$1 = \frac{\text{sen } (2)}{\text{sen } (1)} \frac{\text{sen } (4)}{\text{sen } (3)} \frac{\text{sen } (6)}{\text{sen } (5)} \frac{\text{sen } (8)}{\text{sen } (7)}$$

IV Ecuación de condición de lados

Esto es en el caso de que los ángulos medidos no tuviesen error; pero como esto no es así, habrá que agregar a cada ángulo una corrección V_i .

$$(1) + V_1 + (2) + V_2 + (3) + V_3 + (4) + V_4 + (5) + V_5 + (6) + V_6 + (7) + V_7 + (8) + V_8 = 360^\circ$$

Así que para cada ecuación de condición de ángulos:

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 = 360^\circ - (1) - (2) - (3) - (4) - (5) - (6) - (7) - (8) = W1 \quad \text{Ec. (a)}$$

$$V_1 + V_2 - V_5 - V_6 = (6) + (5) - (1) - (2) = W2 \quad \text{Ec. (b)}$$

$$V_7 + V_8 - V_3 - V_4 = (3) + (4) - (7) - (8) = W3 \quad \text{Ec. (c)}$$

Puesto que:

$$\log \operatorname{sen} [(1) + V_1] = \log \operatorname{sen} (1) + V_1 D_1$$

Y así sucesivamente:

$$\log \operatorname{sen} (1) + V_1 D_1 + \log \operatorname{sen} (3) + V_3 D_3 + \log \operatorname{sen} (5) + V_5 D_5 + \log \operatorname{sen} (7) + V_7 D_7 =$$

$$\log \operatorname{sen} (2) + V_2 D_2 + \log \operatorname{sen} (4) + V_4 D_4 + \log \operatorname{sen} (6) + V_6 D_6 + \log \operatorname{sen} (8) + V_8 D_8 =$$

Donde:

$$D_1 = \{ [\log \operatorname{sen} (1)] - [\log \operatorname{sen} (1 \pm 1^\circ)] \}, D_2 = \{ [\log \operatorname{sen} (2)] - [\log \operatorname{sen} (2 \pm 1^\circ)] \}, \dots$$

Por lo tanto:

$$V_1 D_1 + V_2 D_2 + V_3 D_3 + V_4 D_4 + V_5 D_5 + V_6 D_6 + V_7 D_7 + V_8 D_8 - V_2 D_2 - V_3 D_3 - V_4 D_4 - V_5 D_5 - V_6 D_6 = \log \operatorname{sen} (2) + \log \operatorname{sen} (4) + \log \operatorname{sen} (6) + \log \operatorname{sen} (8) - \log \operatorname{sen} (1) - \log \operatorname{sen} (3) - \log \operatorname{sen} (5) - \log \operatorname{sen} (7) = W4 \quad \text{Ec. (d)}$$

Igualando a cero las ecuaciones (a),(b),(c) y (d), y multiplicándolas al mismo tiempo por los coeficientes correlativos $2K_1, 2K_2, 2K_3$ y $2K_4$ respectivamente:

$$2K_1 (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 - W1) = 0 \quad \text{Ec. (e)}$$

$$2K_2 (V_1 + V_2 - V_5 - V_6 - W2) = 0 \quad \text{Ec. (f)}$$

$$2K_3 (V_7 + V_8 - V_3 - V_4 - W3) = 0 \quad \text{Ec. (g)}$$

$$2K_4 (V_1 D_1 - V_2 D_2 + V_3 D_3 - V_4 D_4 + V_5 D_5 - V_6 D_6 + V_7 D_7 - V_8 D_8 - W4) = 0 \quad \text{Ec. (h)}$$

Como el número de incógnitas es mayor que el de ecuaciones, el problema es indeterminado; pero esta indeterminación desaparece agregando al sistema de ecuaciones anterior, la condición del principio de los mínimos cuadrados:

$$V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + V_6^2 + V_7^2 + V_8^2 = Y = \text{Mínimo} \quad \text{Ec. (i)}$$

Restando a la ecuación (i) las ecuaciones (e), (f), (g) y (h) :

$$(V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + V_6^2 + V_7^2 + V_8^2) - 2K_1 (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 - W1) - 2K_2 (V_1 + V_2 - V_5 - V_6 - W2) - 2K_3 (V_7 + V_8 - V_3 - V_4 - W3) - 2K_4 (V_1 D_1 - V_2 D_2 + V_3 D_3 - V_4 D_4 + V_5 D_5 - V_6 D_6 + V_7 D_7 - V_8 D_8 - W4) = Y = \text{Mínimo} \quad \text{Ec. (j)}$$

Para conseguir el mínimo deseado, es necesario derivar e igualar a cero la ecuación (j). Debido a que la ecuación por derivar está formada en su primer miembro por términos dependientes de variables dependientes, es necesario hacer una derivación total:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= \frac{\partial y}{\partial V_1} \frac{dV_1}{dx} + \frac{\partial y}{\partial V_2} \frac{dV_2}{dx} + \frac{\partial y}{\partial V_3} \frac{dV_3}{dx} + \frac{\partial y}{\partial V_4} \frac{dV_4}{dx} + \frac{\partial y}{\partial V_5} \frac{dV_5}{dx} + \frac{\partial y}{\partial V_6} \frac{dV_6}{dx} + \frac{\partial y}{\partial V_7} \frac{dV_7}{dx} + \frac{\partial y}{\partial V_8} \frac{dV_8}{dx} \\ \frac{dy}{dx} &= (2V_1 \frac{dV_1}{dx} + 2V_2 \frac{dV_2}{dx} + 2V_3 \frac{dV_3}{dx} + 2V_4 \frac{dV_4}{dx} + 2V_5 \frac{dV_5}{dx} + 2V_6 \frac{dV_6}{dx} + 2V_7 \frac{dV_7}{dx} + 2V_8 \frac{dV_8}{dx}) - \\ &- 2K_1 \left(\frac{dV_1}{dx} + \frac{dV_2}{dx} + \frac{dV_3}{dx} + \frac{dV_4}{dx} + \frac{dV_5}{dx} + \frac{dV_6}{dx} + \frac{dV_7}{dx} + \frac{dV_8}{dx} \right) - 2K_2 \left(\frac{dV_1}{dx} + \frac{dV_2}{dx} - \frac{dV_5}{dx} - \frac{dV_6}{dx} \right) - \\ &- 2K_3 \left(\frac{dV_7}{dx} + \frac{dV_8}{dx} - \frac{dV_3}{dx} - \frac{dV_4}{dx} \right) - 2K_4 \left(\frac{dV_1}{dx} D_1 - \frac{dV_2}{dx} D_2 + \frac{dV_3}{dx} D_3 - \frac{dV_4}{dx} D_4 + \frac{dV_5}{dx} D_5 - \right. \\ &\left. - \frac{dV_6}{dx} D_6 + \frac{dV_7}{dx} D_7 - \frac{dV_8}{dx} D_8 \right) = 0 \end{aligned}$$

Multiplicando por $\frac{1}{2}(dx)$:

$$\begin{aligned} (V_1 dV_1 + V_2 dV_2 + V_3 dV_3 + V_4 dV_4 + V_5 dV_5 + V_6 dV_6 + V_7 dV_7 + V_8 dV_8) - K_1 (dV_1 + dV_2 + dV_3 + dV_4 + \\ + dV_5 + dV_6 + dV_7 + dV_8) - K_2 (dV_1 + dV_2 - dV_5 - dV_6) - K_3 (dV_7 + dV_8 - dV_3 - dV_4) - K_4 (dV_1 D_1 - dV_2 D_2 + \\ + dV_3 D_3 - dV_4 D_4 + dV_5 D_5 - dV_6 D_6 + dV_7 D_7 - dV_8 D_8) = 0 \end{aligned}$$

Ordenando la ecuación :

$$\begin{aligned} (V_1 - K_1 - K_2 - D_1 K_4) dV_1 + (V_2 - K_1 - K_2 + K_4 D_2) dV_2 + (V_3 - K_1 + K_3 + K_4 D_3) dV_3 + (V_4 - K_1 + K_3 + K_4 D_4) dV_4 + \\ + (V_5 - K_1 + K_2 - K_4 D_5) dV_5 + (V_6 - K_1 + K_2 + K_4 D_6) dV_6 + (V_7 - K_1 - K_3 - K_4 D_7) dV_7 + (V_8 - K_1 - K_3 + K_4 D_8) dV_8 \\ = 0 \dots\dots\dots \text{Ec. (k)} \end{aligned}$$

