

95  
2 G. G. G.



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

## COMPORTAMIENTO GEOTECNICO DE LA C.H. IXTAPANTONGO.

### TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presentan:

RAFAEL LIMON ALVAREZ

Y

RAUL GARAY MORALES



México, D. F.

1985



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 está 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.

I N D I C E .		PAGINA.
CAPITULO I	GENERALIDADES.	01
	1.-SISTEMA HIDROELECTRICO MIGUEL ALEMAN - (S.H.M.A.)	01
	2.-C.H.IXTAPANTONGO Y TUBERIA DE PRESION.	06
	3.-ANTECEDENTES.	12
CAPITULO II	GEOLOGIA.	14
	1.-GEOLOGIA GENERAL.	14
	2.-EXPLORACIONES.	16
	3.-SECCIONES GEOLOGICAS PORCION SUR, CASA - DE MAQUINAS.	19
	4.-SECCIONES GEOLOGICAS DE LA RAMPA ENTRE - MACHONES 9 Y 10.	22
	5.-HIDROLOGIA.	23
	6.-PERMEABILIDAD.	24
	7.-CONCLUSIONES GEOLOGICAS.	25
CAPITULO III	INSTRUMENTACION.	26
	1.-INCLINOMETROS.	27
	2.-PIEZOMETROS Y BARRENOS.	31
	3.-EXTENSOMETRO LINEAL.	33
	4.-REGLETA COLIMADORA.	35

I N D I C E .	PAGINA
5.-CONTROLES TOPOGRAFICOS.	37
6.-MOVIMIENTOS EN LOS APOYOS DE LAS SILLETAS.	43
7.-GALERIA DE DRENAJE.	44
 CAPITULO IV	
GRAFICAS E INTERPRETACION DE LAS MEDICIONES.	46
1.-INCLINOMETROS.	46
1.1.)INCLINOMETRO I-1	
1.2.)INCLINOMETRO I-2.	
1.3.)INCLINOMETRO I-3.	
2.-PIEZOMETROS Y BARRENOS.	47
3.-EXTENSOMETRO.	48
4.-REGLETA COLIMADORA.	51
5.-CONTROLES TOPOGRAFICOS.	51
5.1.)NIVELACION DE CASA DE MAQUINAS.	
5.2.)MEDICION DE LINEAS DE COLIMACION - EN ESTRIBOS DE CONTROL HORIZONTAL- EN LA CASA DE MAQUINAS.	
5.3.)NIVELACION DE SILLETAS DE LA TUBERIA No. 3.	
6.-MOVIMIENTOS EN EL APOYO DE LAS SILLETAS.	54
7.-GALERIA DE DRENAJE.	55
 CAPITULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	58

## I.-GENERALIDADES

### SISTEMA HIDROELECTRICO MIGUEL ALEMAN (S.H.M.A.)

El 29 de diciembre de 1933, mediante decreto del Congreso de la Unión y siendo Presidente de la República el General Abelardo L. Rodríguez, se autorizó el Poder Ejecutivo para constituir la Comisión Federal de Electricidad.

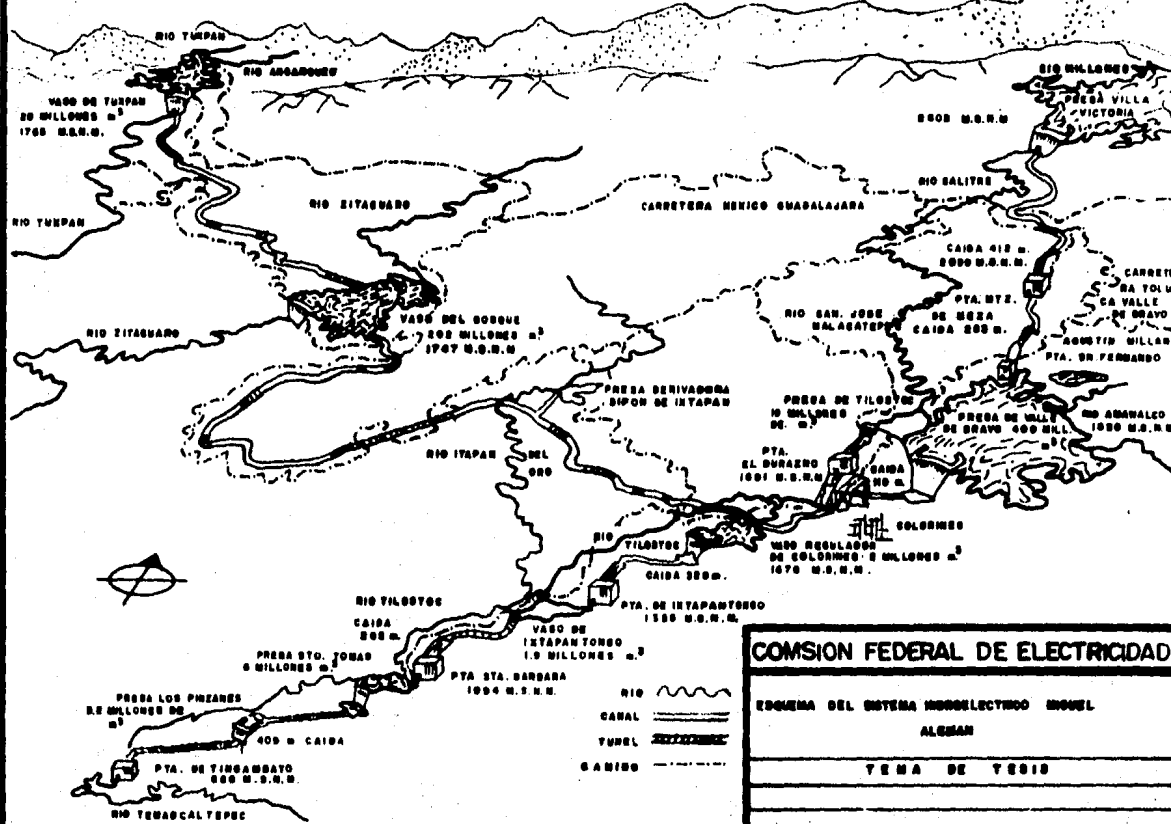
A pesar de la disposición anterior y debido a diferentes circunstancias tendrían que pasar varios años antes de que la Comisión Federal de Electricidad fuese constituida.

Ante la urgencia de resolver una situación crítica en cuanto al problema de suministro de energía eléctrica para servicios públicos el General Lázaro Cárdenas, el 12 de febrero de 1937, con base en el decreto de diciembre de 1933, dictó el acuerdo de que la Secretaría de la Economía Nacional procediese de inmediato a organizar la Comisión Federal de Electricidad para cuyos efectos debía establecer las bases de su funcionamiento y debía definir el programa general de trabajos de dicha Comisión.

Inmediatamente después, el 14 de agosto de 1937, el mismo General Lázaro Cárdenas, en la ciudad de Mérida Yuc., promulgó la Ley que creó la Comisión Federal de Electricidad, como dependencia oficial.

Se constituyó la Comisión Federal de Electricidad y tocó el honor de comenzar a dirigir sus destinos al General Rafael Sánchez Tapia y a los ingenieros Carlos Ramírez Ulloa y Héctor Martínez D'Meza ( este último entregó su vida al servicio de la Comisión ), como Presidente, Vocal Ejecutivo y Vocal Secretario, respectivamente.

# ESQUEMA PANORAMICO DEL SISTEMA HIDROELECTRICO "MIGUEL ALEMAN"



## COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

ESQUEMA DEL SISTEMA HIDROELECTRICO MIGUEL ALEMAN

TEMA DE TESIS

---

FECHA: \_\_\_\_\_ ESCALA: SIN

La primera obra de importancia que emprendió la Comisión Federal de Electricidad fué la planta Hidroeléctrica de Ixtapantongo, parte integrante de lo que más tarde sería el gran Sistema Eléctrico Miguel Alemán. Esta planta, comenzada en 1938, se terminó en su primera etapa en 1944. Son obras también de los primeros años de vida de la Comisión, las pequeñas plantas termoeléctricas de Teloloapan, Gro., Pátzcuaro Mich., Altar Son., Ures, Son., y las hidroeléctricas de Xíla, Oax., Bartolinas, Mich., y Río Ingenio, Nay. A partir de esa época la Comisión Federal de Electricidad ha crecido enormemente teniendo una capacidad instalada en 1983 de 19004 MW contra 405 KW que se tenía en 1939.

El Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán está ubicado en la zona noroeste del Estado de México y se encuentra integrado por seis plantas escalonadas. Se tienen como principales afluentes los ríos Malacatepec y Valle de Bravo que juntos forman el río Tilóstoc, el río Verde o Temascaltepec y el río Ixtapan del Oro, todos ellos en el Estado de México y los ríos Tuxpan y Zitácuaro del Estado de Michoacán; todos estos ríos son afluentes del río Cutzamala y éste a su vez del río Balsas.

Las Centrales Hidroeléctricas que constituyen al Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán se muestran en la siguiente tabla:

PLANTA	No.UNIDADES	CAIDA BRUTA	CAPACIDAD	
Héctor Martínez D'Meza	1	412 m.	25,000	KW
Agustín Millán	1	283	20,000	
El Durazno	2	119	20,000	
Ixtapantongo	3	328	106,000	
Sta.Bárbara	3	262	67,575	
Tingambato	<u>3</u>	409	<u>135,000</u>	
	13		373,575	KW

Sobre el río Malacatepec a 2605 m.s.n.m. se encuentra la presa de almacenamiento de Villa Victoria con una capacidad de - - 210'000,000 m<sup>3</sup> con una cortina de 18 m. de altura del tipo de gravedad en parte y de tierra el resto. Se tiene una conducción de canales y túneles a las plantas de Héctor Martínez D'Meza (primer escalón con caída de 412 m.) y Agustín Millán (segundo escalón - con caída de 283 m.) y cuya descarga es directa a la presa de almacenamiento de Valle de Bravo sobre el río del mismo nombre.

Esta presa tiene un almacenamiento de 410'000,000 m<sup>3</sup> con una cortina de corazón impermeable y enrocamiento acomodado aguas - arriba y aguas abajo de 49 m. de altura; a una altura de 1830.00 m.s.n.m. Se tiene un vertedor de descarga libre lateral con capacidad para 1200 m<sup>3</sup>/seg. De este vaso se toman las aguas para la planta El Durazno (tercer escalón con caída de 119 m.) las cuales alcanzan después la presa derivadora El Durazno para ser conducidas junto con las aguas del río Tilóstoc, hasta el vaso regulador de Colorines.

Esta presa tiene una cortina con altura de 13 m. del tipo de gravedad de mampostería y concreto.

Aguas arriba se encuentra la presa de Tilóstoc, cuya función es decantar y regularizar las aguas de la cuenca del río Malacatepec que, junto con el río Valle de Bravo, forman el río Tilóstoc. Así pues, esta presa disminuye la acumulación de azolves en las - presas de aguas abajo (Colorines, Ixtapantongo, Sto. Tomás y Pinzanes); la capacidad de esta presa es de 14'000,000 m<sup>3</sup>, con una - cortina de 20 m. de altura tipo gravedad de mampostería, dente - llón y revestimiento de concreto con vertedor de descarga libre - y gasto de 900 m<sup>3</sup>/seg.

Al vaso regulador de Colorines son conducidas también las - aguas de los ríos Tuxpan, Zitácuaro e Ixtapan del Oro, para los - cuales se construyeron las siguientes obras: presa Tuxpan con capacidad de 20'000,000 m<sup>3</sup> a una altitud de 1765 m.s.n.m., la corti



na es de corazón impermeable y materiales graduados con 22 m. de altura y 589 m. de longitud de la corona; se tiene un vertedor de compuertas radiales para un gasto de  $1000 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Posteriormente las aguas son llevadas a la presa de almacenamiento El Bosque con una capacidad de  $220'000,000 \text{ m}^3$ , la cortina es de materiales graduados y enrocamiento de 70 m. de altura, el vertedor tiene una capacidad de  $1000 \text{ m}^3/\text{seg.}$

De esta presa las aguas son conducidas a la presa derivadora de Colorines mediante canales, túneles y sifones. A esta conducción se añaden las aguas de la presa derivadora de Ixtapan del Oro que tiene una cortina de 10 m. de altura y de tipo de gravedad con mampostería y paramento de concreto.

El vaso regulador de Colorines tiene una capacidad de - - -  $2'000,000 \text{ m}^3$  a una altitud de 1676 m.s.n.m. con una cortina de 15m. de altura de enrocamiento y pantalla de concreto reforzado aguas arriba. De este vaso las aguas son conducidas a la planta de Ixtapantongo (cuarto escalón con caída de 328 m.) y descargan al vaso regulador del mismo nombre con capacidad de  $1'900,000 \text{ m}^3$  con cortina de 28 m. de altura, de enrocamiento del tipo de gravedad y pantalla de concreto aguas arriba.

Las aguas son conducidas por túneles y un sifón a la planta Sta. Bárbara (quinto escalón con caída de 262 m.) que descarga en la presa de Sto. Tomás. A este vaso llegan también los excedentes del río Ixtapan del Oro que se conducen posteriormente por un túnel a la presa derivadora de los Pinzanes, cuyas aguas son conducidas mediante un túnel y tiro vertical a la planta de Tingambato (sexto escalón del Sistema).

En las condiciones iniciales, el Sistema trabajó con todas las unidades resolviendo en parte la creciente demanda de energía del área metropolitana de la Ciudad de México y zonas aledañas, que fué crítico entre los años 1930 y 1938.

Actualmente las Centrales Ing. Héctor Martínez D'Meza, Agustín Millán y El Durazno se encuentran cerradas, por la necesidad imperiosa de suministrar agua potable a la Ciudad de México y - cuya responsabilidad está a cargo de la Comisión de Aguas del - Valle de México (C.A.V.M.) mediante el proyecto Cutzamala, la - cual se encuentra actualmente suministrando agua a la Ciudad de - México con el almacenamiento de la presa Villa Victoria y la Planta de bombeo No. 5. Se tiene programado para fines de 1984 poner en operación las Plantas de Bombeo Nos. 2, 3 y 4 que utilizarán - el almacenamiento de Valle de Bravo.

En las condiciones finales, es decir, con la operación de - las Plantas de Bombeo Nos. 1,2,3, 4 y 5 de la C.A.V.M., el Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, solamente operará con un gasto - constante de  $4 \text{ m}^3/\text{seg.}$  en las Centrales Ixtapantongo, Sta. Bárbara y Tingambato y solo en un turno de operación u horas pico.