Si todas las V fueran independientes entre sí, los términos de la anterior ecuación tendrían forzosamente que ser iguales a cero, pero como no es así, es necesario hacer el siguiente razonamiento: los términos correspondientes a las V dependientes, son en número, iguales a él número de términos de los coeficientes indeterminados K_1 , K_2 , K_3 y K_4 , y como a éstos es posible asignarles valores arbitrarios, sin que se alteren las anteriores ecuaciones, es posible asignarles valores tales, que hagan nulos los términos correspondientes a las V independientes, las cuales tendrán que ser iguales a cero, quedando así el siguiente grupo de ecuaciones de los errores :

$$\begin{aligned} V_1 &= K_1 + K_2 + K_4 D_1 \\ V_2 &= K_1 + K_2 - K_4 D_2 \\ V_3 &= K_1 - K_3 + K_4 D_3 \\ V_4 &= K_1 - K_3 - K_4 D_4 \\ V_5 &= K_1 - K_2 + K_4 D_5 \\ V_6 &= K_1 - K_2 - K_4 D_6 \\ V_7 &= K_1 + K_3 + K_4 D_7 \\ V_8 &= K_1 + K_3 - K_4 D_8 \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de los errores en las ecuaciones (a), (b), (c) y (d), se obtiene:

$$\begin{aligned} W_1 &= 8K_1 + 0 + K_4(D_1 - D_2 + D_3 - D_4 + D_5 - D_6 + D_7 - D_8) \\ K_1 &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{4} \right) [W_1 - K_4(D_1 - D_2 + D_3 - D_4 + D_5 - D_6 + D_7 - D_8)] \\ K_1 &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{4} \right) (W_1 - K_4 B_1) \dots \dots \dots (i) \\ V_1 &= K_1 + K_2 + K_4 D_1 \\ V_2 &= K_1 + K_2 - K_4 D_2 \\ -V_5 &= -K_1 + K_2 - K_4 D_5 \\ -V_6 &= -K_1 + K_2 + K_4 D_6 \\ V_1 + V_2 - V_5 - V_6 &= 4K_2 + K_4(D_1 - D_2 - D_5 + D_6) \\ W_2 &= 4K_2 + K_4(D_1 - D_2 - D_5 + D_6) \\ K_2 &= \frac{1}{4} (W_2 - K_4 B_2) \dots \dots \dots (ii) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
-V_3 &= -K_1 + K_3 - K_4 D_3 \\
-V_4 &= -K_1 + K_3 - K_4 D_4 \\
V_7 &= K_1 + K_3 + K_4 D_7 \\
V_8 &= K_1 + K_3 - K_4 D_8 \\
V_7 + V_8 - V_3 - V_4 &= 4K_3 + K_4(D_4 + D_7 - D_3 - D_8) \\
W_3 &= 4K_3 + K_4 B_3 \\
K_3 &= \frac{1}{4}(W_3 - K_4 B_3) \dots \dots \dots (iii)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_1 d_1 &= D_1 K_1 + D_2 K_1 + D_1^2 K_4 \\
-V_2 d_2 &= -D_2 K_1 - D_2 K_2 + D_2^2 K_4 \\
V_3 d_3 &= D_3 K_1 - D_3 K_3 + D_3^2 K_4 \\
-V_4 d_4 &= -D_4 K_1 + D_4 K_3 + D_4^2 K_4 \\
V_5 d_5 &= D_5 K_1 - D_5 K_2 + D_5^2 K_4 \\
-V_6 d_6 &= -D_6 K_1 + D_6 K_2 + D_6^2 K_4 \\
V_7 d_7 &= D_7 K_1 + D_7 K_3 + D_7^2 K_4 \\
-V_8 d_8 &= -D_8 K_1 - D_8 K_3 + D_8^2 K_4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_4 &= K_1(D_1 - D_2 + D_3 - D_4 + D_5 - D_6 + D_7 - D_8) + K_2(D_1 - D_2 - D_5 + D_6) + K_3(-D_3 + D_4 + D_7 - D_8) + \\
&+ K_4(D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + D_4^2 + D_5^2 + D_6^2 + D_7^2 + D_8^2)
\end{aligned}$$

$$W_4 = K_1 B_1 + K_2 B_2 + K_3 B_3 + K_4 [DD] \dots \dots \dots \text{Ec. (I)}$$

Sustituyendo K_1 , K_2 , y K_3 en la ecuación (I), se llega a una ecuación con una sola incógnita: K_4

$$W_4 = (\frac{1}{2})(\frac{1}{4})(W_1 - K_4 B_1)B_1 + \frac{1}{4}(W_2 - K_4 B_2)B_2 + \frac{1}{4}(W_3 - K_4 B_3)B_3 + K_4 [DD]$$

$$W_4 = (\frac{1}{2})(\frac{1}{4})W_1 B_1 - (\frac{1}{2})(\frac{1}{4})K_4 B_1^2 + \frac{1}{4}(W_2 B_2) - \frac{1}{4}(K_4 B_2^2) + \frac{1}{4}(W_3 B_3) - \frac{1}{4}(K_4 B_3^2) + K_4 [DD]$$

Despejando K_4 de la anterior ecuación,, se obtiene la siguiente fórmula:

$$K_4 = \frac{W_1 B_1 + 2W_2 B_2 + 2W_3 B_3 - 8W_4}{B_1^2 + 2B_2^2 + 2B_3^2 - 8[DD]} \dots \dots \dots (iv)$$

Sustituyendo el valor anterior en los de K_1 , K_2 y K_3 , se obtienen estos coeficientes; y luego se determinan las correcciones $V_1, V_2, V_3, \dots, V_6$ mediante las ecuaciones de los errores.

El error de cierre de los triángulos se corrige en partes iguales a los ángulos de cada uno.

A continuación se presenta la compensación por mínimos cuadrados para cada cuadrilátero.

NOTA : Los ángulos a compensar fueron calculados en función de los lados (Por la Ley de cosenos); el cálculo de dichos ángulos es un parámetro para determinar la calidad de las mediciones angulares. Esta decisión fue tomada debido a que las mediciones lineales fueron más precisas que las angulares.

Ley de cosenos:

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

$$\cos B = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}$$

$$\cos C = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

Donde:

A, B y C : Angulos internos de un triángulo

a, b y c : lados de un triángulo

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
P.R.H. SAN RAFAEL



FECHA: 30/SEP/94.

COMPENSACION DE UN CUADRILATERO (1)

ANGULOS I	LOG.SEN.ANG. IMPARES II	LOG.SEN.ANG. PARES III	DIF.LOG (1")		(dif.) ² d VI	FORMULAS PARA CALC.DE V (Corrección)	V XVII	ANGULOS COMPENSADOS XVIII																	
			IMP IV	PAR V																					
1 38 05 07.50	9.790169402		2.69		7.24	V1=K1+K3+d1K4	0.015	38°05'07.52"																	
2 51 12 50.17		9.891810744		1.69	2.86	V2=K1+K3-d2K4	0.013	51°12'50.18"																	
3 48 42 21.05	9.875831589		1.85		3.42	V3=K2+k3+d3K4	0.017	48°42'21.07"																	
4 41 59 41.22		9.825466976		2.34	5.48	V4=K2+K3-d4K4	0.015	41°59'41.23"																	
5 43 17 46.89	9.836179809		2.23		4.97	V5=K3-K1+d5K4	0.020	43°17'46.91"																	
6 46 00 10.77		9.856955987		2.03	4.12	V6=K3-K1-d6K4	0.018	46°00'10.79"																	
7 50 03 22.26	9.885139138		1.76		3.10	V7=K3-K2-d7K4	0.017	50°08'22.28"																	
8 40 33 40.01		9.813086210		2.46	6.05	V8=K3-K2-d8K4	0.015	40°33'40.02"																	
359 59 59.87	39.387319938	39.387319917	8.53	8.52	37.24			360°00'00.00"																	
$W3=360^\circ - \Sigma \text{ANGULOS} = +0.13$ $W4 = \text{ELOG.SEN.ANG.PARES} - \Sigma \text{LOG.SEN.ANG.IMPARES} = -0.021$ $B3 = \Sigma \text{DIF.LOG.(1") ANG.IMP.} - \Sigma \text{DIF.LOG.(1") ANG.PARES} = 0.01$ $(B3)^2 = -0.0001$																									
CALCULO DE W1 VII		CALCULO DE W2 VIII		CALCULO DE B1 IX		CALCULO DE B2 X		FORMULAS																	
5+6=89.175766 -1-2=89.175766 W1=-0.01		7+8=90.420227 -3-4=90.420227 W2=0		d1+d6 =4.72 -(d2+d5)=3.92 B1=0.8 (B1) ² =0.64		d3+d8 =4.31 -(d4+d7)=4.10 B2 =0.21 (B2) ² =0.044		K1= 1/4(W1-B1K4) K2= 1/4(W2-B2K4) K3= 1/8(W3-B3K4) K4= $\frac{2B1W1+2B2W2+B3W3-8W4}{2(B1+B2)+B3-8(\Sigma d^2)}$																	
CALCULO DE K4 XI		CALCULO DE K1 XII		CALCULO DE K2 XIII		CALCULO DE K3 XIV		AUXILIARES XV																	
2B1W1=-0.016 2B2W2= 0 B3W3= 0.001 -8W4= 0.168 Num. = 0.185		2(B1+B2)=1.3682 (B3)=0.0001 8suma d ² =297.92 -296.55 -K4=-0.00062		W1 =-0.01 -B1K4 = 0.00049 4K1 =-0.01049 K1 =-0.00262		W2 =0 -B2K4 =0.00013 4K2 =0.00013 K2 =0.00003		W3 =0.13 -B3K4=6e-6 8K3=0.129 K3=0.016		K1+K3=0.0136243 K2+K3=0.0162164 K1+K3=0.0188742 K2+K3=0.0162820															
CALCULO DE dK4 XVI				CALCULO :																					
<table border="1"> <tr> <td>1</td><td>-0.00168</td><td>5</td><td>-0.00139</td> </tr> <tr> <td>2</td><td>-0.001056</td><td>6</td><td>-0.00127</td> </tr> <tr> <td>3</td><td>-0.00115</td><td>7</td><td>-0.001099</td> </tr> <tr> <td>4</td><td>-0.00146</td><td>8</td><td>-0.00154</td> </tr> </table>				1	-0.00168	5	-0.00139	2	-0.001056	6	-0.00127	3	-0.00115	7	-0.001099	4	-0.00146	8	-0.00154	PAUL REYES AYALA					
1	-0.00168	5	-0.00139																						
2	-0.001056	6	-0.00127																						
3	-0.00115	7	-0.001099																						
4	-0.00146	8	-0.00154																						



FECHA: 30/SEP/94.

COMPENSACION DE UN CUADRILATERO (2)

ANGULOS I	LOG. SEN. ANG. IMPARES II	LOG. SEN. ANG. PARES III	DIF. LOG.(1")		(dif.) ² d ² VI	FORMULAS PARA CALC. DE V (Corrección)	V XVII	ANGULOS COMPENSADOS XVIII																
			IMP. IV	PAR V																				
1 55 50 09.56	9.917733084		1.43		2.04	V1=K1+K3+d1K4	-0.054	55°50'09.50"																
2 53 21 11.91		9.904353736		1.57	2.46	v2=K1+K3-d2K4	-0.058	53°21'11.85"																
3 40 44 52.45	9.814734919		2.44		5.95	V3=K2+K3+d3K4	-0.039	40°44'52.41"																
4 30 03 46.27		9.699794137		3.64	13.24	V4=K2+K3-d4K4	-0.041	30°03'46.23"																
5 32 29 52.62	9.730192132		3.30		10.89	V5=K3-K1+d5K4	-0.058	32°29'52.56"																
6 76 41 28.85		9.988177163		0.50	0.25	V6=K3-K1-d6K4	-0.055	76°41'28.80"																
7 41 25 05.30	9.820562217		2.39		5.71	V7=K3-K2+d7K4	-0.075	41°25'05.23"																
8 29 23 33.49		9.690897278		3.74	13.99	V8=K3-K2-d8K4	-0.071	29°23'33.42"																
360 00 00.45	39.283222352	39.283222314	9.56	9.45	54.53			360°00'00.00"																
$W3=360^0 - \sum \text{ANGULOS} = -0.45$ $w4 = \sum \log. \text{sen. ang. pares} - \sum \log. \text{sen. ang. impares} = -0.038$ $B3 = \sum \text{DIF. LOG. (1") ANG. IMP.} - \sum \text{DIF. LOG. (1") ANG. PARES} = 0.11$																								
CALCULO DE W1 VII		CALCULO DE W2 VIII		CALCULO DE B1 IX		CALCULO DE B2 X		F O R M U L A S																
5+6=109.112147 1-2=109.112147 W1=0		7+8=70.483879 3-4=70.483872 W2=0.07		d1+d6=1.93 -(d2+d5)=4.87 B1=-2.94 (B1) ² =8.644		d3+d8=6.18 -(d4-d7)=6.03 B2=0.15 (B2) ² =0.02		$K1=1/4(W1-B1K4)$ $K2=1/4(W2-B2K4)$ $K3=1/8(W3-B3K4)$ $K4 = \frac{2B1W1+2B2W2+B3W3-8W4}{2(B1+B2)+B3-8(\sum d^2)}$																
CALCULO DE K4 XI		CALCULO DE K1 XII		CALCULO DE K2 XIII		CALCULO DE K3 XIV		AUXILIARES XV																
2B1W1=0 2B2W2=0.021 B3W3=-0.05 -8W4=-0.304 Num. =0.275		2(B1+B2)=17.332 B3 =0.0121 -8sum. d=436.24 -418.896 K4 =0.00066		W1=0 -B1K4=0.0019 4K1=-0.002 K1=-0.0005		W2=0.07 -B2K4=0.00098 4K2=0.0699 K2=0.0174		W3=-0.45 -B3K4=0.00007 8K3=-0.45 K3=-0.0562																
CALCULO DE dK4 XVI				CALCULO:																				
<table border="1"> <tr><td>1</td><td>-0.00094</td><td>5</td><td>-0.00217</td></tr> <tr><td>2</td><td>-0.00100</td><td>6</td><td>-0.00033</td></tr> <tr><td>3</td><td>-0.00016</td><td>7</td><td>-0.00157</td></tr> <tr><td>4</td><td>-0.00239</td><td>8</td><td>-0.00246</td></tr> </table>				1	-0.00094	5	-0.00217	2	-0.00100	6	-0.00033	3	-0.00016	7	-0.00157	4	-0.00239	8	-0.00246	<p>PAUL REYES AYALA</p>				
1	-0.00094	5	-0.00217																					
2	-0.00100	6	-0.00033																					
3	-0.00016	7	-0.00157																					
4	-0.00239	8	-0.00246																					

ECUACIONES DE CONDICION

CUADRILATERO No.1

ANGULOS COMPENSADOS	CONDICION TRIGONOMETRICA	
	ANGULOS	LADOS
(1) 38° 05' 07.52"	Condición: (1)+(2) = (5)+(6)	sen (1) = 0.6168356351 A
(2) 51° 12' 50.18"	(1)+(2) = 89° 17' 57.70" a	sen (2) = 0.7794903817 B
(3) 48° 42' 21.07"	Condición: (3)+(4) = (7)+(8)	sen (3) = 0.7513315489 C
(4) 41° 59' 41.23"	(3)+(4) = 90° 42' 02.30" b	sen (4) = 0.6990629778 D
(5) 43° 17' 46.91"	Condición: (5)+(6) = (1)+(2)	sen (5) = 0.6857721656 E
(6) 46° 00' 10.79"	(5)+(6) = 89° 17' 57.70" c	sen (6) = 0.7193761379 F
(7) 50° 08' 22.28"	Condición: (7)+(8) = (3)+(4)	sen (7) = 0.7676074367 G
(8) 40° 33' 40.02"	(7)+(8) = 90° 42' 02.30" d	sen (8) = 0.6502587939 H
SUMA: 360° 00' 00.00" → Cumple condición III	a = c → Cumple condición I b = d → Cumple condición II	$\frac{A \cdot C \cdot E \cdot G}{B \cdot D \cdot F \cdot H} = \frac{0.243960}{0.243960} = 1$

CUADRILATERO No.2

ANGULOS COMPENSADOS	CONDICION TRIGONOMETRICA	
	ANGULOS	LADOS
(1) 55° 50' 09.50"	Condición: (1)+(2) = (5)+(6)	sen (1) = 0.8274333061 A
(2) 53° 21' 11.85"	(1)+(2) = 109° 11' 21.35" a	sen (2) = 0.8023311575 B
(3) 40° 44' 52.41"	Condición: (3)+(4) = (7)+(8)	sen (3) = 0.6527318756 C
(4) 30° 03' 46.23"	(3)+(4) = 70° 48' 38.64" b	sen (4) = 0.5009495505 D
(5) 32° 29' 52.56"	Condición: (5)+(6) = (1)+(2)	sen (5) = 0.5372691868 E
(6) 76° 41' 28.80"	(5)+(6) = 109° 11' 21.36" c	sen (6) = 0.9731440639 F
(7) 41° 25' 05.23"	Condición: (7)+(8) = (3)+(4)	sen (7) = 0.6615490503 G
(8) 29° 23' 33.42"	(7)+(8) = 70° 48' 38.65" d	sen (8) = 0.4907914819 H
SUMA: 360° 00' 00.00" → Cumple condición III	a = c → Cumple condición I b = d → Cumple condición II	$\frac{A \cdot C \cdot E \cdot G}{B \cdot D \cdot F \cdot H} = \frac{0.191964889}{0.191964889} = 1$

IV.5.2.8 CALCULO DE LAS COORDENADAS DE LAS BASES DE CENTRAJE

CALCULO DE LAS DISTANCIAS

En función de los ángulos compensados, se calcularon las distancias de cada lado tomando como línea base: $V_2-V_5=406.6276$ m, y utilizando la Ley de senos:

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

CUADRILATERO No. 1	
LADO	DISTANCIA CALCULADA
$V_1 \rightarrow V_2$	441.0568 m
$V_1 \rightarrow V_4$	447.8845 m
$V_4 \rightarrow V_5$	424.6904 m
$V_5 \rightarrow V_2$	406.6276 m

CUADRILATERO No. 2	
LADO	DISTANCIA CALCULADA
$V_2 \rightarrow V_3$	335.2781 m
$V_3 \rightarrow V_6$	553.7889 m
$V_6 \rightarrow V_5$	371.4513 m
$V_5 \rightarrow V_2$	406.6276 m

CALCULO DE AZIMUTES

Línea base de referencia: El EJE DE LA CORTINA

Azimut: $357^\circ 43' 21.74''$

Puntos extremos : **0 + 000** Cad. X = 0+300

Cad. Y = 0+000

Localización → Margen izquierda (Mojonera C1)

A Cad. X = 0+300

Cad. Y = 0+306.659

Localización → Puente de maniobras del vertedor (Muro izq.)

Ver figura 4.9

Conocida la línea $A \rightarrow 0+000$, ésta se ligó al vértice V_4 de la siguiente manera:

EST.	P.V.	AZIMUT	DISTANCIA	DIST. EN X	CAD. EN Y
A	0+000	177° 43' 21.74"		300.000	0+306.6590
	V_4	222° 19' 09.54"	387.9057 u	27.647	0+030.4439
V_4	A	42° 19' 09.54"			
	V_1	345° 40' 19.74"	447.8845 u	-65.8598	0+468.4587

Conocido el azimut de la línea $V_4 \rightarrow V_1$, se calcularon los azimutes de las líneas siguientes con los ángulos compensados; como sigue:

CUADRILATERO No. 1	
AZ. $V_1 \rightarrow V_4$	165° 40' 19.74"
- (8+1)	- 78° 38' 47.54"
AZ. $V_1 \rightarrow V_2$	87° 01' 32.20"
- (2+3)	- 99° 55' 11.25"
+ Comp.	180° 00' 00.00"
AZ. $V_2 \rightarrow V_5$	167° 06' 20.95"
- (4+5)	85° 17' 28.14"
+ Comp.	180° 00' 00.00"
AZ. $V_5 \rightarrow V_4$	261° 48' 52.81"
- (6+7)	96° 08' 33.07"
+ Comp.	180° 00' 00.00"
AZ. $V_4 \rightarrow V_1$	345° 40' 19.74"

CUADRILATERO No. 2	
AZ. $V_2 \rightarrow V_5$	167° 06' 20.95"
- (8+1)	- 85° 13' 42.92"
AZ. $V_2 \rightarrow V_3$	81° 52' 38.03"
- (2+3)	- 94° 06' 04.26"
+ Comp.	180° 00' 00.00"
AZ. $V_3 \rightarrow V_6$	167° 46' 33.77"
- (4+5)	62° 33' 38.79"
+ Comp.	180° 00' 00.00"
AZ. $V_6 \rightarrow V_5$	285° 12' 54.98"
- (6+7)	118° 06' 34.03"
+ Comp.	180° 00' 00.00"
AZ. $V_5 \rightarrow V_2$	347° 06' 20.95"

Las coordenadas de los vértices se calcularon a partir de las coordenadas del punto A, trabajando así, bajo el mismo sistema de coordenadas locales del proyecto.