Las Plantas de Bombeo No. 1 (P.B. No. 1) se localizará en el futuro al rededor del vaso regulador de Colorines, la cual es suministrada por las presas de Tuxpan, El Bosque e Ixtapan del Oro con un gasto máximo de  $11.2 \text{ m}^3/\text{seg.}$

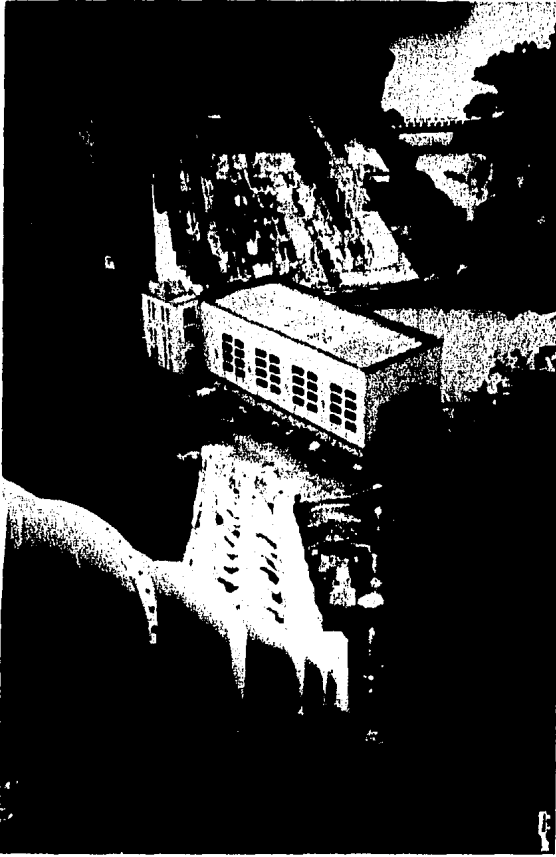
## CENTRAL HIDROELECTRICA IXTAPANTONGO Y TUBERIA DE PRESION

Aún cuando es la cuarta en el orden topográfico, fué la primera que envió energía a México. Su construcción se inició en el año 1939, y entonces se hicieron a Alemania los pedidos del equipo necesario. La segunda Guerra Mundial imposibilitó esta entrega, - por lo que obligó a introducir modificaciones en los proyectos originales se adquirió nuevo equipo en los Estados Unidos y así fué posible poner en servicio la primera unidad generadora en 1944 con 28,000 KW. La segunda unidad entró en servicio en 1947 con 28,000 KW. La tercera unidad de capacidad mayor que las dos anteriores - (50,000 KW) comenzó a producir en el año 1954.

Como se mencionó anteriormente, las aguas de desfogue de la planta de El Durazno llegan al vaso regulador de Colorines, cerca del que se encuentra la población del mismo nombre. En ella se hallan instaladas las oficinas de la Comisión Federal de Electricidad.

En el vaso de Colorines en la margen izquierda se tiene un tajo de 500 m. de longitud con 4.50 m. de ancho en la base y con taludes de  $1 \frac{1}{2} : 1$ , que conduce el agua hasta un túnel de presión de sección circular, de 3.20 m. de diámetro y una longitud de 724m. totalmente revestido de concreto reforzado. En el portal de entrada a éste túnel se tiene una estructura de concreto reforzado donde se tienen instaladas dos compuertas deslizantes con los mecanismos respectivos para su operación y las rejillas de protección - correspondientes.

Próximo al portal de salida se tiene el pozo de oscilación de tipo cónico con diámetro superior de 21.57 m. y el inferior en la unión con el túnel, de 3.60 m., la altura del brocal sobre el eje del túnel es de 30.80 m. Este pozo revestido de concreto armado - esta protegido con una cubierta metálica y barda perimetral para evitar la caída de cuerpos extraños.



**C.H. IXTAPANTONGO. SE OBSERVA LAS TUBERIAS DE PRESION ENTRE LOS  
MACHONES 9 Y 10, LA CASA DE MAQUINAS Y SUBESTACION ELEVADORA**

## TUBERIA DE PRESION

El portal de salida del túnel esta formada por un bloque de concreto armado en el que se verifica la transición entre el túnel con 9 mm. de espesor y descansa en silletas de concreto. Esta tubería se prolonga en una longitud de 87 m. hasta una pieza especial de trifurcación de la cual parten tres tuberías, una para cada unidad de 1.80 m. de diámetro interior; en cada una de las salidas de esta trifurcación está instalada una válvula de mariposa que tiene la función de obturar la tubería en caso de una rotura o falla en las válvulas de la planta. Inmediatamente después de cada válvula de mariposa está instalada una válvula de aire; para que en caso de un cierre brusco de las primeras se permita la entrada de aire a la tubería correspondiente y no se forme el vacío en ella. De la casa de válvulas (lugar donde se encuentran las mencionadas) hasta la casa de máquinas tienen una longitud total aproximada de 1050 m. pasando por 10 puntos de inflexión, en cada uno de los cuales hay un machón de anclaje de concreto reforzado; aguas arriba de cada uno de estos machones se tienen pozos de visita y aguas abajo juntas de expansión, para absorber los cambios de longitud de la tubería originados por los cambios de temperatura. Los diámetros de las tuberías van disminuyendo gradualmente desde 1.80 m. hasta 1.50 m. en la casa de máquinas; los espesores varían también desde 9.0 mm. hasta 35 mm. del portal de salida hasta el extremo inferior.

Como se mencionó anteriormente, se tuvieron serios problemas para la adquisición del equipo que se había contratado a Alemania por la Segunda Guerra Mundial, la tubería de presión que también había sido originalmente pedida a Alemania, fué entregada sólo en parte y el resto se encargó a E.U.A.

Originalmente el diseño pedía una tubería remachada, el cual fué modificado y es por eso que la tubería para la primera unidad es remachada en parte y soldada en otra.

Las presiones estáticas varían, para las tres tuberías, entre 3 Kg/cm<sup>2</sup> en la parte superior y 33 Kg/cm<sup>2</sup> en la inferior con un margen de seguridad de 50% para sobrepresiones por golpe de ariete

La tubería descansa sobre silletas de concreto colocadas a distancias de 6.0 y 8.0 m. y el movimiento de expansión y contracción se permite por medio de juntas deslizantes de hierro corrugado colocadas entre la tubería y el concreto; posteriormente se hablará de las modificaciones que se hicieron a algunas de las silletas debido a los problemas que se tienen por desplazamiento de la masa rocosa, y que son motivo de éste trabajo.

## CASA DE MAQUINAS

Este edificio está constituido por dos cuerpos principales, - uno que aloja vestíbulo en planta baja, sala de cables y sala de - tableros en pisos superiores, desde sala de tableros se domina la sala de generadores. En el otro cuerpo se distinguen dos niveles; nivel piso de generadores y nivel piso de turbinas.

Las dimensiones generales del edificio son: largo 51.00 m., - ancho 22.40 m. en la fachada principal y 17.00 en la parte que - corresponde a la sala de máquinas, altura 16.00 m. sobre el piso - de generadores. La superficie total es de 915.00 m<sup>2</sup>, la estructura es de concreto reforzado con trabes carril de concreto para una grúa viajera de 110 tons. La subestructura o cimentaciones es un gran relleno de concreto sobre el que se desplanta la casa de má - quinas.

Características de las unidades de la C.H. Ixtapantongo:

### TURBINAS

	Unidades 1 y 2	Unidad 3
Marca	I.P. Morris	V.M.Voith
Tipo	Francis	Francis
Eje	Vertical	Vertical
Potencia	39,000 H.P.	62,500 H.P.
Velocidad	600 r.p.m.	500 r.p.m.

### GENERADORES

	Unidades 1 y 2	Unidad 3
Marca	Westinghouse	Oerlikon
Potencia	28,000 KW	50,000 KW
Voltaje Generación	13,200 V	13,200 V
Fases	3	3

	Unidades 1 y 2	Unidad 3
Ciclos	60	60
Velocidad	600 r.p.m.	500 r.p.m.
Eje	Vertical	Vertical

Por último se tiene la subestación elevadora, del tipo interperie localizada el poniente de la casa de máquinas, a un lado del canal de desfogue ocupando un área de 6500 m<sup>2</sup> aproximadamente.



## I.1 ANTECEDENTES

Desde el año de 1955, se han venido haciendo estudios sobre todo de observación, de movimientos que se presentan en la rampa y casa de máquinas de la C.H. Ixtapantongo, se supone que estos movimientos han ocasionado fallas en las unidades de la Central, ya que éstos deben operar con una verticalidad total y, al no estarlo en la Central se producen fallas en chumaceras y demás elementos rodantes.

Como se mencionó anteriormente, se ha venido estudiando este problema desde 1955; en la actualidad la Oficina de Estudios Experimentales y el Departamento de Ingeniería Civil de Operación de la Comisión Federal de Electricidad, han venido llevando el control de los movimientos del terreno mediante la observación de piezómetros, inclinómetros y del control topográfico de precisión de puntos fijos sobre la tubería de presión y en el edificio de casa de máquinas. La descripción del equipo así como los resultados de las mediciones se dan en los capítulos subsecuentes.

Como consecuencia de las primeras observaciones, se realizó un primer estudio geológico en 1966, aprovechando los barrenos que se perforaron para la instalación de piezómetros y un inclinómetro debido a que el movimiento aunque pequeño, es constante, se requirió un nuevo análisis en 1970 y un nuevo estudio geológico en 1973.

El presente trabajo tiene como objeto el de condensar toda la información referente a la inestabilidad de la Central y realizar la interpretación geotécnica del problema. Como se podrá ver posteriormente, la rampa se mueve por los empujes hidrostáticos que sufre la cimentación de la casa de máquinas, esto sumado a algún movimiento de reacomodo que sufrió la roca al desplantarse la cimentación y casa de máquinas. En la zona de casa de máquinas y tanques de agua de enfriamiento se encuentran horizontes de roca -

fragmentada de granulometría muy variable con suelos, arenas, gravas y boleos antes de entrar en contacto con las rocas metamórficas, ésta variedad de materiales constituye esta zona en un gran acuífero que mantiene una presión hidrostática más o menos constante a la cimentación de la casa de máquinas, y que sólo se modifica por las filtraciones al terreno en la época de lluvias. La zona estudiada comprende principalmente la rampa de las tuberías de presión entre los machones 9 y 10.

Los instrumentos instalados en la rampa (piezómetros, barrenos inclinómetros, extensómetros, regleta colimadora, nivelaciones y controles topográficos en general) han dado información suficiente para considerar que la casa de máquinas y las tuberías de presión permanecen estables con un mínimo de movimientos. El análisis de la información de cada instrumento se presenta en el capítulo IV.

Una de las medidas de corrección que se implantaron como resultado de los estudios geotécnicos, fué la construcción de la galería de drenaje de la que se habla en el capítulo III, también fué necesario modificar las silletas de apoyo de las tuberías de presión de las unidades 1 y 2, ya que los movimientos que se tenían hasta el año de 1975 habíá desplazado sensiblemente algunas de las silletas de concreto y por consiguiente a las tuberías de presión.

Al demoler las silletas, las tuberías recobraron su alineamiento por propia elasticidad del acero y fué necesario entonces colocar nuevas silletas, ésta vez de acero estructural.

## CAPITULO II

### GEOLOGIA

#### GEOLOGIA GENERAL.

En el área de estudio se encuentran derrames lávicos de andesitas y basaltos, existiendo tobas y brechas igneas que cubren a las rocas metamórficas (esquistos). También existen materiales de talud, acarreos y suelos que en ocasiones, éstos últimos, se encuentran cubiertos por derrames lávicos o por grandes bloques de rocas andesíticas desprendidas de las partes acantiladas. Estos grandes desprendimientos se han confundido anteriormente, con derrames lávicos "in-situ" al realizar los sondeos.

Se tienen además, horizontes arenosos de composición andesítica y de esquistos, intercalados con limos y suelos antiguos, estos sedimentos se localizan en antiguas depresiones que fueron rellenas posteriormente.

Cabe hacer mención que el conocimiento de la geología y correlación de secciones geológicas fué posible con la barrenación en diferentes puntos del terreno, y que se hicieron con el propósito de colocar la instrumentación necesaria para conocer o determinar la tendencia al movimiento de la masa rocosa. La localización de barrenos y la geología superficial se presenta en el plano No.II-1.

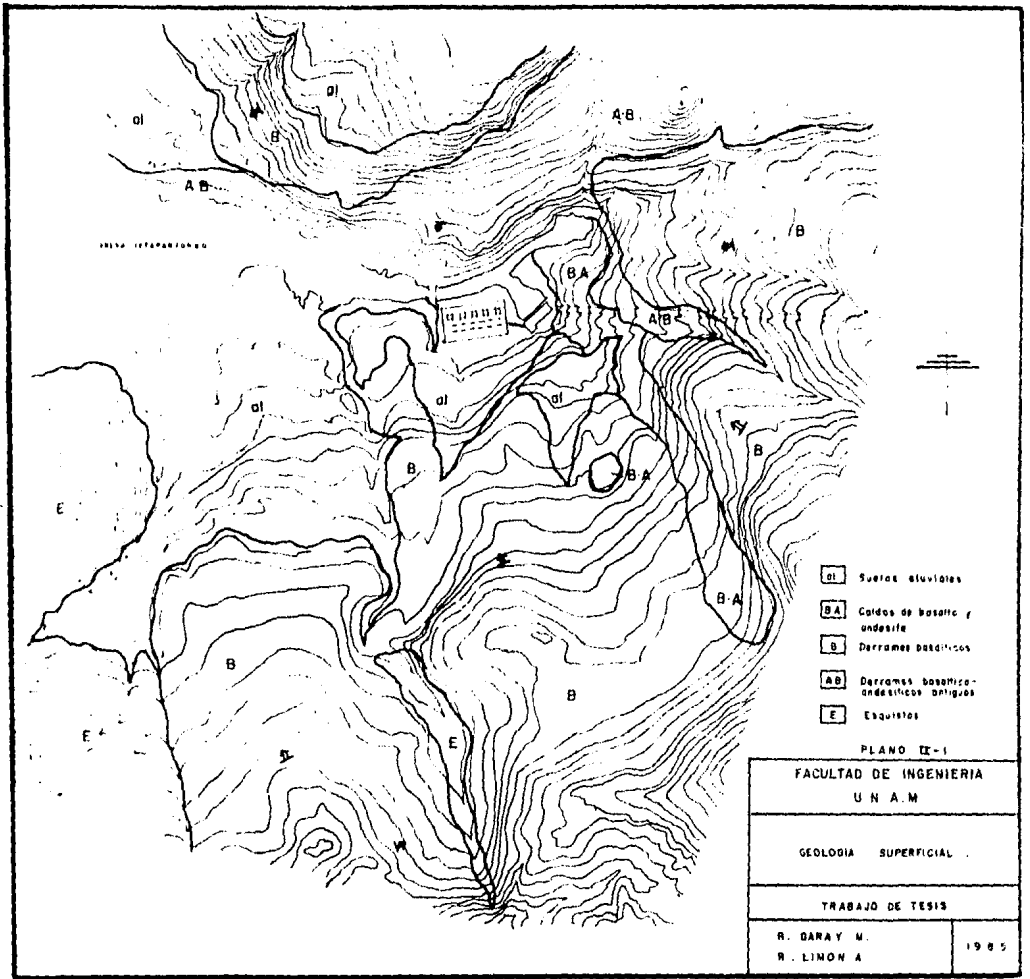
Entre los machones 9 y 10 es donde se puede definir superficialmente el cambio de la roca "in-situ" a una serie de depósitos de talud de diversos tamaños, predominando en la margen izquierda las unidades grandes con un promedio de 40 cms. por arista y en la margen derecha los tamaños de 5 cms. por arista.

Se puede considerar que se trata de dos corrientes igneas, las que soportan a la tubería de presión cerca del machón No. 9,

pues mientras el macizo rocoso de la margen derecha acusa un buzamiento de  $45^\circ$  hacia el río Tilóstoc (lado derecho), en el centro, o sea en la parte en donde yacen las tuberías, la roca tiene una inclinación casi vertical y a medida que se va alejando hacia la masa rocosa de la margen izquierda, el echado de los diferentes bloques tiende hacia la izquierda también.

Por ésta misma zona se encuentran algunos aglomerados y entre los machones No. 8 y No. 9 que presentan zonas brechosas de roca andesítica formada por materiales finos y clásticos pequeños en las paredes, tanto a la izquierda como a la derecha de las tuberías.

La roca superficial, en general se encuentra sana con sólo la acción del intemperismo y las brechas en algunos casos se manifiestan en malas condiciones, pero no indican alguna peligrosidad en sus juntas con la roca sana. El plano II-1 representa la geología superficial de la zona.



## EXPLORACIONES

Como resultado de la primeras observaciones de la tendencia - al movimiento y la aparición de grietas en la rampa de las tuberías de presión, en el año de 1970 se perforaron 17 barrenos de diferentes profundidades estando los barrenos del B-4 al B-15 localizados en los márgenes de la rampa entre los machones Nos. 9 y 10. Los barrenos B-1, B-2, B-3, B-16 y B-17 quedaron localizados fuera de la rampa con objeto de correlacionarlos y tener una mejor idea de la geología de la zona de la rampa y la vecina inmediata a ésta.

Considerando los barrenos individualmente, se puede decir que del B-4 al B-8 predomina el boleo andesítico que en casi toda su manifestación se trató de roca sana y poco intemperizada. Esta roca indudablemente es material que se utilizó como relleno para lograr el talud de la rampa. Después del B-9 al B-15, que son los que están sobre la rampa, ya empieza a figurar como formación principal la andesita "in-situ" de color gris, sana y fracturada.

Subyaciendo a las andesitas se presenta un esquisto que puede ser calcáreo y que se obtuvo en un principio en formas de arenas y como muestra de canal sin recuperar nada en el barril. Posteriormente ya se obtuvieron núcleos de dicha formación con fragmentos de cuarzo.

También en los barrenos B-4 y B-10 se recuperaron arenas, arcillas, algunas tobas y unos fragmentos de un piroclástico rojo - completamente aislado y por lo tanto, sin importancia dentro de la columna geológica.

En el año de 1973, después de un nuevo estudio geológico se perforaron nuevos barrenos para un mejor conocimiento de la zona y la colocación de piezómetro e inclinómetros. En el sondeo para exploración o instalación del inclinómetro I-2, se obtuvo una secuencia de limos arenosos (SM), lodos, arcillas (C) y grava: (G), antes

de alcanzar el esquisto alterado, por tanto, se decidió tocar el -  
esquisto menos alterado en vista de que en la porción superior del  
sondeo, se había perforado un horizonte de arenas de esquisto des-  
cansando sobre limos arcillosos y gravas de composición diferente-  
al de los esquistos.

Durante la perforación se encontró artesianismo, alcanzando -  
el agua 3.15 m. de altura sobre el brocal del pozo que se localiza  
en el camino de acceso a la planta. El agua acarreó gran cantidad  
de arcillas, limos y arenas.

De los resultados obtenidos del sondeo I-2, se decidió llevar  
a cabo sondeos de exploración con el fin de determinar la extensión  
y forma de esos materiales granulares y conocer el contacto con -  
las rocas metamórficas (esquistos), así mismo, conocer los niveles  
freáticos y zonas donde apareciera artesianismo.

Las clasificaciones de las principales rocas son:

Andesita roja porfídica de lamprobolita, andesita gris de hy-  
perstena, esquistos de cuarzo y mica microbreccia cataclástica.

De acuerdo con los cortes longitudinales, se puede apreciar -  
la presencia de tres tipos de materiales perfectamente definidos y  
que son: el boleó andesítico en la parte superior, el cual se pue-  
de considerar como material de relleno y que yace en la mayor par-  
te sobre la andesita "in-situ" la cual es la masa rocosa que se -  
puede señalar como la principal por sus características físicas, y  
en la zona profunda tenemos el esquisto que en la cima del mismo -  
se recuperó en forma de arena y luego se fué obteniendo fragmentos  
con la profundidad. Como cuarto material, se tiene una serie de -  
arcillas, tobas, arenas, arcilla arenosa y arena arcillosa que se  
localizan en forma de lentes dentro del boleó andesítico, y entre-  
la andesita y el esquisto.



DETALLES DE PERFORACION  
REALIZADOS EN 1966 EN -  
LA RAMPA.

NOTESE EL AGRIETAMIENTO  
EN EL MURO LATERAL (FO-  
TO INFERIOR).





## SECCIONES GEOLOGICAS PORCION SUR, CASA DE MAQUINAS

### PLANO II-2

Se ha llevado a cabo la correlación de los sondeos por medio de cinco secciones geológicas normales a la pendiente del terreno y una sección casi paralela a la casa de máquinas utilizando los sondeos B-5, B-4, I-2 y B-19, los dos últimos barrenos dieron muestras de artesianismo.

De las secciones geológicas se observa que los esquistos se localizan a la elevación 1310 m.s.n.m. a la altura de la casa de máquinas; en cambio hacia la rampa se encuentran en la elevación 1349 m.s.n.m. y hacia la zona de tanques de enfriamiento bajan a la elevación 1340 m.s.n.m., ésto nos da una idea del plano de contacto que existe entre las andesitas y los esquistos y que puede ser el plano de escurrimiento de las aguas subterráneas.

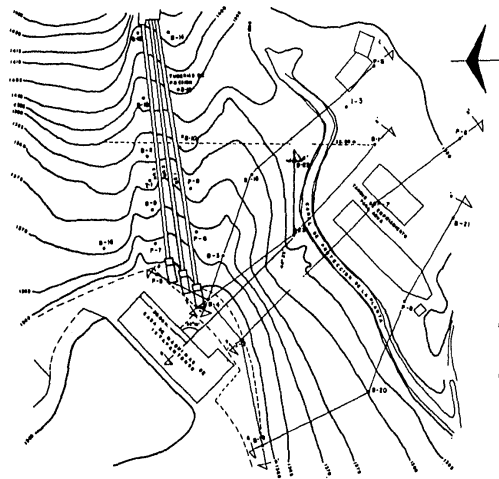
Las seis secciones siguientes corresponden a la porción sur de la casa de máquinas, plano II-2.

#### SECCION 1-1:

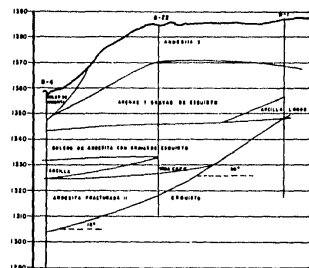
Esta sección es más o menos semejante a las secciones obtenidas en la zona de la rampa, está formada por 2 corrientes de andesitas, descansando directamente sobre esquistos. En el B-3 y B-4 aparece una zona rellena por boleos, arcillas y arenas de esquistos hacia la zona de casa de máquinas.

#### SECCION 2-2:

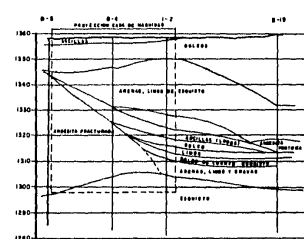
En esta sección aparece solamente el horizonte superior de andesitas en la superficie éste se encuentra descansando sobre arenas, gravas, boleos y arcillas, encontrándose el horizonte inferior de andesitas entre los barrenos B-4 y B-22, donde desaparece. Abajo de este horizonte de andesitas se encuentran los esquistos que suben con una pendiente entre 16° y 30°.



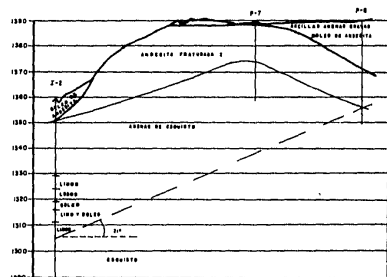
SECCION 2-2'



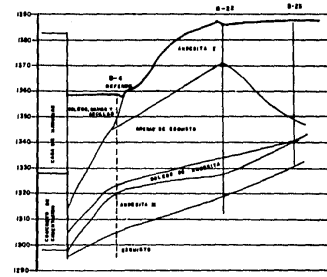
SECCION 5-5'



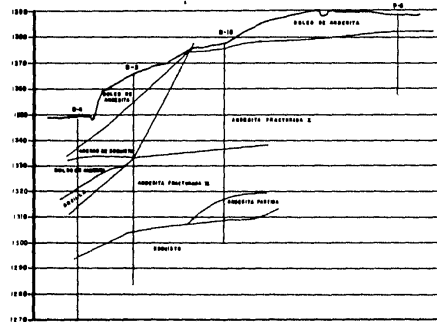
SECCION 3-3'



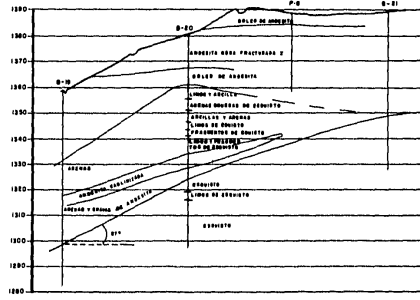
SECCION 6-6'



SECCION 1-1'



SECCION 4-4'



PLANO II-R

FACULTAD DE INGENIERIA  
 U. N. A. M.  
 SECCION GEOLOGICA DE LA PAR  
 CIDAD DE LA CASA DE DR.  
 GUERRAS.  
 TITULO DE TESIS  
 RAUL GARAY BORALES  
 RAFAEL LIMON ALONSO 1984

### SECCION 3-3:

Esta sección es semejante a la anterior, el segundo horizonte de andesitas desaparece completamente. Desgraciadamente, el barreno P-7 no se profundizó debido a que fué diseñado para colocar un inclinómetro; sin embargo, el P-6 e I-2 alcanzaron los esquistos, observando una inclinación de su pendiente de 21°.

### SECCION 4-4:

En esta sección, el espesor de materiales granulares aumenta considerablemente, el segundo horizonte de andesitas se encuentra ausente. Sin embargo se reperforó el barreno B-20 hasta 150 m. de profundidad y se midió el flujo térmico, indicando este método en las profundidades de 90 y 125 m. un incremento de temperatura de 28°C que puede deberse a una zona de falla antigua dentro de los esquistos. desafortunadamente en ese intervalo no se recuperó ningún material, lo que nos indica una zona totalmente fina que no permitió obtener testigos. Hay que hacer la aclaración que hasta esa profundidad el esquisto se encuentra alterado, encontrándose la roca sana abajo de esa profundidad, por tanto, puede tomarse como una discontinuidad.

### SECCION 5-5:

Esta sección se localiza en el piso de acceso a la casa de máquinas a la orilla de la cuneta, en ella se aprecia un horizonte de boleos de andesita descansando sobre limos, arenas, lodos y gravas; solamente hacia la zona de la rampa aparecen las andesitas descansando sobre esquistos. Los materiales granulares hacia el SE de la rampa descansan sobre esquistos estando ausentes las andesitas.

### SECCION 6-6:

Esta sección esta localizada sobre el trazo original del túnel de acceso para la galería de drenaje y que fué modificado y

reubicado, según se muestra en el plano de localización de barrenos e instrumentación. En esta sección se distinguen los dos horizontes de andesitas con el esquisto sano a la mayor profundidad. Se distingue el perfil de la casa de máquinas y el gran relleno de concreto de cimentación y que descansa aparentemente, sobre los esquistos sanos.

SECCIONES GEOLOGICAS DE LA RAMPA ENTRE MACHONES 9 Y 10

PLANOS II-3 Y II-4

SECCION 1-1'

En esta sección se observa la predominancia de las andesitas las cuales se encuentran en contacto con los esquistos a una elevación promedio de 1310 m.s.n.m. subyaciendo a arenas, boleos y arcillas en los barrenos 5, 7, 9 y 11. La cimentación de la casa de máquinas descansa sobre esquistos alterados y fracturados

SECCION 2-2'

Se aprecian lentes de arenas de esquisto intercalados en la andesita y ésta sobreyaciendo a los esquistos alterados.

SECCION 3-3'

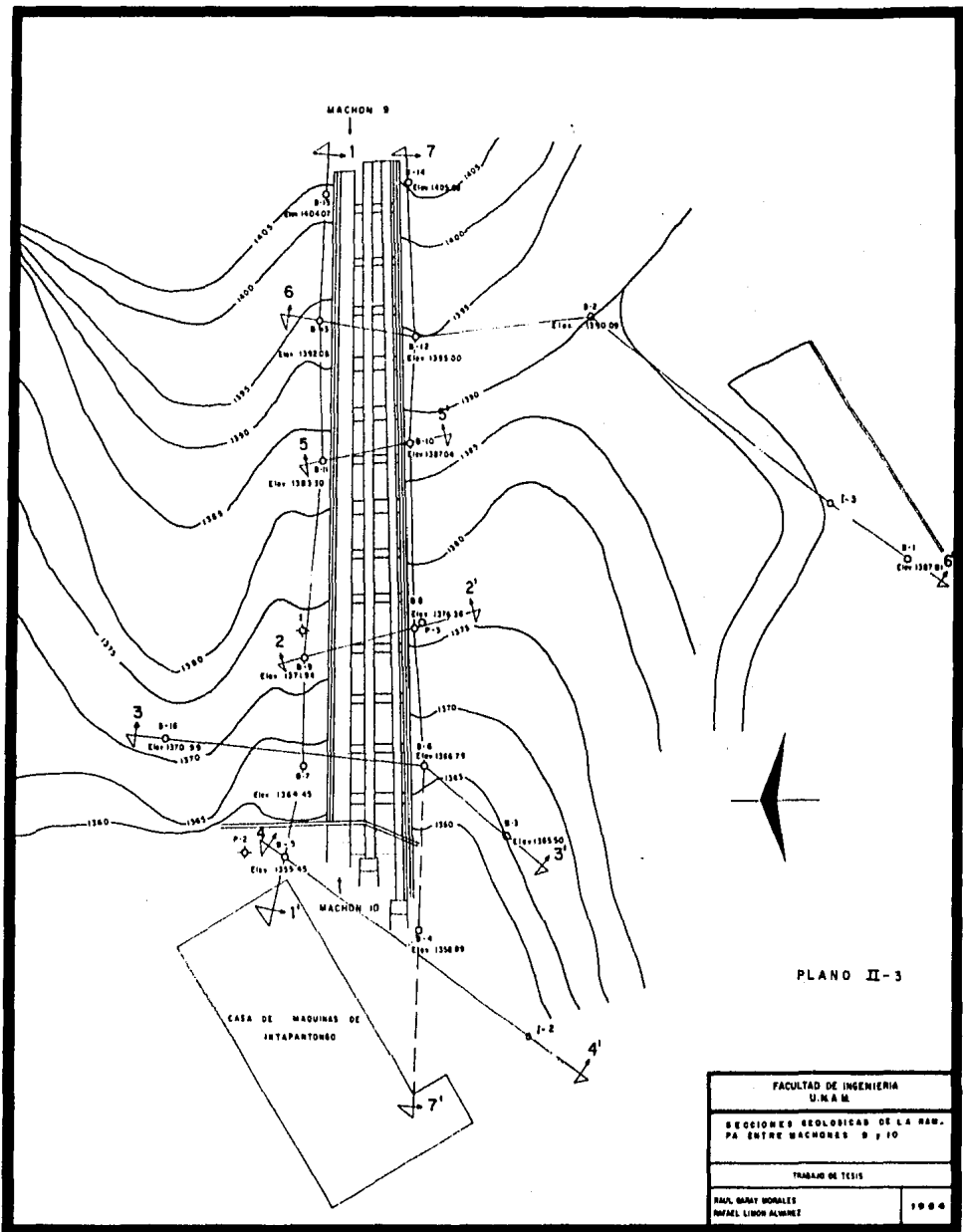
Entre los barrenos 3, 6 y 7 se encuentran espesores considerables de arenas, gravas y boleos con una alta permeabilidad con la presencia de andesitas y esquistos en lo más profundo.