CALCULO DE PROYECCIONES

EST.	P.V.	AZIMUT	DISTANCIA (m)	PROYECCION	
				PX	PY
A	V ₄	222° 19' 09.54"	387.9057	-261.1621	-286.8191
V ₄	V ₁	345° 40' 19.74"	447.8845	-110.8380	433.9533
V ₁	V ₂	87° 01' 32.20"	441.0568	440.4626	22.8862
V ₂	V ₃	81° 52' 38.03"	335.2781	331.9144	47.3730
V ₃	V ₆	167° 46' 33.77"	553.7889	117.2556	-541.2331
V ₆	V ₅	285° 12' 54.98"	371.4513	-358.4307	97.4860
V ₅	V ₄	261° 48' 52.81"	424.6904	-420.3640	- 60.4655

COORDENADAS

VERTICE	Y	X	DIST. EN X	CAD. EN Y
V ₁	97230.5512	121317.8149	-65.8568	468.4587
V ₂	97253.4374	121758.2775	375.1644	473.8248
V ₃	97300.8104	122090.1920	708.6991	507.9715
V ₄	96796.5979	121428.6529	27.6478	30.4439
V ₅	96857.0634	121849.0169	450.0819	74.1581
V ₆	96759.5773	122207.4476	804.3558	- 37.4934
* V _A	97242.0583	121549.7266	166.3261	470.7415
* V _B	97318.6614	121929.6982	549.0413	532.1857
* V _C	96819.6160	121548.7585	148.5727	48.6714

* Base de centraje auxiliar

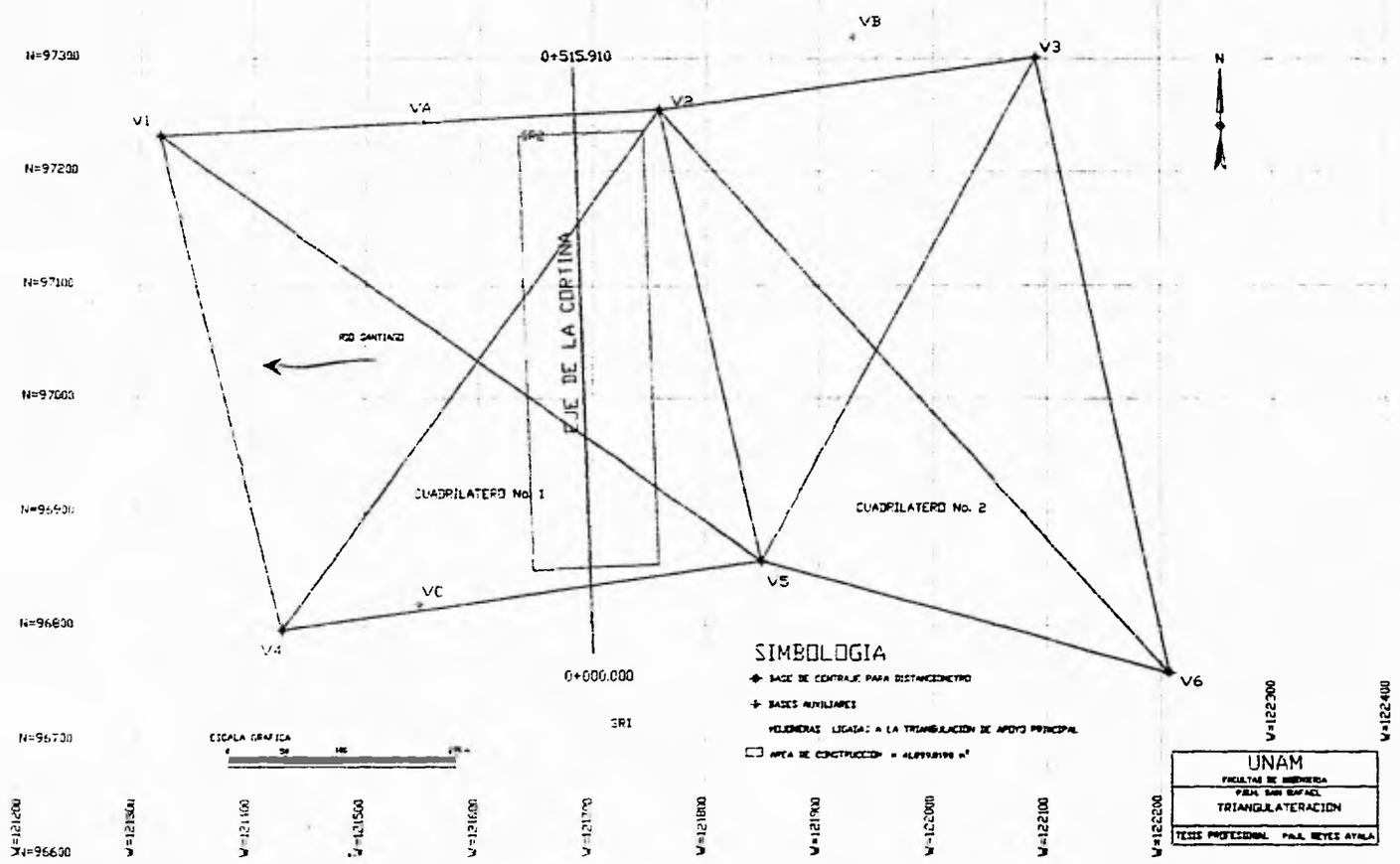


Fig. 4.9

IV.5.2.9 CONTROL PLANIMETRICO

El control planimétrico del P.R.H. San Rafael se llevó a cabo mediante los levantamientos de las referencias topográficas instaladas de manera permanente sobre la presa. Dichos levantamientos consisten en la medición de distancias a partir de las bases de centraje, con el fin de proporcionar coordenadas iniciales a cada referencia; posteriormente se realizarán levantamientos periódicamente para determinar desplazamientos o deformaciones de la presa; esta determinación se realiza comparando las coordenadas iniciales con las coordenadas recalculadas de cada referencia topográfica. (Fig. 4.10)

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD INSTRUMENTACION P.R.H. SAN RAFAEL NAY			REGISTRO DE CAMPO FECHA: Miércoles 28 / SEPTIEMBRE / 1994 REFERENCIAS TOPOGRAFICAS Hoja 1 de 3				
EST.	P.V.	ANGULO VERTICAL	DISTANCIA INCLINADA (m)	DISTANCIA HDRIZONTAL (m)	DISTANCIA HORIZONTAL PROMEDIO	POS.	OBS.
VC	R1	92 21 14.4	160 4240	160 2888		I	37 C
		267 36 38.4	160 4241	160 2887	160 2888	II	
	R2	92 08 12.1	176 0643	175 9421		I	
		267 51 36.4	176 0643	175 9417	175.9419	II	
	R3	92 07 37.3	176 6224	176 5009		I	
		267 52 11.0	176 6226	176 5007	176 5008	II	
	R4	91 59 38.3	188 8082	188 6941		I	
		268 00 20.4	188 8082	188 6940	188 6941	II	
	R5	91 52 51.2	199 9962	199 8886		I	
		268 07 04.9	199 9961	199 8884	199 8885	II	
	R6	91 45 41.7	213 1891	213 0886		I	
		268 14 10.6	213 1892	213 0884	213 0885	II	
	R7	91 43 44.9	216 8848	216 7863		I	
		268 16 12.0	216 8848	216 7862	216 7863	II	
	R8	91 39 39.7	226 3481	226 2532		I	
		268 20 14.4	226 3483	226 2532	226 2532	II	38 C
	R9	91 35 05.4	236 6539	236 7635		I	
		268 24 44.5	236 6540	236 7633	236 7634	II	
	R10	91 34 14.0	239 4234	239 3337		I	
		268 25 35.5	239 4236	239 3336	239 3337	II	

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
INSTRUMENTACION
P.R.H. SAN RAFAEL, NAY.

REGISTRO DE CAMPO
FECHA: Miércoles 28 / SEPTIEMBRE / 1994
REFERENCIAS TOPOGRAFICAS Hoja 1 de 3

EST.	P.V.	ANGULO VERTICAL "	DISTANCIA INCLINADA (m)	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	DISTANCIA HORIZONTAL PROMEDIO	POS.	OBS.
VA	R1	92 30 24 0	394 7915	394 4147		I	36 C
		267 29 30 4	394 7916	394 4143	394 4145	II	
	R2	92 44 47 3	359 6699	359 2577		I	
		267 15 02 0	359 6699	359 2568	359 2573	II	
	R3	92 45 11 1	358 7048	358 2917		I	
		267 14 37 8	358 7049	358 2908	358 2913	II	
	R4	92 55 15 3	338 2913	337 8527		I	
		267 04 35 6	388 2913	337 8519	337 8523	II	
	R5	93 04 04 1	321 9441	321 4835		I	
		266 55 47 4	321 9442	321 4829	321 4832	II	
	R6	93 14 39 0	304 2765	303 7897		I	
		266 45 14 4	304 2767	303 7893	303 7895	II	
	R7	93 17 38 5	299 5987	299 1045		I	
		266 42 14 6	299 5988	299 1040	299 1043	II	
	R8	93 25 42 4	288 0879	287 5730		I	
		266 34 12 1	288 0880	287 5726	287 5728	II	
	R9	93 34 44 3	275 8843	275 3470		I	
		266 25 09 8	275 8844	275 3466	275 3468	II	
	R10	93 37 12 7	272 9689	272 4249		I	
		266 22 38 6	272 9689	272 4241	272 4245	II	