SECCION 4-4'

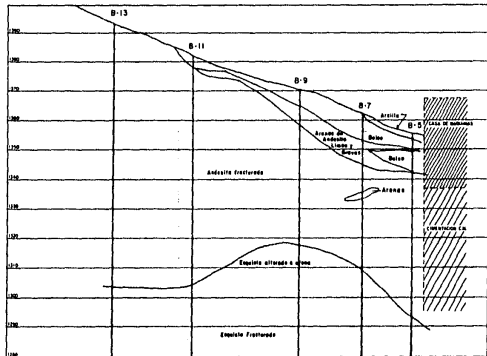
En esta sección, en el barreno B-5 se mantiene la misma secuencia de las secciones anteriores, pero en el inclinómetro I-2 desaparece el horizonte de andesitas quedando un espesor de más de 50 m. de arenas, arcillas, limos y boleos en contacto con los esquistos alterados.

SECCION 5-5'

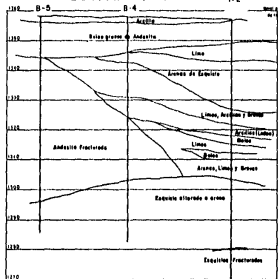
Esta sección, muy similar a la 2-2', presenta un ángulo muy marcado del contacto entre andesitas y esquistos y algunos lentes de arenas entre la andesita.



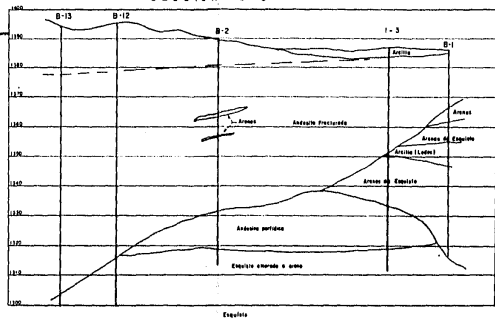
SECCION 1-1'



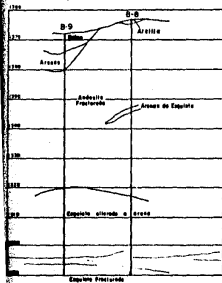
SECCION 4-4'



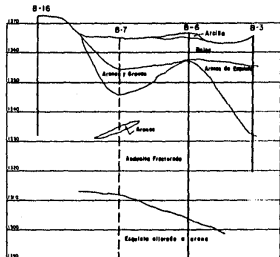
SECCION 6-6'



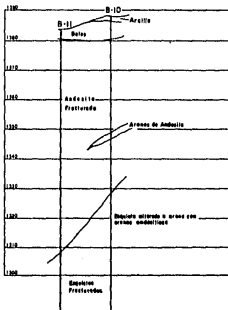
SECCION 2-2'



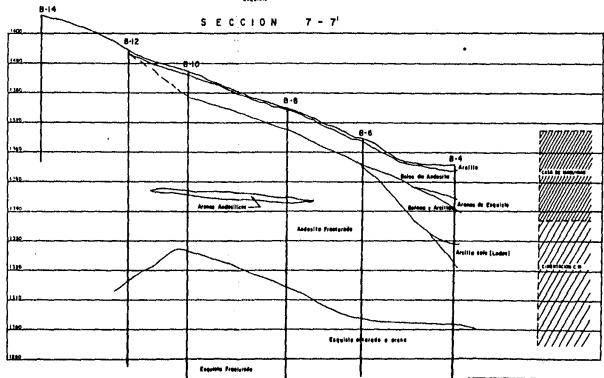
SECCION 3-3'



SECCION 5-5'



SECCION 7-7'



FACULTAD DE INGENIERIA  
 U. N. A. M.  
 SECCIONES GEOLOGICAS DE LA ZARZA  
 ESTEREO RECORRIDO N.º 10  
 Hecho en 1961  
 PLANO II-4  
 10000

## SECCION 6-6'

En el B-2 e I-3, se encontró un horizonte de andesitas porfídicas descansando sobre esquistos alterados y que subyacen a las andesitas fracturadas. Se presentan también arenas andesíticas formando lentes.

En la zona del I-3 y B-1 (cercana a los tanques de enfriamiento) se encuentran espesores grandes de arenas y arcillas de esquistos intercaladas entre andesitas.

## SECCION 7-7'

Esta sección que se mantiene al igual que la 1-1', paralela a las tuberías de presión, nos presenta una capa delgada de arcillas en la parte superior y subyaciendo un espesor de 40 m. aproximadamente de andesitas fracturadas. En el barreno B-4, cercano a la casa de máquinas se encuentran boleos de andesita, arenas y arcillas hasta 30 m. de profundidad; el esquistos se encuentra, como en toda la zona, subyaciendo a las andesitas.

## HIDROLOGIA

Dos son las principales fuentes de agua que surten esa zona, siendo una de ellas la lluvia, la cual se puede considerar bastante alta, pues tienen una precipitación media anual de 1020 mm. dentro del período comprendido entre junio y septiembre. La otra fuente, posiblemente la más peligrosa para la inestabilidad de la Central, es la que cae sobre la margen izquierda aproximadamente a 200 m. y a 50 m. sobre la margen derecha y que se desliza, en los dos casos, sobre la pared casi vertical de la roca andesítica. Esta agua proviene de las excedencias de un pequeño canal de tierra que funciona todo el año.



Considerando los niveles piezométricos tomados en el período en que se realizó el estudio geológico de 1970, se concluye al relacionarlos, que el nivel freático está a menos profundidad en la parte baja de la rampa (entre 5 y 7 m.) que en la parte superior - (entre 13 y 15 m.). Considerando los cortes longitudinales y transversales, se precisa que el flujo subterráneo se establece en el sentido del flujo en la tubería y hacia la derecha de ésta.

#### PERMEABILIDAD

De acuerdo con los núcleos recuperados, se puede considerar que en la zona de boleos principalmente, y en los demás estratos en general se presenta una alta permeabilidad, pues en casi la totalidad de los estratos al barrenarse se encontró material muy suelto o muy fracturado con un porcentaje de recuperación muy bajo.

Además de esto se presentó el fenómeno de artesianismo en el barreno B-5, estando perforado a la profundidad de 48 m. y 65 m. Otra prueba de la permeabilidad existente se manifestó cuando al estar perforado el barreno B-11, el agua de perforación afloró a la superficie por la boca del B-9.

Para confirmar lo anterior se realizaron pruebas de permeabilidad tipo Lugeon en los B-10 y B-11 a diferentes profundidades, cuyos resultados fueron de una alta permeabilidad.

## CONCLUSIONES GEOLOGICAS

Por lo que a estructura se refiere se consideran dos condiciones:

- a) Empuje de una masa rocosa de gran volúmen y gran peso la cual está representada, según los cortes longitudinales, por la andesita y que podría estar actuando, en parte, como una cuña. Esto a pesar de todo es relativo ya que el echado general de la andesita es hacia la izquierda y derecha pero no en la dirección de la rampa.
- b) En relación a los lentes de materiales fluidos contenidos principalmente en los boleos, se tienen dos de cierta consideración. El mayor de éstos se presenta en la margen derecha entre los 6 y 9 m. de profundidad, estos "estratos débiles" están formados por arcilla, arena, sus combinaciones y tobas deleznable, materiales de cierta fluidez y que son arrastrados por el flujo del agua subterránea.

Los depósitos de talud que se encuentran entre los machones 9 y 10 y que sobreyacen a los lentes antes mencionados aunados a las condiciones geohidrológicas (nivel freático poco profundo y con manifestaciones de artesianismo) son los causantes del deslizamiento, el cual se concluye por los estudios e instrumentos colocados en la rampa y que se tienen en los capítulos siguientes.

Como consecuencia de los estudios generales se consideró necesario abatir el nivel freático y las presiones de agua subterránea en la rampa (entre machones 9 y 10) y la casa de máquinas; para ésto se diseñó y construyó una galería de drenaje en 1975 en la cual se efectuarían una serie de perforaciones para drenes con el objeto de interceptar los escurrimientos del agua subterránea.

## CAPITULO III

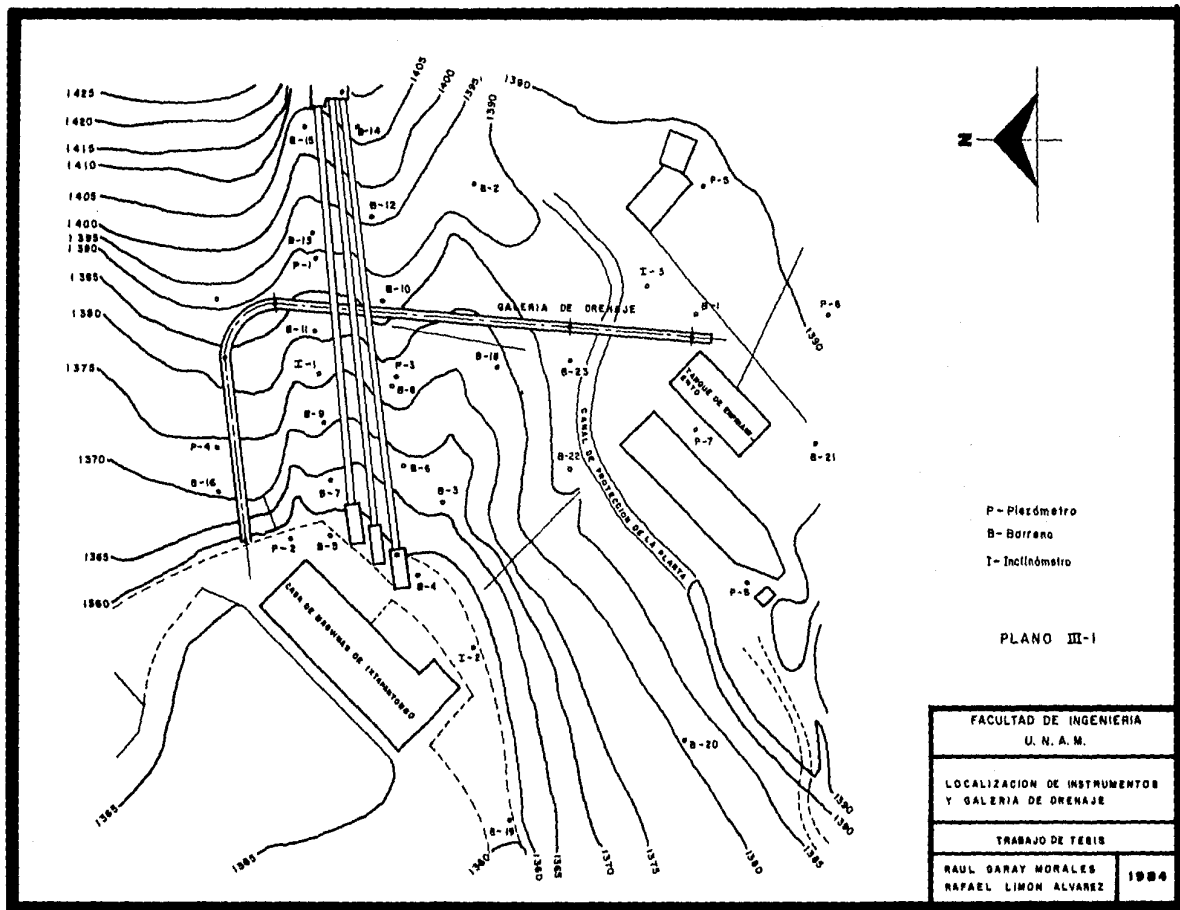
### INSTRUMENTACION

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, la instrumentación que se instaló en la rampa de esta Central fué consecuencia de las observaciones y estudios geológicos locales, que indicaban posibilidad de movimientos de la masa rocosa y consecuentemente peligrosidad o riesgo de la Central.

Actualmente toda Central Hidroeléctrica, contempla desde su diseño, una serie de instrumentos para colocarse principalmente en la cortina. Se pretende con ésto conocer los esfuerzos, tensiones deformaciones, niveles freáticos, etc., que se presentan en las cortinas en general y que pueden irse comparando con los esfuerzos y deformaciones estimadas en el proyecto. En el caso particular de éste trabajo, la instrumentación fué posterior a la construcción de la Central, ya que se desconocía la potencialidad al movimiento que tenía la gran masa rocosa sobre la cual descansa la tubería de presión y que se hizo evidente hasta años después de su construcción.

En adelante se presentan los instrumentos con los que actualmente se siguen observando periódicamente las tendencias de cada zona de la rampa y que son:

- 1.-) Inclínómetros.
- 2.-) Piezómetros y Barrenos.
- 3.-) Extensómetro Lineal.
- 4.-) Regleta Colimadora.
- 5.-) Controles Topográficos.
- 6.-) Movimientos en el apoyo de silletas.
- 7.-) Galería de Drenaje.



P - Piezómetro  
 B - Barrero  
 I - Inclínómetro

PLANO III-1

FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.	
LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS Y GALERIA DE DRENAJE	
TRABAJO DE TESIS	
RAUL GARAY MORALES RAFAEL LIMON ALVAREZ	1984

## 1.-) INCLINOMETROS.

El inclinómetro es un instrumento que sirve para medir deformaciones verticales y horizontales a lo largo de una línea vertical en el interior de la masa rocosa. Está compuesto por una serie de tubos, generalmente de aluminio, de 5' de longitud y 3" - de  $\emptyset$  interior. Cada tramo tiene 4 ranuras interiores que definen planos perpendiculares entre si. Los tramos de tubería se unen por medio de coples de aluminio de 1' de largo, dejando un espacio libre de 15 cms. con el fin de poder medir sus desplazamientos verticales.

Las mediciones de los desplazamientos horizontales de los tubos se realizan con sondas eléctricas, generalmente de fabricación extranjera. Para los movimientos verticales se utilizan una sonda mecánica también de importación.

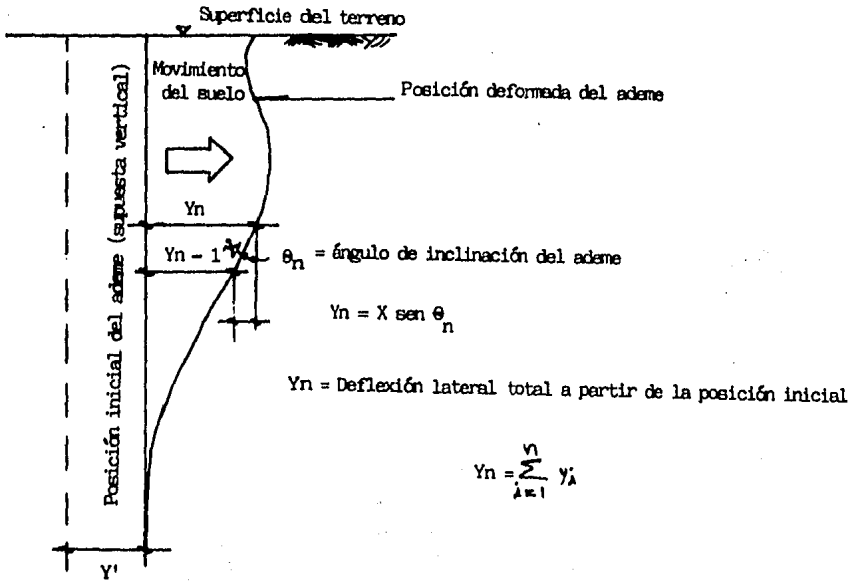
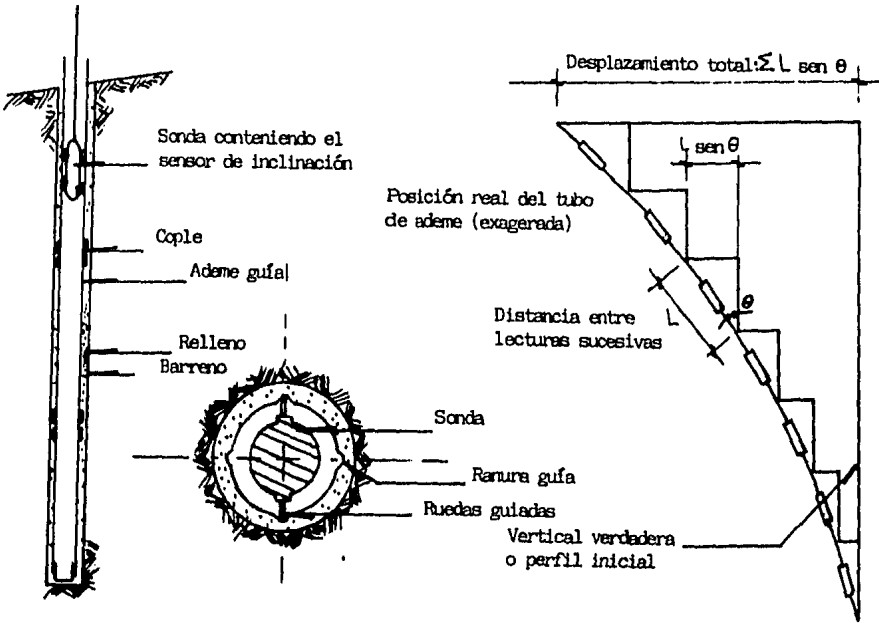
La sonda eléctrica consiste en un segmento de elemento de resistencia circular moldeado con precisión y montado en un pivote, con un peso excéntrico montado sobre el anillo, dentro de un cilindro impermeable de aluminio de 2  $\frac{3}{8}$ " de  $\emptyset$  exterior y 15" de largo. Unido al mismo bastidor interno del péndulo, está un relay, que al ser activado con corriente eléctrica, mueve un conductor hasta hacer contacto con el elemento de resistencia y la subdivide en dos resistencias que forman la mitad de un circuito de un puente de Wheat Stone convencional. La otra mitad que incluye interruptores y baterías está dentro de una caja de control en la superficie del terreno. Tanto la sonda como la caja de control están conectados por un cable para trabajo pesado graduado en pies. El instrumento tiene dos juegos de ruedas guía; de un lado un par de ruedas fijas alineadas en un plano vertical paralelo al eje del instrumento y, en el costado opuesto, hay un par de ruedas guía montadas en resortes, en correspondencia con las fijas.

El instrumento está diseñado de manera que la componente de inclinación en el plano definido por las cuatro ruedas guía, es

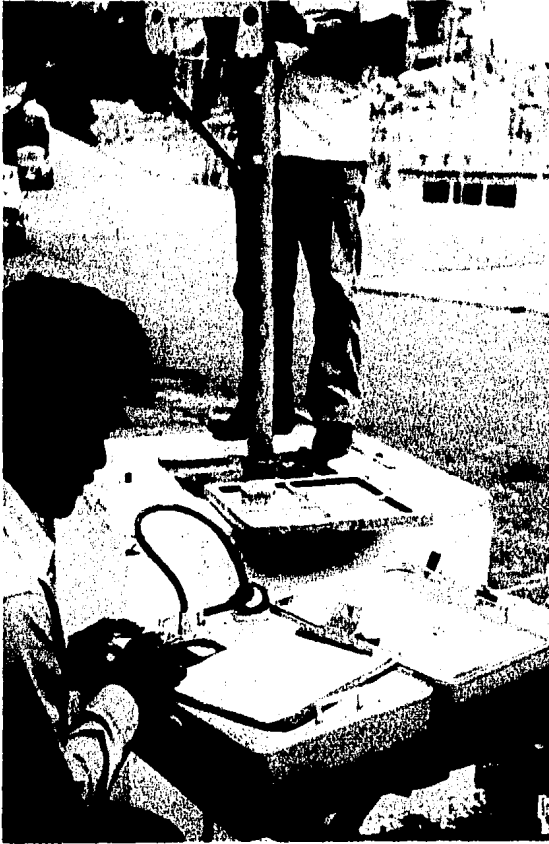


INCLINOMETRO I-2. SE OBSERVA EL CABLE GRADUADO COLOCADO Y ORIENTADO  
CON EL TUBO DE ALUMINIO. EL OPERADOR TOMANDO LECTURAS

Cable eléctrico graduado



PRINCIPIO DE OPERACION DEL INCLINOMETRO



INCLINOMETRO I-2. OPERADOR TOMANDO LECTURAS EN NOVIEMBRE DE 1984



directamente proporcional a la lectura del potenciómetro cuando el circuito está en equilibrio.

El aparato tiene una sensibilidad de uno por mil, lo que quiere decir que una inclinación de tres minutos de arco puede ser apreciada. Esta corresponde a un desplazamiento lateral de una pulgada en 100 pies de profundidad.

En esta planta se tienen 3 inclinómetros, los cuales fueron instalados en diferentes fechas debido a que se instalaron según los requerimientos hechos en los estudios geológicos que se realizaron. El inclinómetro I-1 se instaló en octubre de 1966 y en noviembre de 1971 los inclinómetros I-2 e I-3.

La localización de todos los instrumentos se representa en el plano III-1.

## 2.-) PIEZOMETROS Y BARRENOS.

En general todos los piezómetros y barrenos fueron perforados en la zona de rampa y parte sur de la casa de máquinas. Tienen como función la de poder obtener los niveles piezométricos en cualquier época del año, para determinar las variaciones de los niveles según la recarga por lluvias. Desde luego, y según se ha mencionado, es muy importante la cantidad y flujo de agua en la zona de la rampa, ya que se considera que ésta es la causante de los movimientos que se han venido presentando.

Los barrenos y piezómetros que se tienen y que se localizan en el plano III-1 (B-barrenos, P-piezómetros) fueron perforados a diferentes profundidades las cuales están indicadas en la siguiente tabla donde aparece la última lectura o profundidad medida del agua y que corresponde a la realizada en octubre de 1984:

INSTRUMENTO	PROFUNDIDAD TOTAL (m.)	PROFUNDIDAD DEL AGUA (m.)
P-1	26.00	9.80
P-2	14.00	1.62
P-3	47.20	15.70
P-4	7.75	Obstruido
P-5	-	Obstruido
P-6	-	Obstruido
P-7	15.85	Obstruido
B-1	-	Obstruido
B-2	1.70	Obstruido
B-3	24.00	8.25
B-4	5.60	4.00
B-5	4.45	1.70
B-6	16.00	13.50
B-7	23.25	7.75
B-8	16.60	0.0
B-9	8.75	0.0
B-10	21.70	16.05
B-11	21.60	13.35
B-12	-	Obstruido
B-13	31.20	13.00
B-14	27.00	14.00
B-15	3.70	2.07
B-16	-	Obstruido
B-17	-	Obstruido
B-21	-	Obstruido

Se puede observar algunos barrenos y piezómetros obstruidos debido al descuido o azolvamiento interior, actualmente se tiene un 60% funcionando, sin embargo, se puede aumentar "lavandolos" y realizando pruebas de permeabilidad.

Las gráficas llevadas por estos instrumentos reflejan poca-

tendencia al cambio y solo se presentaron significativamente cuando se construyó la galería de drenaje precisamente para ese fin.

Los barrenos 18, 19, 20 y 23 no han sido utilizados para mediciones piezométricas.

El instrumento utilizado para las lecturas del nivel de agua en piezómetros y barrenos lo constituye un electrodo de prueba, un indicador de corriente y una pila. El electrodo de prueba al ser introducido mediante un cable graduado al centímetro en el barreno o piezómetro, cierra el circuito que se logra al estar en contacto con el agua de manera que se indica en la carátula el paso de corriente y por lo tanto se puede saber a la profundidad que está el agua leyendo en el cable.

### 3.-) EXTENSOMETRO LINEAL.

El extensómetro lineal portatil está diseñado para medir linealmente (longitudinalmente a la tubería) la separación o acercamiento entre las silletas de apoyo. Para este fin se colocaron placas de acero a cada una de las silletas en las cuales se le colocaron pequeños cilindros de apoyo fijo para sujetar el extensómetro (ver foto).

El instrumento es un Extensometer Sinco Slope Indicator, el que consta de una cinta metálica de acero del tipo "Invar" - (aleación blanda de níquel y acero) con bajo coeficiente de expansión (1/30 del acero) por lo tanto tiene pocas deformaciones por temperatura. Esta cinta mantiene una tensión determinada dentro de una caja metálica con un circuito eléctrico, el impulso eléctrico generado por la tensión de la cinta cuando ésta se coloca entre una silleta y otra se transmite a un galvanómetro, de tal manera es relacionada la lectura del galvanómetro con un contador de milímetros que la diferencia entre la lectura final y la inicial indica un desplazamiento, con signo negativo si hay acercamiento y po-



**EXTENSOMETRO LINEAL. TOMANDO LECTURAS ENTRE SILLETAS DE LA TUBERIA**

**No. 3**

sitivo si hay separación.

Muy recientemente el Departamento de Instrumentación consideró necesario realizar completamente, mediciones de distancias - entre silletas mediante una cinta de acero invar y un dinamómetro, "chatillón" el cual se tensa a 10 Kgs. ó 22 Lbs. Las mediciones - iniciales se realizaron el 17 de noviembre de 1983, las diferen - cias entre las distancias inicial y final nos da el desplazamiento entre silletas.

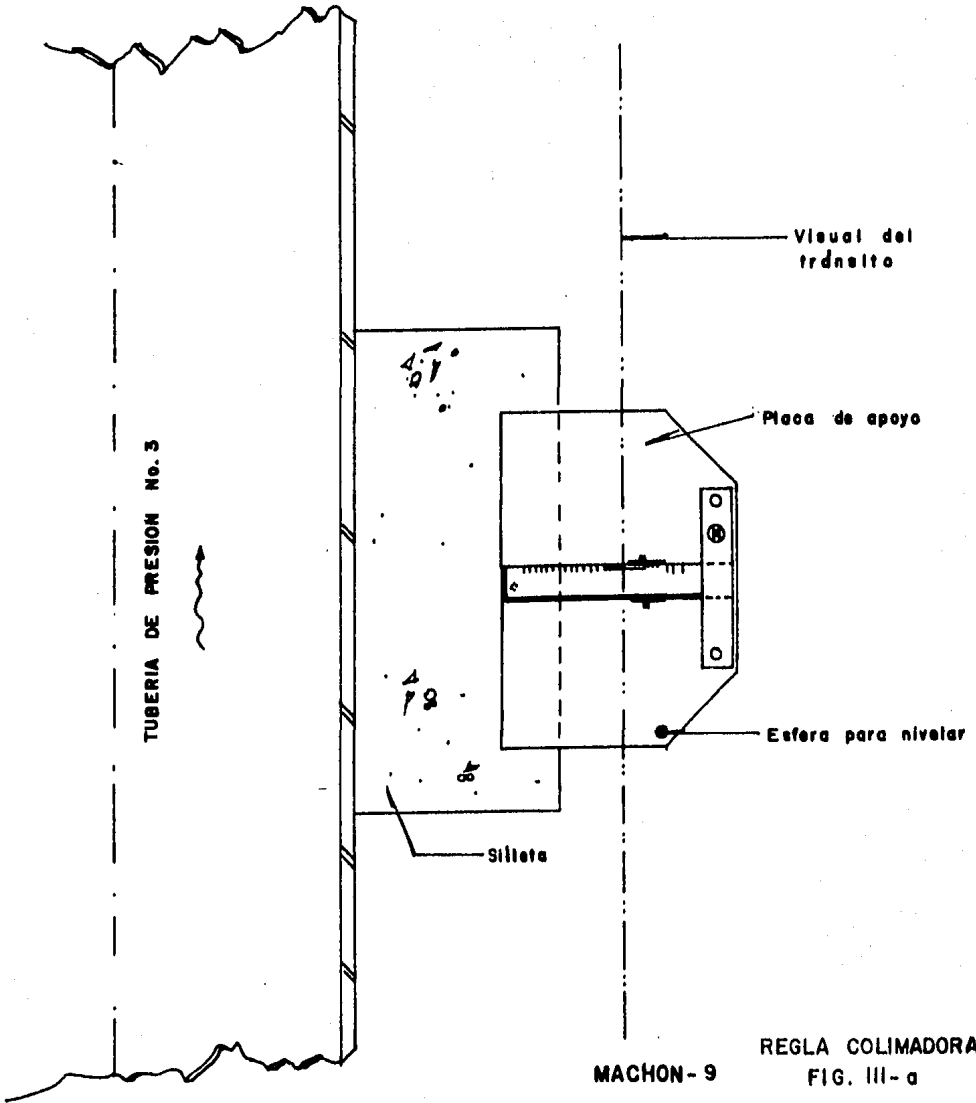
Tanto para el extensómetro lineal como para la cinta y di - namómetro es necesario anotar la hora de inicio y terminación así como las temperaturas que se presentan en esos momentos.

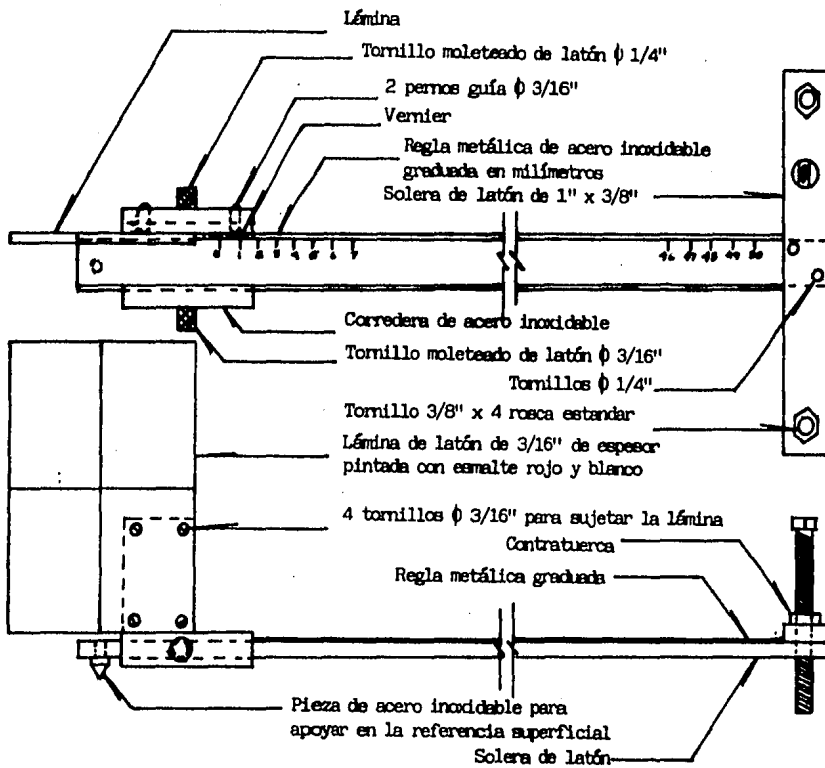
#### 4.-) REGLETA COLIMADORA.