**COORDENADAS INICIALES
REFERENCIAS EN CORTINA**

REF.	Y	X	REF.	Y	X
R1	96904.7601	121698.5070	R9	97020.4425	121693.3234
R2	96939.8229	121697.0019	R10	97010.4637	121693.1807
R3	96940.6790	121696.9891	R11	97029.3880	121692.3957
R4	96960.8602	121696.0634	R12	97049.0413	121691.6542
R5	96976.6071	121695.3869	R13	97052.1873	121691.5612
R6	96993.7206	121694.5585	R14	97065.0963	121691.0076
R7	96998.1889	121694.3468	R15	97079.7475	121689.2522
R8	97009.0145	121693.8599	R16	97084.3020	121690.0099

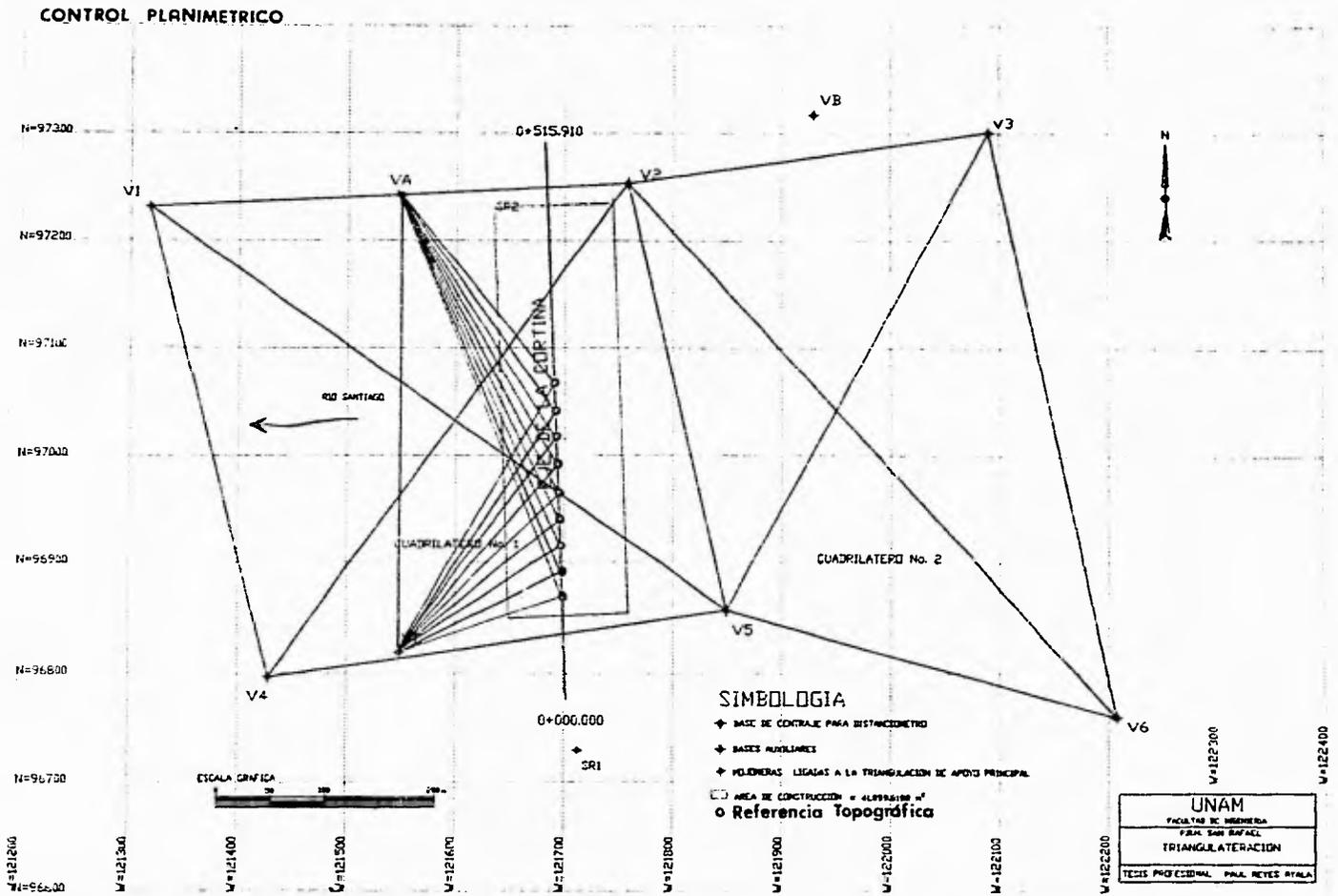


Fig. 4.10

IV.5.2.10 CONTROL ALTIMETRICO

Para el control altimétrico del P.R.H. San Rafael se llevará a cabo una nivelación de precisión. El circuito se debe cerrar en un banco de nivel y el error de cierre aparente se debe distribuir proporcionalmente a la raíz cuadrada de la distancia al banco de arranque (Mojonera SR1). Con un dispositivo de placas plano-parallelas operado con micrómetro que tiene integrado el nivel N3 y con el uso de estadales especiales, se realizará una nivelación de primer orden, cuya tolerancia será $T = \pm 0.3 \text{ mm} \cdot S$, donde S es la distancia en Kilómetros. La precisión de los niveles ópticos se determina básicamente a partir de la sensibilidad de la burbuja de nivel, expresada en función de segundos de arco por cada 2 mm de frasco de nivel.

IV.5.2.9.1 ESPECIFICACIONES PARA EL CONTROL ALTIMETRICO

- a) Una línea de nivelación debe comenzar y terminar en bases de centraje con cota previamente establecida.
- b) Todas las líneas de nivelación deben hacerse de ida y regreso, y en caso de condiciones atmosféricas diferentes: si la ida es en la mañana, el regreso debe ser por la tarde.
- c) El instrumento debe protegerse de los rayos del sol, aún en el transporte.
- d) Las miras deben marcarse como 1 y 2 ó como A y B.
- e) No se aceptan lecturas por debajo de 0.5 m
- f) La mira número 1 siempre se lee primero independientemente si se encuentra atrás o adelante.
- g) Se deben elaborar formatos de control altimétrico donde se indiquen las elevaciones iniciales y elevaciones actuales de las referencias topográficas, de acuerdo a períodos de nivelación.
- h) Los períodos de nivelación serán establecidos por la Gerencia de Ingeniería Experimental y Control.

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION

REGISTRO DE NIVELACION DE PRECISION

HOJA



Línea _____
 Sección _____ Tramo _____
 Observador _____ Anotador _____

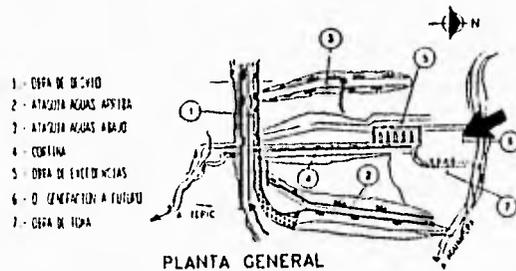
Instrumento _____
 Fecha _____ Hora _____
 Estado Atmosférico _____ Nivelación de _____

	P.V.	LECTURAS POSITIVAS	MICRO-METRO	SUMA	INTER-VALOS	SUMA
01						
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						

	No. DE MIRA	LECTURAS NEGATIVAS	MICRO-METRO	SUMA	INTER-VALOS	SUMA
01						
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						

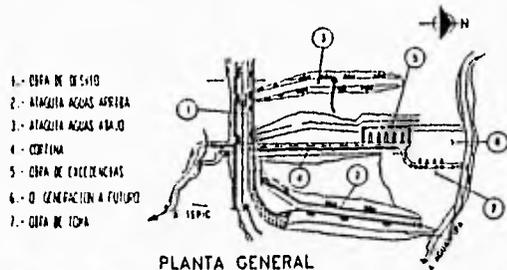
CAPITULO V

MEMORIA FOTOGRAFICA



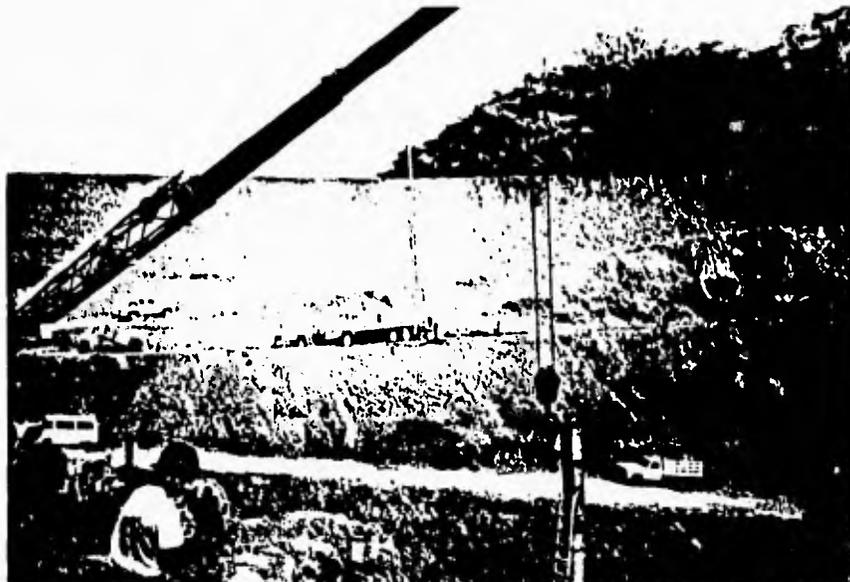
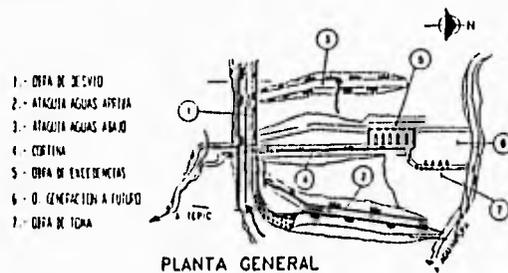
TRAZO DEL EJE DE LA CORTINA

Al fondo (Margen izquierda) se aprecian los trabajos de desmonte y las excavaciones ejecutadas hasta aflorar la roca donde fue construido el canal de desvío principal. El eje de la cortina (Línea principal de referencia para el proyecto) se trazó a partir de la mojonera C1 ubicada en la margen izquierda, hasta la mojonera C2 ubicada en la margen derecha.