Este instrumento junto con las placas en cada silleta de - la tubería No. 3 y un teodolito, nos permite realizar una aline - ción óptica cuya finalidad es la de determinar movimientos latera - les a partir de líneas de colimación definidas por bancos o refe - rencias permanentes colocadas en ambos extremos de la línea. Para nuestro caso los puntos de referencia de cada silleta lo constitu - yen una placa de  $\frac{5}{8}$ " anclada y soldada a la silleta, sobre la pla - ca se tienen referencias para la colocación de la regleta colima - dora.

Las lecturas son tomadas colocando el teodolito sobre la - base que se encuentra empotrada junto al machón No. 9 (la aline - ción se hace con dos puntos colocados en el machón No. 9 y No. 10) posteriormente cuando ya ha sido alineado el teodolito, se coloca la regleta en cada una de las silletas. Como se puede ver en la - figura III-a la regleta se coloca perpendicular a la línea de colí - mación de manera que se puede mover el vernier hasta coincidir con la visual, la diferencia entre esta lectura y la inicial nos da el desplazamiento lateral de cada silleta considerando que los macho -

MACHON - 10





MIRA DESLIZANTE DE COLIMACION

nes 9 y 10 están fijos. Si las lecturas aumentan respecto a las -  
iniciales quiere decir que el movimiento es hacia la derecha - -  
(hacia las escaleras) viendo del machón 9 al 10.

#### 5.-) CONTROLES TOPOGRAFICOS.

Los procedimientos topográficos ordinarios son fundamen-  
tales para determinar la magnitud y velocidad de desplazamientos -  
laterales y verticales. En nuestro caso se han implementado una -  
serie de mediciones en la casa de máquinas y la tubería No. 3 que-  
corresponde a nivelaciones y colimaciones principalmente las cua -  
les se llevan a cabo cada 6 meses.

##### 5.1.) Nivelación de bancos interiores de la casa de máquinas:

Para llevar a cabo esta nivelación, se cuenta con un ni-  
vel WILD N-2 de precisión con aproximación de una centésima de mi-  
límetro, el procedimiento recomendado será el siguiente:

a.-) Se iniciarán los trabajos con la colocación y nivelación-  
del aparato en I, tomando las lecturas tanto en el banco-  
de nivel A como en el B, esto es con el fin de tener una-  
comparación entre los mismos y así poder detectar en el -  
momento, si el banco de nivel A (principal) a sufrido al-  
guna variación.

A continuación se fija un punto de liga intermedio entre-  
los sitios I y II, con objeto de cambiar el aparato a II.

b.-) Puesto el aparato en II, se fija un nuevo punto de liga,-  
y se traslada el nivel al sitio III, tomando en cuenta -  
que en todos los casos se deberán efectuar por lo menos -  
tres lecturas tratando así de evitar, errores muy frecuen-  
tes en este tipo de trabajo.



c.-) El sitio III se localiza en la entrada a la casa de máquinas, del cual es posible tomar la lectura del banco C, para los fines anteriormente descritos, además se deberá localizar un punto de liga dentro de casa de máquinas y trasladar el aparato al sitio IV.

d.-) De este lugar es posible tomar las lecturas en los bancos U-1, B-1, A-1 y A-2, fijando también el punto de liga entre IV y V. Es importante señalar que antes de efectuar las lecturas sobre los mencionados bancos, deberán retirarse las tapas protectoras y limpiar perfectamente los balines, los que, al concluir los trabajos deberán ser tapados nuevamente.

Los bancos en cuestión aparecen marcados en el anexo C.

e.-) Ya en V, se tomarán las lecturas de los bancos B-2, B-3, U-3, A-3, colocando un punto de liga entre V y VI con objeto de retornar al punto inicial y cerrar así la nivelación, tomando en cuenta que no deberá colocarse el aparato en los sitios descritos, sino en lugares diferentes a ellas, como el marcado con el número VI.

f.-) Cuando se sitúe el aparato en VI, podrá verificarse la nivelación tomando una lectura del banco C y comparando las cotas de "ida" y "regreso", si la diferencia no es mayor de un milímetro se podrá continuar la nivelación, en caso contrario será necesario iniciarla nuevamente; hay que tomar en cuenta que el banco C se aprovecha como punto de liga entre VI y VII.

g.-) El punto VII se elegirá de tal manera que con un punto de liga situado entre I y II, sea posible colocar nuevamente-

VALORES OBTENIDOS EN LAS NIVELACIONES DEL INTERIOR DE LA CASA DE MAQUINAS

OBSERVACIONES	BANCOS			INTERIORES			PARA CONTROLAR			DESNIVEL	
	A - 1	A - 2	A - 3	B - 1	B - 2	B - 3	U - 1	U - 3			
5 I 57	365.6	369.2	364.6	347.5	335.2	368.8	351.3	349.8			
2 IV 58	366.2	369.6	364.9	347.7	335.3	369.0	351.8	349.9			
3 II 59	367.7	371.1	366.6	348.7	336.2	369.6	353.0	350.9			
29 XI 61	368.9	372.2	367.3	348.1	334.7	368.5	353.5	350.5			
18 IX 64	369.0	371.8	366.7	347.1	332.9	366.0	353.0	348.4			
3 III 66	371.9	374.4	369.1	348.7	334.2	367.0	355.4	350.1			
23 VI 67	372.1	374.4	368.8	348.2	333.1	365.6	355.5	348.9			
8 XII 68	374.1	373.3	370.1	345.9	334.1	366.0	357.2	349.4			
26 IX 69	374.4	366.4	370.3	349.4	333.8	365.9	357.3	349.5			
11 IX 70	375.1	377.1	371.0	349.4	333.8	365.5	357.6	349.5			
7 VIII 73	375.1	376.9	371.2	348.1	332.3	364.3	356.9	349.2			
23 VIII 74	374.5	375.9	370.5	347.2	331.9	363.1	356.0	348.1			
25 II 78	374.7	376.3	370.5	346.8	331.1	363.0	356.0	347.9			
13 VIII 80	373.0	374.6	368.5	344.3	328.2	359.6	354.1	345.6			
18 XI 80	379.9	381.6	375.7	351.2	335.4	367.1	360.7	352.5			
16 XI 81	379.9	381.3	375.3	350.6	334.3	365.8	360.7	351.5			
20 V 82	379.8	381.5	375.6	350.5	335.0	366.3	360.4	351.6			
16 VIII 83	379.7	381.0	374.8	349.9	333.5	364.9	360.1	350.8			
11 X 83	379.8	381.1	374.7	380.1	333.5	364.9	360.4	350.8			
20 XII 83	380.1	381.0	375.3	350.1	334.0	365.4	360.3	351.3			
6 VII 84	380.4	381.8	375.6	350.2	334.0	365.5	360.6	351.4			

EN A ELEV. 1360.6045

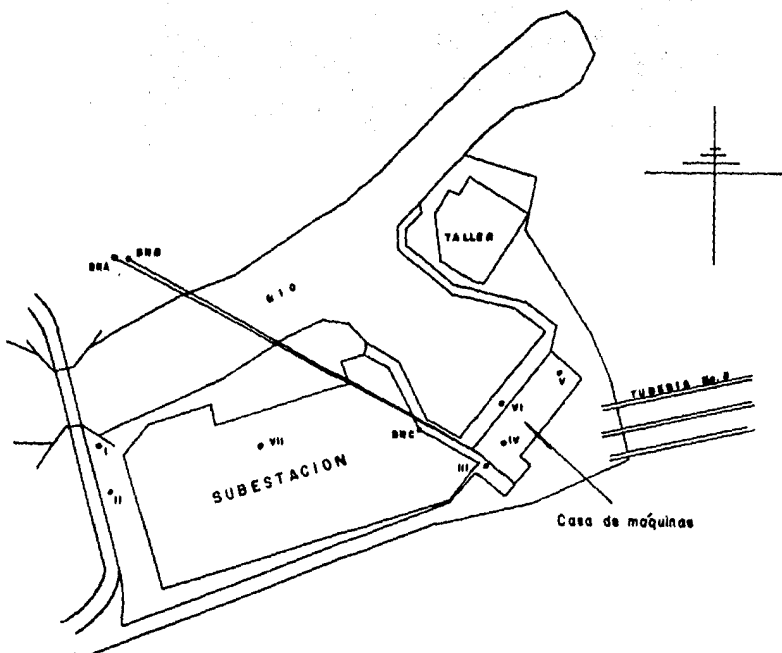
BANCOS PATRONES EN B ELEV. 1360.36996

EN C ELEV. 1368.22551

el aparato en I, ya que con esto se evita un cambio de -  
aparato ayudando así a disminuir las posibilidades de -  
error.

h.-) Finalmente al situarse en I, se tomarán las lecturas de -  
los bancos A y B cerrandose así la nivelación, la cual -  
será tomada como buena siempre y cuando la diferencia en -  
tre las cotas del banco A no sea mayor a un milímetro.

Es indispensable efectuar una nivelación más y comparar -  
los resultados con la anterior, si estos no muestran dife-  
rencias significativas, se dará por concluido el trabajo,  
si por el contrario las diferencias resultan importantes,-  
será necesario efectuar una tercera nivelación y así suce-  
sivamente hasta obtener los resultados esperados.



ESC 1:2000

**NIVELACION DE CASA DE  
MAQUINAS**

**ANEXO A**

## 5.2.) MEDICION DE LINEAS DE COLIMACION EN ESTRIBOS DE CONTROL HORIZONTAL

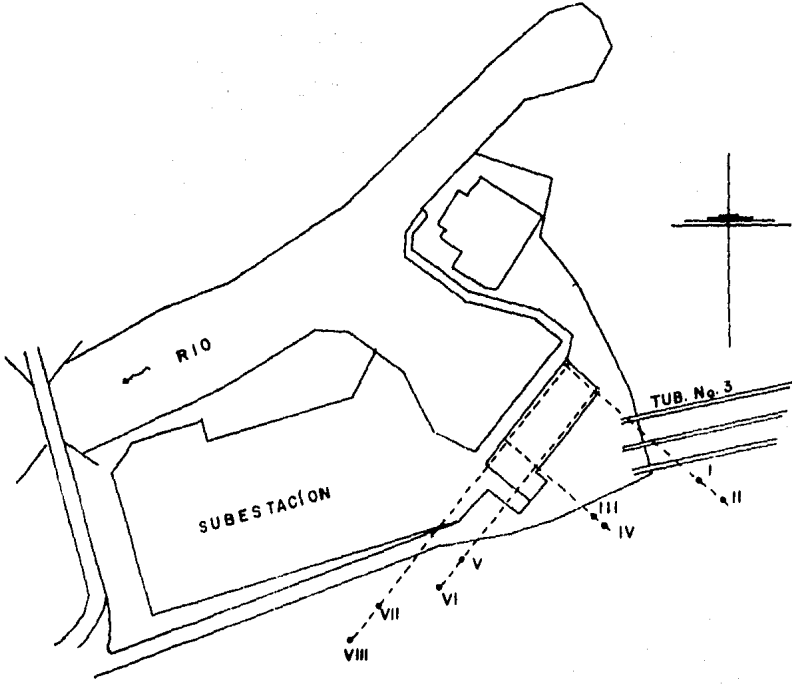
Esta medición se efectuó por última vez en 1973, desconociéndose el procedimiento para llevarla a cabo, sin embargo recientemente se instalaron los testigos necesarios para complementar los ya existentes y poder efectuar la misma, iniciando así un nuevo registro.

Para llevar a cabo estas mediciones será necesario contar con un tránsito como el Wild T-2 o similar.

Es muy importante que en todo momento el teodolito este perfectamente centrado y nivelado en los testigos, los cuales se marcan en el anexo B siendo básicos para la ejecución de las mediciones, por lo que el encargado de efectuarlas, antes de iniciar los trabajos localice en el terreno con la ayuda de los anexos B y C, los testigos y estribos.

### PROCEDIMIENTO DE MEDICION:

- a.-) Para iniciar el trabajo, deberá centrarse y nivelarse el aparato en I y se dirige la visual a II, dando vuelta de campana para observar los estribos 2 y 5, marcándose en los mismos la línea de colimación, si ésta se marca del lado derecho de la original, la diferencia medida en milímetros será positiva, si por el contrario se marca del lado izquierdo se tomará como negativa (ver anexo C); estas marcas se harán con un trazo suave de tal manera que después que hayan sido medidas las diferencias, se puedan borrar.
- b.-) Con el aparato centrado y nivelado en III, se ve el tes



esc. 1:2 000

ANEXO B

COLIMACION DE ESTRIBOS

VALORES OBTENIDOS EN LA COLIMACION DE ESTRIBOS EN LA CASA DE MAQUINAS

FECHAS	OBSERVACIONES EN ESTRIBOS															
	EST 1		EST 2		EST 3		EST 4		EST 5		EST 6		EST 7		EST 8	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
12 I 57	3.1	0.0	0.0	0.5	1.2	0.0	0.0	1.4	0.0	0.7	3.0	0.0	0.0	1.0	0.9	0.0
5 IV 58	0.0	1.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0
4 II 59	0.0	1.4	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
28 XI 61	0.0	0.5	0.0	2.0	1.5	0.0	0.0	0.5	0.0	2.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
17 XI 64	0.0	1.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0
18 IX 70	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.8	0.0	5.0	0.0	0.5
8 VIII 73	1.0	0.0	6.0	0.0	3.0	0.0	9.5	0.0	5.0	0.0	6.0	0.0	6.0	0.0	6.0	0.0
20 XII 83	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7 IX 84	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

VALORES EN MILIMETROS

tigo IV y al dar vuelta de campana, será posible efectuar las marcas en los estribos 1 y 6 de la misma manera que la explicada anteriormente.

c.-) Ahora se sitúa el aparato en V, se centra y se nivela perfectamente para poder visar a VI, se da vuelta de campana y se marca en 4 y 7, tomando en cuenta que si la marca aparece del lado derecho de la original, ésta se tomará como negativa y si aparece del lado izquierdo será positiva.

d.-) Finalmente se centra, el aparato en VII, se da vuelta de campana y se marcan los estribos 3 y 8, tomando las mediciones con el mismo criterio del párrafo anterior.

Ya efectuadas las marcas en los 8 estribos de la manera anteriormente descrita, se procederá a medir ( en milímetros) las diferencias, si estas existen, entre las marcas y el punto original.

Estas diferencias se anotarán en la libreta de campo, con el signo que les corresponda según los criterios antes descritos.

### 5.3.) Nivelación de Silletas de la Tubería No. 3.

Esta nivelación como en el caso anterior, utiliza los bancos de nivel indicados en los anexos y se lleva a cabo dos veces por año. Las lecturas iniciales corresponden al 17 de noviembre de 1978. Como en todas las nivelaciones ésta se realiza de ida y vuelta y con una aproximación de décimas de milímetro, las elevaciones están referenciadas al nivel medio del mar.

### 6.-) MOVIMIENTOS EN EL APOYO DE LAS SILLETAS.

Las silletas de la tubería No.3 tienen una placa de brón



ce anclada al concreto que permite un apoyo deslizante con la placa de apoyo del anillo de rigidez de la tubería.

Los desplazamientos se generan principalmente en el sentido longitudinal a la tubería teniéndose desplazamientos despreciables en sentido perpendicular, debido a lo anterior, se han venido realizando mediciones mediante un Vernier desde el 24 de junio de 1966.

Es importante mencionar que la tubería de presión de la Unidad No. 3 entre los machones M-9 y M-10 tiene una junta de expansión entre las silletas 5 y 6; es evidente que los movimientos mucho mayores a los esperados por dilatación.

La finalidad de estas mediciones es la de detectar los movimientos del terreno en el sentido longitudinal a la tubería y que corresponde al mismo del flujo de agua en la zona de la rampa.

Las lecturas tomadas en A y B (figura III-f) se restan de las iniciales, las diferencias en milímetros se promedian, el resultado es el movimiento que tiene las silletas aguas arriba o aguas abajo según el valor que impere entre A y B.

#### 7.-) GALERIA DE DRENAJE.

Esta galería construida en julio de 1975 fué consecuencia de los estudios y mediciones que hasta esta fecha se tenían respecto del movimiento general de la rampa entre los machones M-9 y M-10. Se había concluido que el movimiento era causado por una masa de terreno constituida principalmente por depósitos de talud de diversos tamaños.

La información que hasta la fecha se tenían en los piezóme

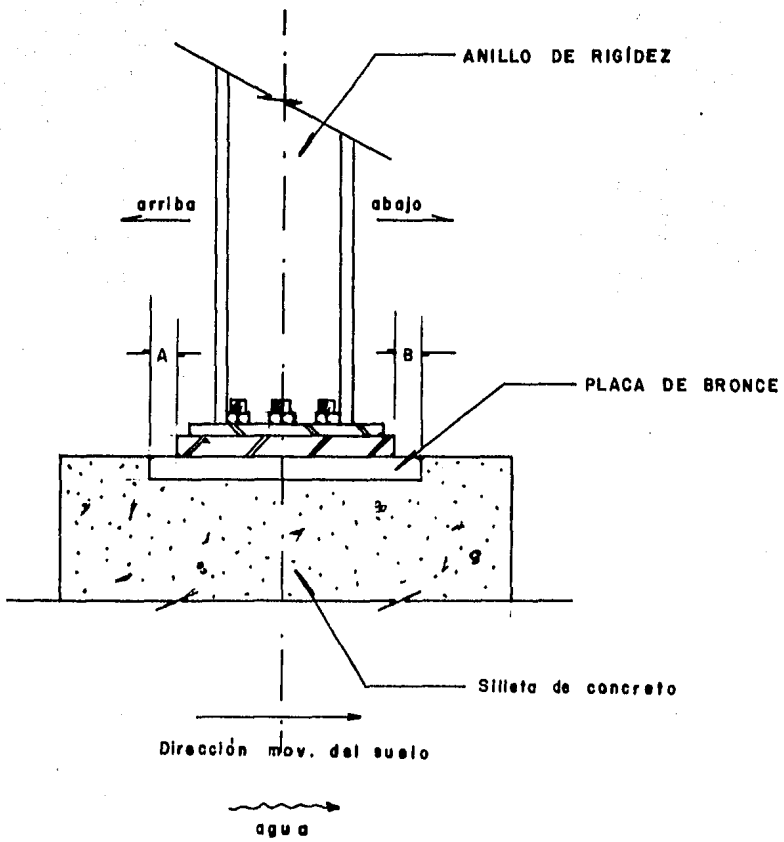


FIG. III-f

tros indicaban que el agua alcanzaba niveles cercanos a la superficie en la parte baja de la rampa con manifestaciones de artesianismo en algunos barrenos que se habían perforado en ese tiempo, debido a lo anterior, se dedujo que las condiciones geohidrológicas eran propicias al deslizamiento.

Como resultado del análisis de la información se consideró necesario abatir el nivel del manto freático y las subpresiones del agua en la masa del terreno de la rampa y casa de máquinas.

Para lograr ese objetivo se construyó una galería de drenaje con una serie de perforaciones para drenes con el objeto de interceptar los escurrimientos del agua subterránea. La galería tiene una sección tipo portal de 1.80 m. de ancho y altura de 2.20 m. la longitud es de 175.23 m. y pendiente de 1%, ésta se encuentra colocada entre depósitos de talud y solo se llegó con el final de la galería a las andesitas fracturadas, la elevación promedio es 1354.75 m.s.n.m. en el piso.

Se perforaron en total 55 barrenos a todo lo largo de la galería con diámetro de 2"; el gasto de cada barreno se mide dos veces al año para conocer su variación con el tiempo. Para conocer el gasto total de la galería se construyó un vertedor triangular a 90° a la salida de la galería, el gasto se calcula con la fórmula siguiente:

$$Q = 1.33693 H^{2.48}$$

$$Q = \text{gasto en m}^3/\text{seg.}$$

$$H = \text{carga sobre el vertedor en m.}$$

Esta última medición se realiza cada mes.

## CAPITULO IV

### GRAFICAS E INTERPRETACION DE LAS MEDICIONES

Se pretende en este capítulo sintetizar la información que - hasta la fecha se tiene de todos los instrumentos; la interpretación de los resultados de las mediciones de cada aparato en particular y la correlación de todos ellos nos permite concluir respecto a las condiciones actuales de seguridad de la planta.

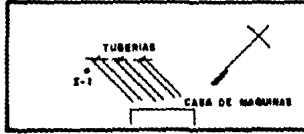
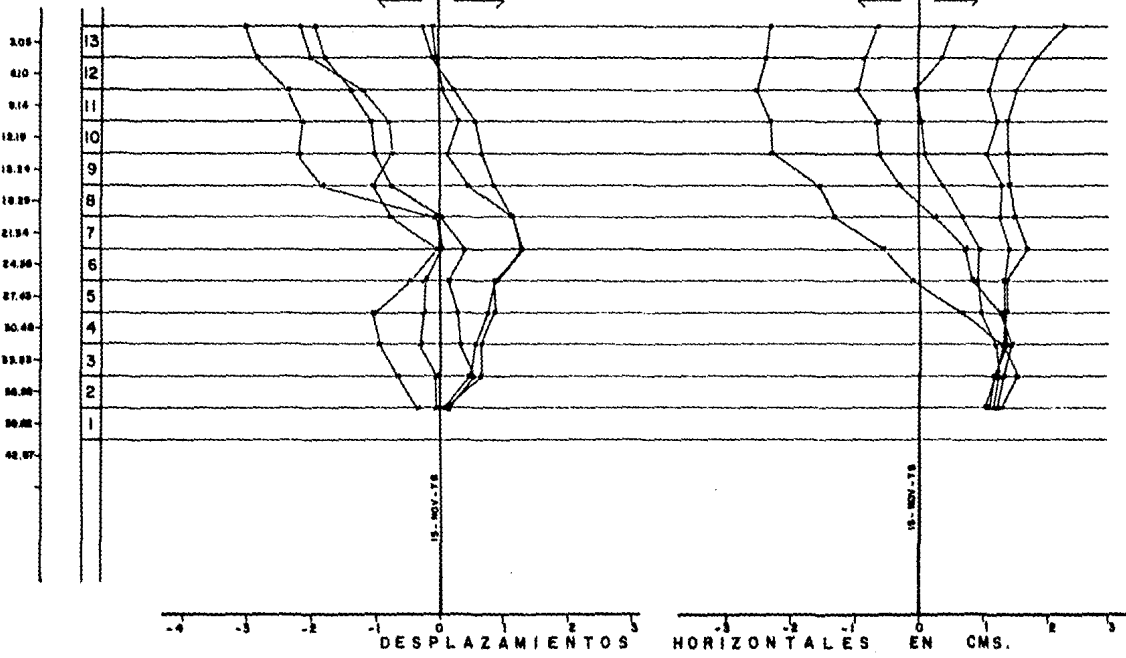
#### 1.- INCLINOMETROS

##### 1.1.) Inclinómetro I-1.

Este inclinómetro fué instalado el 14 de octubre de 1966, sus mediciones se consideraron iniciales y se consideró el ademe vertical. Desde esa fecha se realizaron mediciones en 1969 y 1970 que reflejaron un mínimo de movimiento. La gráfica del inclinómetro I-1 tiene valores de 1978 consideradas como iniciales ya que no existía correlación entre las primeras mediciones y éstas últimas.

De la gráfica se puede observar un cambio de pendiente general de las curvas entre los tubos 8, 7 y 6, sobre todo en dirección W-E. Lo anterior pudiera justificarse con la presencia de un plano de falla con una profundidad del orden de 20.0 m.; ésta falla o fractura que se encuentra en las andesitas puede estar lubricada por la saturación general de la zona. Esto implicaría desde luego una mayor inestabilidad del talud sin embargo, los valores que se han obtenido en función del tiempo indican una oscilación del terreno en todos sentidos, aunque con predominancia en dirección NW y que coincide con el movimiento general del terreno.

PROFUNDIDADES EN M.



- SIMBOLOGIA
- 9-OCT-78
  - 20-FEB-80
  - 17-FEB-81
  - 23-FEB-82
  - 15-MAY-84

C.H. IXTAPANTONGO  
INCLINOMETRO I-1

### 1.2.) Inclinómetro I-2.

Al igual que el inclinómetro I-1, los datos iniciales - se tomaron como buenos a partir de 1978, sin embargo - los valores que se han obtenido como desplazamientos - horizontales a partir de esa fecha, no pueden conside - rarse confiables ya que los desplazamientos de los tu - bos más profundos son muy grandes. Esto es que el tubo No. 1 debe desplazarse el mínimo de la lectura inicial para que se considere, de acuerdo al principio del in - clinómetro, que está funcionando correctamente.

Es importante mencionar que los dos últimos tubos del - inclinómetro, es decir a una profundidad de 30 y 33.0 m. están influenciados con la presencia de estratos inter - calados de limos, lodos y boleos dentro de las arenas - de esquisto. El nivel piezométrico se tiene a 50 cms. del brocal del inclinómetro por lo que es posible que - exista un flujo de agua a la profundidad de los estra - tos mencionados que afecte la posición de esos tubos.

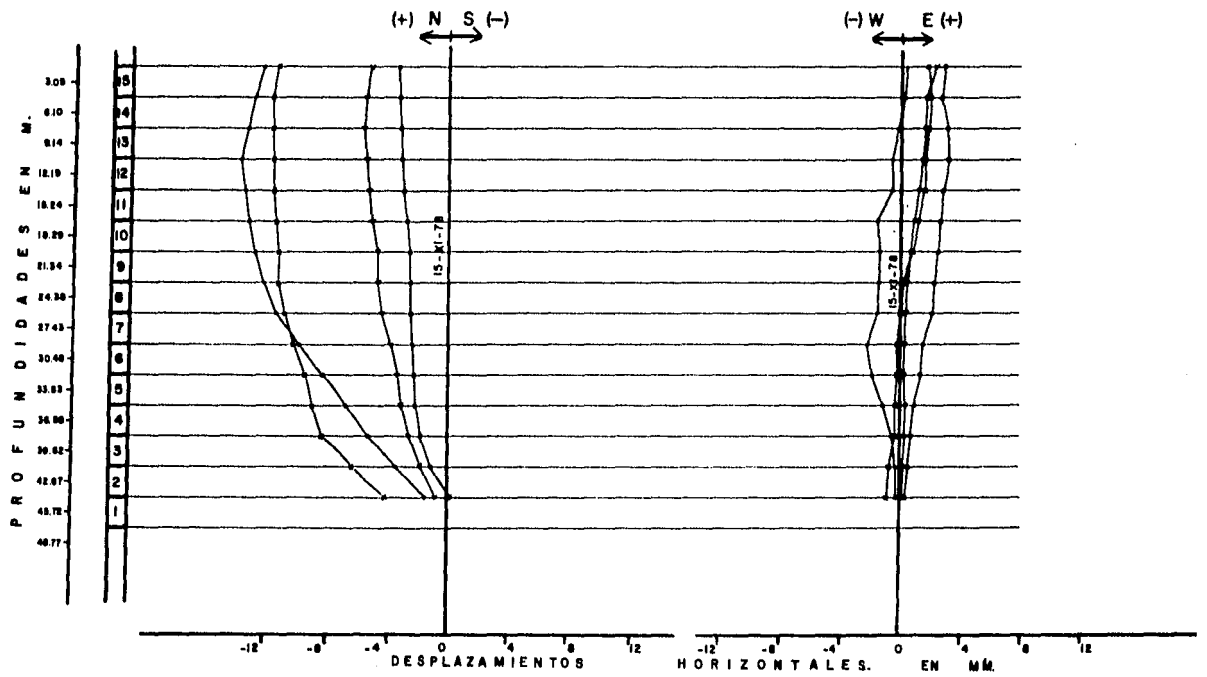
### 1.3.) Inclinómetro I-3.

En este inclinómetro los desplazamientos han sido muy - pequeños y se han graficado en milímetros para tener - una mayor apreciación. Se considera practicamente sin desplazamientos ya que los valores obtenidos caen den - tro del margen de presición del aparato.

Por otra parte la localización del inclinómetro queda - practicamente fuera de la zona de influencia de los mo - vimientos del talud o al menos es la conclusión que se - tiene por los resultados de las mediciones que se tie - nen.

## 2.- PIEZOMETROS Y BARRENOS.

Las mediciones a lo largo del tiempo que se han tomado-



SIMBOLOGIA.

- 28-II-80
- 17-III-81
- 23-IV-82
- 15-V-84

C.H. IXTAPANTONGO  
INCLINOMETRO I-3

en barrenos, piezómetros e inclinómetros, nos indican - muy poca variación.

En general, si se graficaran las elevaciones del nivel freático de cada piezómetro con respecto al tiempo, nos encontraríamos con una línea sensiblemente horizontal - y con muy poca variación por la precipitación pluvial.

La construcción de la galería de drenaje produjo un cambio en el perfil del nivel freático pero que se ha mantenido constante hasta las últimas observaciones.

Las gráficas IV-2.1 y IV-2.2 nos muestran los perfiles del nivel freático a lo largo de la rampa paralelos a las tuberías No. 3 y 1 respectivamente. En los barrenos B-8 y B-9 no se detecta agua.

En los barrenos B-4 y B-5 el nivel freático es poco profundo, ésto contribuye a aumentar los empujes sobre la cimentación de la casa de máquinas la cual se desplanta aproximadamente 30 m. del nivel del piso.

### 3.- EXTENSOMETRO.

Este instrumento, como se mencionó en el capítulo III, nos proporciona datos sobre el desplazamiento relativo entre silletas, éste desplazamiento puede ser de acercamiento (valores negativos) o de separación (valores positivos).

La gráfica IV-3 da valores alternantes de 1975 a 1984; entre 1975 y 1976 se realizaron nueve mediciones, predominando en ellos valores negativos, es decir, acercamientos relativos con valores máximos de 3.5 mm. entre las silletas 2 y 3. Las líneas punteadas indican falta de mediciones en el lapso 1976-1978 y 1982-1983.