PANORAMICA DEL PROYECTO SAN RAFAEL, NAY.

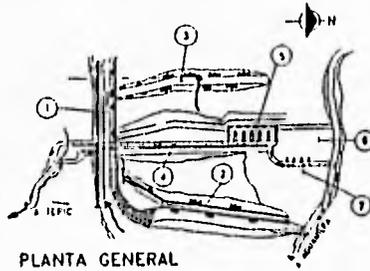
La Comisión Federal de Electricidad realizó por administración directa los trabajos de excavación del canal de desvío y formación de plataformas para las ataguías. Estos trabajos tuvieron un período de ejecución del 24 de septiembre de 1993 al 17 de noviembre de 1993. Las obras que se aprecian en la ilustración son las siguientes: Canal de desvío provisional, Vado el Ticuixtle, Plataformas para las ataguías, Excavaciones para la construcción del Canal de desvío principal, Camino de acceso por la margen derecha e instalaciones.



CONTROL VERTICAL Y ALINEAMIENTO DE ESTRUCTURAS PROVISIONALES

Se observa el control de la verticalidad y el alineamiento de una de las columnas de apoyo para las bandas transportadoras (Tipo Rotec) de CCR; previo al inicio de estos trabajos, se verificaron las líneas base de acuerdo a coordenadas y niveles de proyecto según los planos aprobados para construcción. Así mismo, se llevó un control topográfico para la instalación de la planta dosificadora (Tipo SAM-602) para la fabricación del CCR. Al fondo se aprecia la Atagúa de aguas arriba.

- 1 - COTA DE DESVIO
- 2 - ATACAJA AGUAS ARRIBA
- 3 - ATACAJA AGUAS ABAJO
- 4 - CORTINA
- 5 - COTA DE CALCEMENCIAS
- 6 - O - CENSURACION A TULUPO
- 7 - COTA DE TOPA

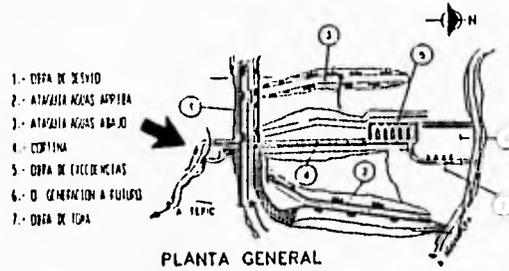


PLANTA GENERAL



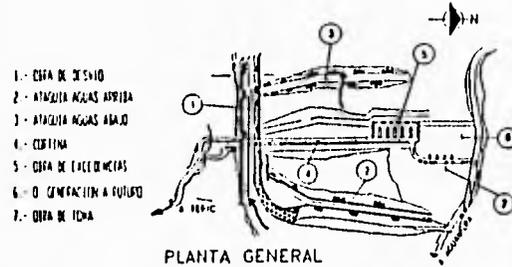
TRAZO DE CURVAS DE NIVEL

Se trazaron curvas de nivel a cada metro en el recinto de la cortina, ya que mediante las curvas de nivel se fueron determinando volúmenes de excavación y avance de obra. Se trazaron además, el eje de cortina y el talud 0.80:1 aguas abajo del eje, como se aprecia en la ilustración.



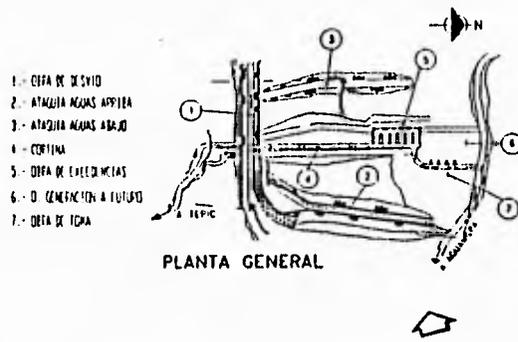
MOJONERA SR-1

La mojenera permanente SR - 1 ubicada en la margen izquierda y ligada a la triangulación de apoyo principal del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, constituyó una de las principales referencias topográficas para la construcción del Proyecto San Rafael. Al fondo se aprecia la obra.

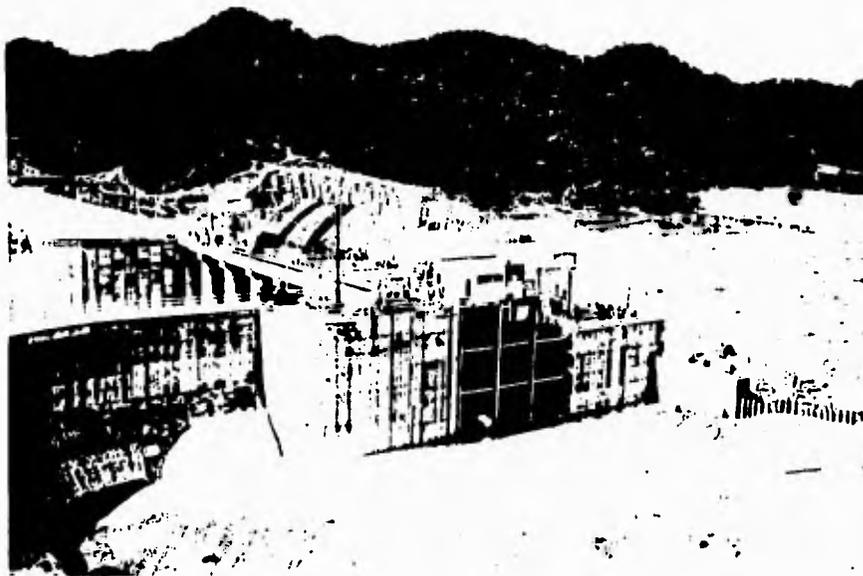
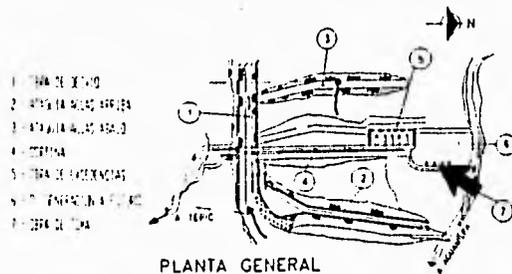


EQUIPO TOPOGRAFICO AVANZADO

Taquímetro electrónico sencillo WILD TC500 utilizado en todo tipo de trazos, replanteo y localización de puntos y ejes, con una precisión de medición angular de 6", una precisión en medición lineal de 5 mm + 5 ppm, y un alcance de 700 m con un prisma. El uso de taquímetros electrónicos permitió solucionar con rapidez y precisión los trabajos requeridos.

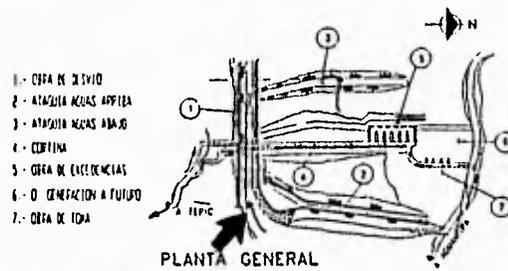


PANORAMICA DE LA OBRA
 Vista desde la margen derecha, aguas arriba del proyecto.



VISTA GENERAL DEL P.R.H. SAN RAFAEL

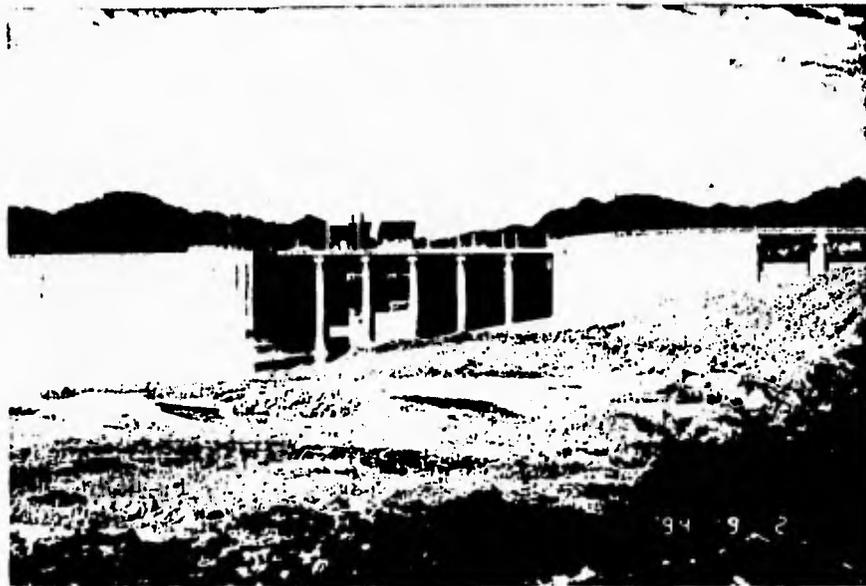
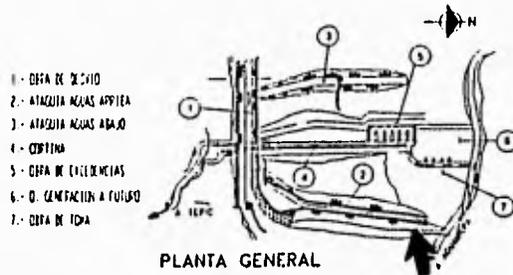
Se aprecia en primer término de izquierda a derecha el muro radial de la obra de toma, en seguida muros adosados y la estructura metálica para la subestación eléctrica, construcción del muro de cierre (con coronamiento a la elev. 58.00) para evitar invasiones del agua producto de la descarga del vertedor hacia las excavaciones para la casa de máquinas; al fondo se aprecia el vertedor, el muro de encauzamiento y parcialmente, el cuerpo de la cortina. Vista desde el puente de obra de toma.



VISTA GENERAL DEL P.R.H. SAN RAFAEL

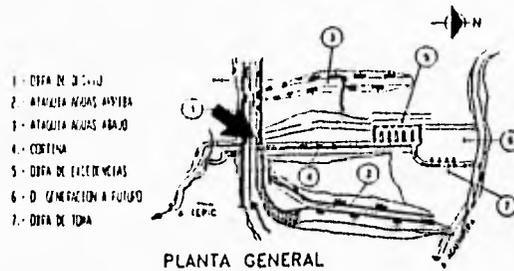
Se aprecia a la izquierda parcialmente el cuerpo de la cortina y el muro de encauzamiento, al centro vanos parciales del vertedor, en la parte de arriba las grúas pórtico de los puentes de maniobras y casetas del sistema oleodinámico, a la derecha el muro radial y los 3 vanos de la obra de toma los cuales alojan 3 secciones de obturadores que forman la estanqueidad para la construcción de las obras de generación a futuro.

Vista de aguas arriba desde la margen izquierda.



VERTEDOR

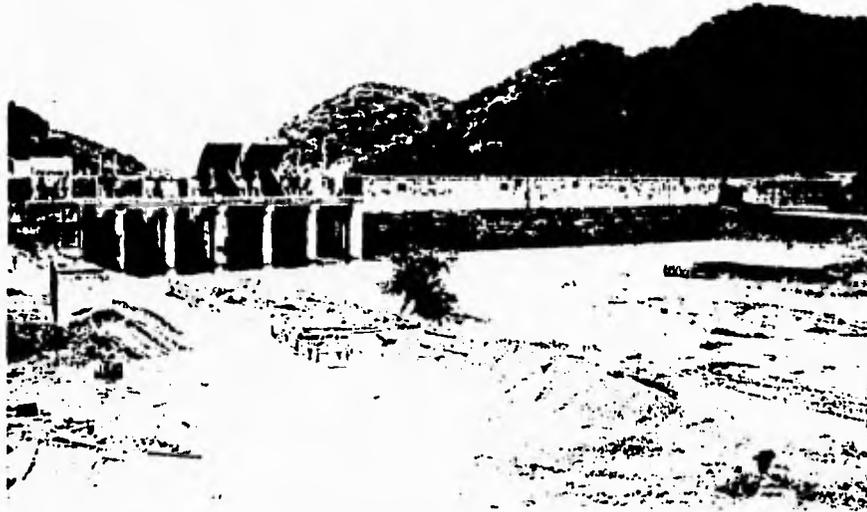
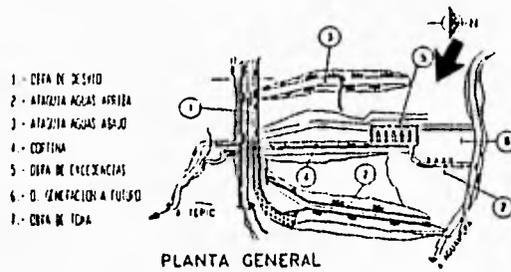
Se observan los 6 vanos de los cuales el número 2 y el número 3 tienen las compuertas alzadas para proporcionar un gasto y mantener los escurrimientos en la zona de aguas abajo. Vista de aguas arriba desde la margen derecha.



VISTA GENERAL DEL P.R.H. SAN RAFAEL

En primer plano el cuerpo de la cortina con escalones de concreto compactado con rodillo (CCR) hasta la elevación 59.00 msnm y taludes de 0.66:1, posteriormente se observan los elementos precolados con talud vertical hasta la corona a la elevación 67.85 msnm; al fondo se aprecia la ménsula del servomotor empotrada en la parte superior del muro izquierdo del vertedor.

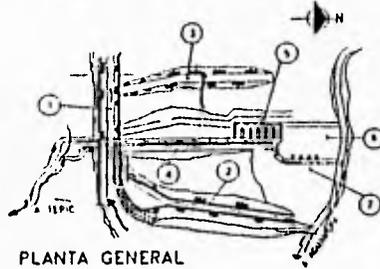
Vista de aguas abajo desde la margen izquierda.



PANORAMICA DE LA OBRA

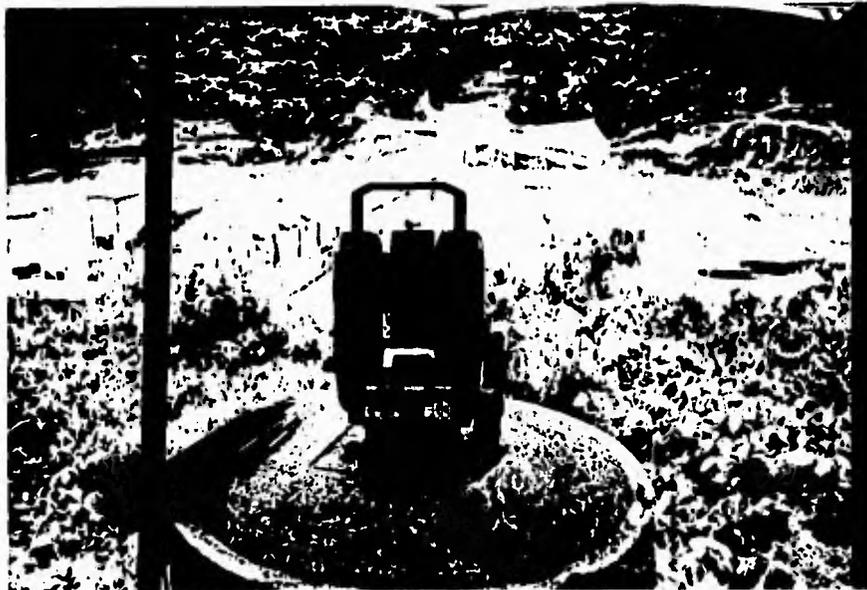
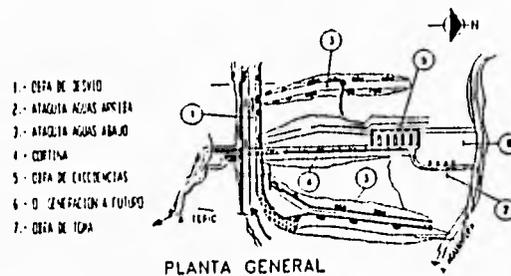
En primer plano se aprecian obras de drenaje, bancos de material y ventana para el canal de descarga, al fondo de izquierda a derecha la obra de control y excedencias, en seguida la cortina de sección gravedad y su empotramiento en la margen izquierda, tapón de cierre del canal de desvío y atagula de aguas abajo rebajada a la elevación 50.00 msnm. Vista de aguas abajo desde la margen derecha.

- 1.- OBRA DE DESVÍO
- 2.- ATAGÜTA AGUAS ARRIBA
- 3.- ATAGÜTA AGUAS ABAJO
- 4.- COSTINA
- 5.- OBRA DE EXCELMETAS
- 6.- OZONIZACIÓN A FUTURO
- 7.- OBRA DE TOMA



TRIANGULATERACION

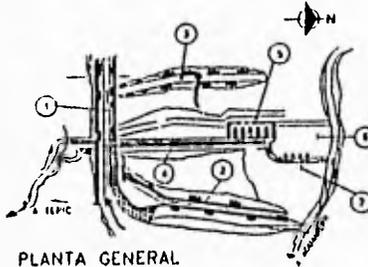
Taquímetro electrónico de precisión WILD TC2002 montado sobre la base de centraje V5 que se localiza en la margen izquierda, aguas arriba del proyecto.



TRIANGULACION

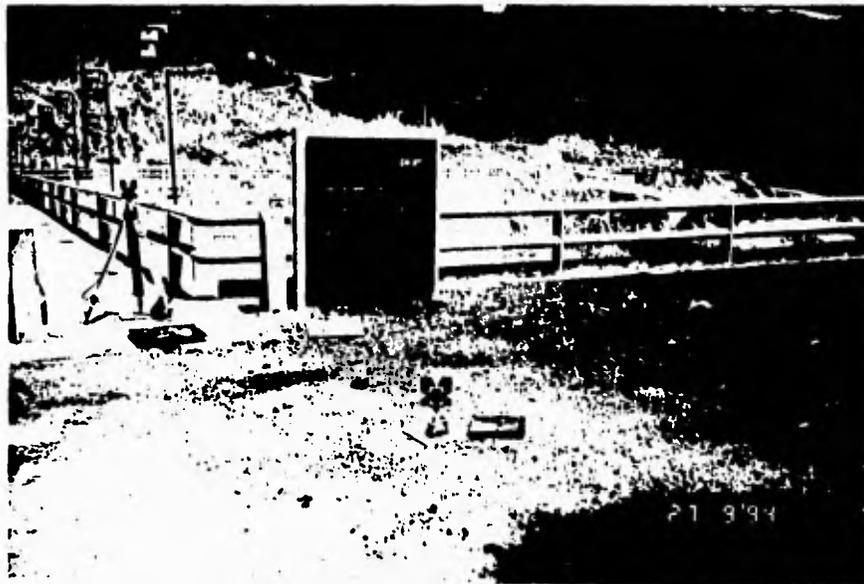
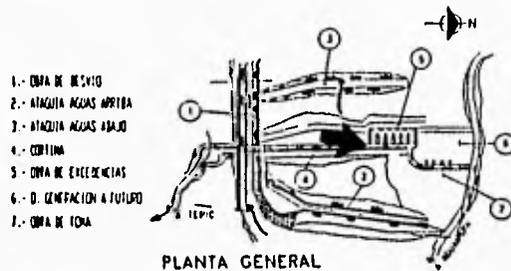
Acercamiento al taquímetro electrónico de precisión WILD TC2002 montado sobre la base de centrado auxiliar VA localizada en la margen derecha, aguas abajo del proyecto. A la derecha del aparato se aprecia el tapón de protección que va atornillado al bulón. Es necesario cambiar la base nivelante del aparato por una de centrado forzoso para montarlo sobre la base de centrado. Al fondo se aprecia la obra.

- 1.- CUBA DE DESVIO
- 2.- ATARQUEJA AGUAS ARRIBA
- 3.- ATARQUEJA AGUAS ABAJO
- 4.- CORTINA
- 5.- CUBA DE EXCEDENCIAS
- 6.- D. CENAFACEN A TULUPO
- 7.- CUBA DE TONA



TRIANGULATERACION

Sistema de reflector compuesto por una señal de puntería, un prisma, un soporte para prisma y una base nivelante de centrado forzoso, montado sobre la base de centraje auxiliar VC que se localiza en la margen izquierda, aguas arriba del proyecto. Al fondo se aprecian las bases de centraje VA y V2.



REFERENCIAS TOPOGRAFICAS

Se observan dos señales en la corona de la cortina, la que está sobre el trípode es la referencia R16, mientras que la R15 es la que está montada directamente sobre el bulón (Referencia topográfica). En total se instalaron 29 referencias en la presa. Realizada la triangulación, se les asignaron a cada una de las referencias coordenadas iniciales para posteriormente medir desplazamientos o deformaciones de las estructuras en función de las bases de centraje.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

La topografía fué de vital importancia durante los estudios de anteproyecto y durante todo el proceso constructivo de cada una de las obras que conforman el Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, ya que llevó la responsabilidad para que las estructuras queden conforme a las líneas de proyecto, con las tolerancias establecidas en las especificaciones.

Las especificaciones son el conjunto de explicaciones, declaraciones y normas que deben atenderse para obtener en la obra a ejecutar la precisión, calidad y duración requerida por la dependencia.

Hablando de proyecto, construcción y la supervisión, se puede decir que las normas están referidas a las reglas, fórmulas y datos necesarios a que se sujetará el ejecutor de la obra, y que en conocimiento de ambas partes forma el propósito común de otorgar a la obra ejecutada, los términos requeridos por la dependencia y se deben cumplir los siguientes aspectos:

- De ejecución
- De calidad
- De pago

Hablando en general, son elementos muy importantes para la ejecución de un proyecto constructivo u obra, pues son elementos que juegan un papel muy interesante desde el concurso hasta la asignación de la obra, y son la base para la planeación e integración de:

- Programas de ejecución,, estimación y pago
- Asignación de recursos: equipo, mano de obra, maquinaria y materiales.
- Elaboración de precios unitarios

El óptimo aprovechamiento de todos los recursos de las partes involucradas, permite sin lugar a dudas, cumplir los objetivos del proyecto. La obra ideal será por tanto, aquella que logre balancear en forma adecuada los objetivos de costo-tiempo-calidad.

Una responsabilidad específica por parte de la supervisión a través de su área de Topografía, fue la de familiarizarse con los planos y especificaciones de construcción, a las que el contratista se apegó; y revisarlas frecuentemente, con el objeto de ser capaz de reconocer inmediatamente si el trabajo o actividad a su cuidado cumplía con los requerimientos del contrato.

La reprogramación de actividades en programas internos fué algo común, para tener parámetro del avance de la obra, así como los cortes a este tipo de programas. Con el objeto de que se respetaran las especificaciones de construcción, en cuanto a la geometría del proyecto (Coordenadas, elevaciones, ejes, etc.), las dudas en la interpretación así como detalles faltantes y cambios necesarios o convenientes, fueron resueltos en coordinación entre las partes JEFATURA DEL PROYECTO - SUPERVISION - CONTRATISTA.

La Jefatura del Proyecto mediante instrucciones directas coordinó el trabajo de las brigadas de topografía para la realización de los siguientes trabajos:

- Llevar a cabo el señalamiento de ejes y niveles para construcción; establecer y mantener referencias para la relocalización de dichos ejes y niveles, siempre que fuera necesario.
- Colaborar con los jefes de frente para la autorización de ejes, niveles y dimensionamiento de los trabajos de construcción, de excavaciones, concretos, tratamientos, etc.
- Medición de la obra ejecutada para fines de estimación de obra y su conciliación con la constructora.

- Registros claros y ordenados de todos los levantamientos y verificaciones realizadas, de tal manera que otras personas puedan revisarlos o consultarlos.

En esta tesis, se exponen aspectos fundamentales de carácter topográfico que se requieren para este tipo de obras. Se presenta además el desarrollo de las actividades topográficas durante las diferentes etapas del proyecto. Cabe señalar que sólo se presentan aspectos de la topografía aplicada a la obra civil, pero el campo de aplicación es mucho mayor, la topografía también tuvo un papel fundamental en el área electro-mecánica donde se realizaron trabajos de precisión para el montaje de las compuertas, servomotores, localización y trazo de chumaceras, nivelación de estructuras, etc.; sin mencionar los trabajos extraordinarios que se llegaron a presentar.

El equipo electrónico moderno utilizado para las verificaciones topográficas del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael, fué el apropiado para garantizar las mediciones de acuerdo a la precisión con que se requirieron los trabajos.

Una de las limitaciones que se tuvieron en el aspecto de la conciliación de números generadores entre la supervisión topográfica y la empresa responsable de la obra civil, fué la carencia de un equipo más sofisticado de apoyo por parte de la empresa encargada de la supervisión topográfica para el cálculo y dibujo de los levantamientos topográficos para los diferentes conceptos de obra realizados en campo; por lo que es de sugerirse que para futuros contratos de supervisión topográfica, en las bases de convocatoria de la licitación se exija que el equipo de gabinete sea acorde con las cargas de trabajo que se generan en un proyecto de ésta magnitud.

Además en las bases de concurso de los trabajos de construcción por un lado y de supervisión por el otro, deberán precisarse las características del equipo topográfico de gabinete y de computación para que tanto el ejecutor como el supervisor hagan los trabajos con los mismos elementos y así evitar desgastes y diálogos inútiles durante la conciliación de los trabajos, los cuales deberán hacerse de manera expedita. Esta por demás decir que los equipos deberán ser modernos. lo que implica un conocimiento preciso de los equipos existentes en el mercado, dicho equipo puede ser mucho más costoso pero redundante en un mayor control y eficacia de los trabajos.

El área de Instrumentación es un campo de aplicación sumamente interesante para la topografía, siendo un campo no muy conocido, la instrumentación de las presas permite determinar la seguridad de las estructuras a través de la instalación y monitoreo de aparatos especiales, además de mediciones que dan como resultado un parámetro para definir el comportamiento de la presa.

Un proyecto hidroeléctrico que forma parte de un programa para satisfacer las necesidades de desarrollo y demandas de energía eléctrica, demanda también en su construcción un marco de optimización de recursos, implementar una estructura organizacional básica elemental que integre en cada uno de los elementos en particular y de manera general, un MÍNIMO de cantidad y un MÁXIMO de calidad, cuya meta común es la construcción de la obra dentro del programa establecido.

REFERENCIAS

- 1) COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.- Memoria de estudios topográficos de la zona pacífico norte. Documento interno. Archivo general de la Residencia Técnica del P.H. Aguamilpa, CFE; México. 1984
- 2) SECRETARIA DE HACIENDA Y CREDITO PUBLICO.- Ley de Obras Públicas y su reglamento. Archivo general de la Residencia Técnica del P.H. Aguamilpa. C.F.E., México. 1994
- 3) COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.- Oficio LMRG/153/90,"Entrega de 24 formatos para la elaboración de números generadores. Documento interno. Archivo general de la Residencia Técnica del P.H. Aguamilpa, C.F.E.; México. 1990
- 4) COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (ZEZP).- Monografía geológica del Proyecto Regulador e Hidroeléctrico San Rafael. Documento interno. Archivo general de la Residencia Técnica del P.H. Aguamilpa, C.F.E.; México. 1994
- 5) INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS (CFE).- Manual de diseño de obras civiles. CFE; México. 1983
- 6) COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.- Oficio 01/33/91 "Recomendaciones para preparar el sitio donde serán instalados grupos de aparatos geotécnicos". Archivo general, CFE; México. 1991
- 7) GERENCIA DE INGENIERIA EXPERIMENTAL Y CONTROL (CFE).- Informe para la instalación de referencias topográficas en el P.R.H. San Rafael. Documento interno. Archivo general de la Residencia Técnica del P.H. Aguamilpa. 1994

BIBLIOGRAFIA

- 1) Toscano, Ricardo
METODOS TOPOGRAFICOS
Editorial Porrúa, S.A.
México, 1977

- 2) Higashida Miyabara, Sabro
TOPOGRAFIA GENERAL
Editorial privada.
México, 1971

- 3) Davis · Foote · Kelly
TRATADO DE TOPOGRAFIA
Editorial Aguilar
Madrid, España. 1985

- 4) Kissam, Philip
TOPOGRAFIA PARA INGENIEROS
C.E. MacGraw-Hill Book.
Co. Nueva York, USA

- 5) A. Bannister, S. Raymond
TECNICAS MODERNAS EN TOPOGRAFIA
Editorial Alfaomega S.A. de C.V.
5ª edición. México, 1994

- 6) Ballesteros Tena, Nabor
TOPOGRAFIA
Editorial Limusa
México, 1984

- 7) García Márquez, Fernando
TOPOGRAFIA APLICADA
Editorial Concepto S.A.
México, 1981
- 8) Montes de Oca, Miguel
TOPOGRAFIA
Editorial Alfaomega S.A.
4ª edición. México, 1989
- 9) Sotelo Avila, Gilberto
HIDRAULICA GENERAL
Editorial Limusa
México, 1979
- 10) L. Simon, Andrew
HIDRAULICA BASICA
Editorial Limusa
USA, 1988
- 11) Acevedo Neto - Acosta
MANUAL DE HIDRAULICA
Editorial Harla
México
- 12) Gardea Villegas, Humberto
APUNTES DE HIDRAULICA DE CANALES
Facultad de Ingeniería, UNAM
México, 1988