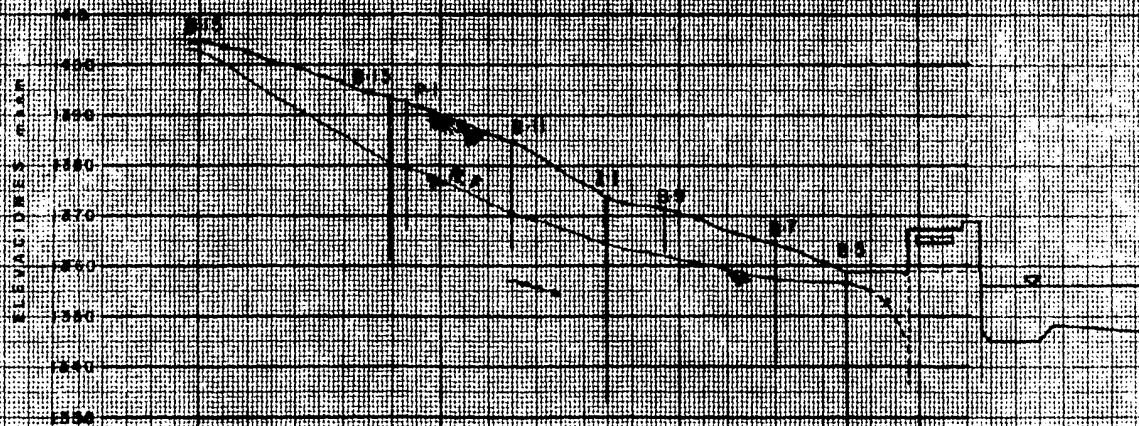
PERFIL DEL NIVEL FREATICO PARALELO A LA TUBERIA DE PRESION No. 3

INSTRUMENTO	COTA BROCAL	PROF. TOTAL	PROF. H <sub>2</sub> O	N.F. (M.S.N.M.)
B-15	1404.5271	3.70	2.07	1402.4571
B-13	1393.1600	31.20	13.00	1380.1600
P-1	1392.5335	26.00	12.80	1379.7335
B-11	1384.2279	21.60	13.35	1370.8779
I-1	1373.6333	41.00	9.35	1364.2833
B-9	1371.6942	8.75	-	-
B-7	1364.8543	23.25	7.75	1357.1043
B-5	1358.4720	73.05	1.70	1356.7720

PERFIL DEL NIVEL FREATICO PARALELO A LA TUBERIA DE PRESION No. 1

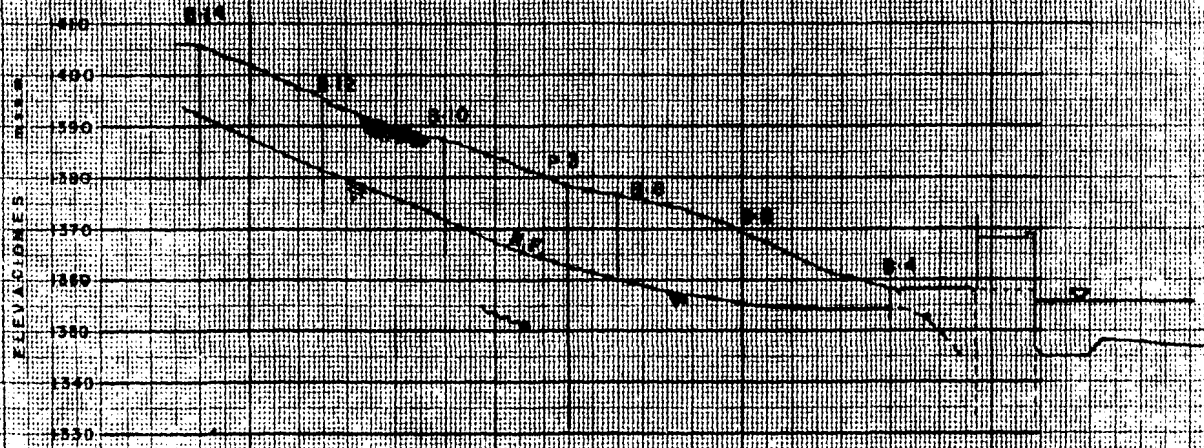
INSTRUMENTO	COTA BROCAL	PROF. TOTAL	PROF. H <sub>2</sub> O	N.F. (M.S.N.M.)
B-14	1405.9538	27.0	14.00	1391.9538
B-12	1395.6429	-	-	-
B-10	1387.3366	21.70	16.05	1371.2866
P-3	1378.2951	47.20	15.70	1362.5951
B-8	1376.6100	16.60	-	-
B-6	1369.0509	25.75	13.50	1355.5509
B-4	1358.6280	5.60	4.00	1354.6280

PERFIL DEL NIVEL FREÁTICO PARALELO A  
LA TUBERÍA DE DESBORDO  
EN A



GRAFICA IV-2.1

PERFIL DEL NIVEL FREÁTICO PARALELO A  
LA LÍNEA DE PRESIÓN  
N.º 1



GRAFICA IV-2.2

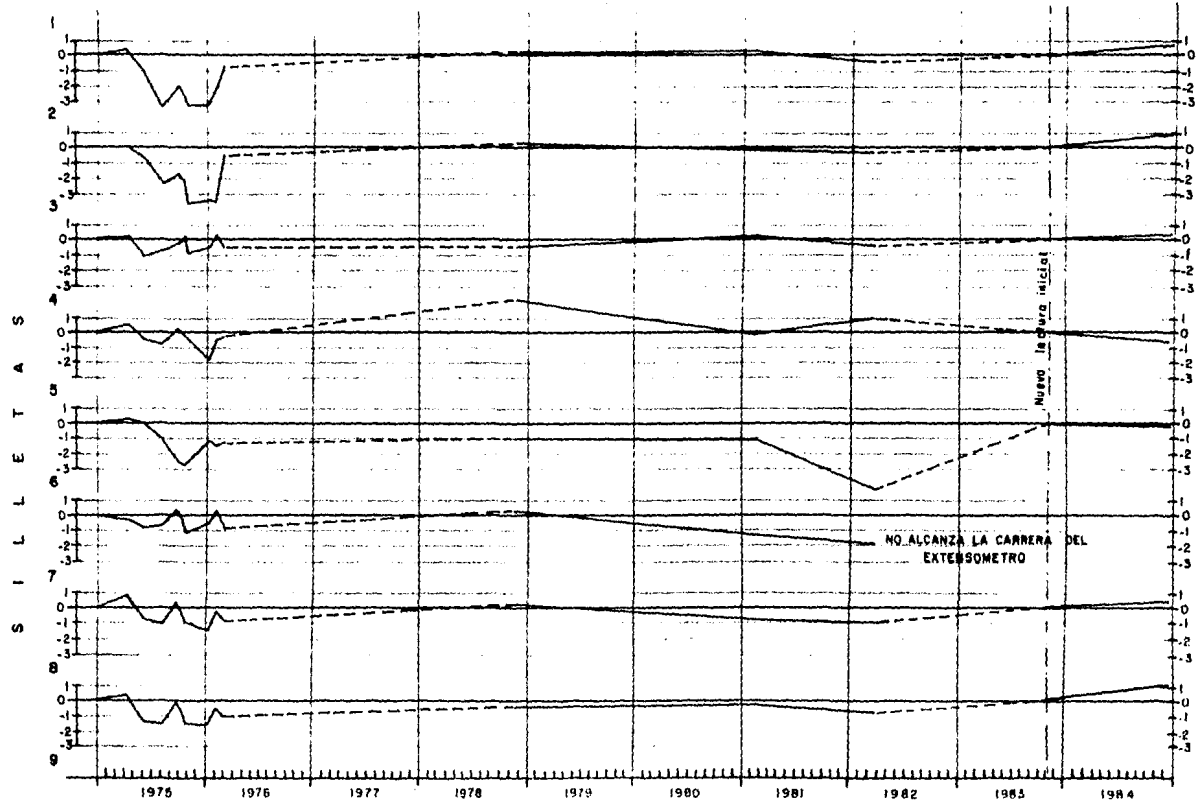
Si se considera que el machón 10 (M-10) permanece fijo, entonces se puede observar un acercamiento de la silleta No. 1 a la No. 2, de la No. 2 a la No. 3 y así sucesivamente hasta la No. 9, esta tendencia es clara de 1978 a 1982 y coincide con la tendencia que tiene el terreno al movimiento, es decir en dirección NW y en el sentido del flujo del agua. Los valores promedio son de menos de 1.0 mm., sin embargo se tiene un acercamiento entre las silletas No. 5 y No. 6 de 4.5 mm. en 1982, este valor pudiera estar afectado por una serie de fracturas localizadas entre las silletas No. 4 y No. 5 y que desde luego separan a la silleta No. 4 de la No. 5 y acercan a la No. 5 a la No. 6.

Entre las silletas No. 6 y 7 a partir de 1982, no se realizan mediciones ya que no alcanza la carrera del extensómetro.

En noviembre de 1983, se realizó una nueva medición que se consideró como inicial ya que el extensómetro había sufrido un desajuste anteriormente. Las siguientes lecturas en 1984, indican una separación entre silletas con un máximo de 1.0 mm. y un acercamiento mínimo entre las silletas 4, 5 y 6.

Considerando las mediciones de marzo de 1982, y considerando acumulado los desplazamientos entre silletas (tomando en cuenta su signo), tenemos un valor total de 8.5 mm. es decir, un acercamiento entre silletas No. 1- y No. 9 de 8.5 mm. en una longitud aproximada de 80 m.; este movimiento no representa peligro para las tuberías de presión ya que éstos descansan sobre apoyos deslizantes que fácilmente absorben estos movimientos.

De acuerdo con lo anterior se puede concluir que el movimiento de la rampa se presenta de una manera conjunta



MOVIMIENTOS RELATIVOS ENTRE SILLETAS EN MM.  
EXTENSOMETRO

GRAFICA IV-3

pero con relatividad al machón No. 10 (M-10) que se encuentra aparentemente fijo. Del análisis de los desplazamientos observados entre la placa de apoyo de los anillos de rigidez de la tubería No. 3 y la placa de bronce de las silletas (gráfica IV-6) se observa un movimiento mayor entre las silletas 5 a 9.

#### 4.- REGLETA COLIMADORA.

En la gráfica IV-4 se observan los desplazamientos (en mm.) que son perpendiculares al eje longitudinal de la tubería. Se han tomado lecturas desde 1975 a la fecha; se observa una tendencia muy marcada entre las silletas No. 4 a la No. 9 a desplazarse hacia el NW con valores máximos de 20 mm. en la silleta No. 8, mientras que las silletas 1, 2, 3 y 4 presentan desplazamientos muy pequeños sin existir alguna tendencia.

Haciendo un análisis de la velocidad con que se presentan los desplazamientos por ejemplo en las silletas 6, 7 y 8, se tiene un promedio de 2.1 mm./año en dirección NW aunque se observa una recuperación de las silletas en la última medición.

Será necesario revisar las próximas observaciones para concluir si existe recuperación.

#### 5.- CONTROLES TOPOGRAFICOS.

##### 5.1.) Nivelación de Casa de Máquinas.

Como se mencionó anteriormente, los procedimientos topográficos de nivelación y colimación clásicos son importantes para complementar la información que proporcionan los instrumentos ya mencionados. La nivelación de la casa de máquinas nos proporciona datos confiables sobre asentamientos totales o diferenciales de la panta.



En la figura IV-5a se muestran, en insométrico, los movimientos totales que se tienen desde 1957 a la fecha.

Se observa un bufamiento en los puntos A-1, A-2, A-3, - B-1, U-1 y U-3, con un valor máximo registrado de 14.8-mm.; por el contrario en los puntos B-2 y B-3 se presentan asentamientos con un máximo de 3.3 mm.

Considerando el piso de la planta como una placa rígida, podemos inferir que existe un bufamiento en el lado sur de la planta con un asentamiento marcado hacia la esquina norte de la casa de máquinas.

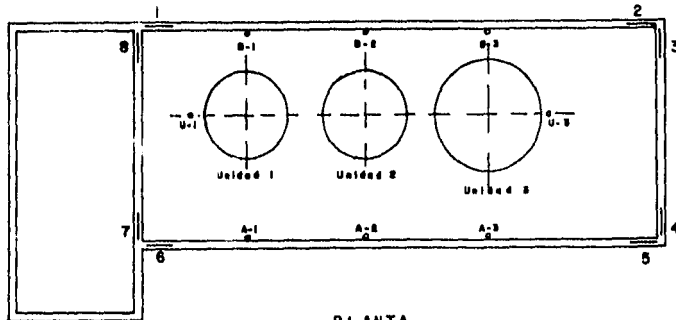
Es importante mencionar que la unidad No. 3 (cercana al punto U-3) tiene un peso mucho mayor que las unidades - No. 1 y No. 2 ya que es de mayor capacidad; ésto puede influir en el movimiento que se está presentando, aunque las deformaciones al pie del talud son en el mismo sentido.

#### 5.2.) Medición de Líneas de Colimación en Estribos de Control Horizontal en Casa de Máquinas.

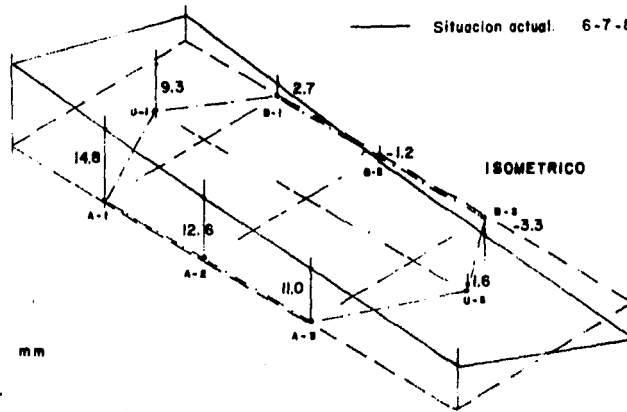
Este procedimiento permite cuantificar los posibles movimientos en el plano horizontal, que se pudieran presentar en la casa de máquinas. Como se mencionó existe la posibilidad de que los empujes de material saturado-actuales sobre la cimentación de la planta produzcan - los movimientos verticales analizados en el punto anterior, esta medición permite conocer la existencia de giros o movimientos horizontales.

Las mediciones se iniciaron en enero de 1957 y se suspendieron en 1973, desgraciadamente el método o procedimiento que se usaba se desconoce, por lo que se reiniciaron las lecturas tomando como iniciales las de diciembre de 1983.





PLANTA



MOVIMIENTOS TOTALES VERTICALES EN mm  
 EN LA CASA DE MAQUINAS DESDE EL  
 5-ENE-57 HASTA EL 6-JUL-64

FIG. IV-5a

VALORES OBTENIDOS EN LAS NIVELACIONES DEL INTERIOR DE LA CASA DE MAQUINAS

OBSERVACIONES	BANCOS			INTERIORES			PARA			CONTROLAR			DESNIVEL	
	A - 1	A - 2	A - 3	B - 1	B - 2	B - 3	U - 1	U - 3						
5 I 57	365.6	369.2	364.6	347.5	335.2	368.8	351.3	349.8						
2 IV 58	366.2	369.6	364.9	347.7	335.3	369.0	351.8	349.9						
3 II 59	367.7	371.1	366.6	348.7	336.2	369.6	353.0	350.9						
29 XI 61	368.9	372.2	367.3	348.1	334.7	368.5	353.5	350.5						
18 IX 64	369.0	371.8	366.7	347.1	332.9	366.0	353.0	348.4						
3 III 66	371.9	374.4	369.1	348.7	334.2	367.0	355.4	350.1						
23 VI 67	372.1	374.4	368.8	348.2	333.1	365.6	355.5	348.9						
8 XII 68	374.1	373.3	370.1	345.9	334.1	366.0	357.2	349.4						
26 IX 69	374.4	366.4	370.3	349.4	333.8	365.9	357.3	349.5						
11 IX 70	375.1	377.1	371.0	349.4	333.8	365.5	357.6	349.5						
7 VIII 73	375.1	376.9	371.2	348.1	332.3	364.3	356.9	349.2						
23 VIII 74	374.5	375.9	370.5	347.2	331.9	363.1	356.0	348.1						
25 II 78	374.7	376.3	370.5	346.8	331.1	363.0	356.0	347.9						
13 VIII 80	373.0	374.6	368.5	344.3	328.2	359.6	354.1	345.6						
18 XI 80	379.9	381.6	375.7	351.2	335.4	367.1	360.7	352.5						
16 XI 81	379.9	381.3	375.3	350.6	334.3	365.8	360.7	351.5						
20 V 82	379.8	381.5	375.6	350.5	335.0	366.3	360.4	351.6						
16 VIII 83	379.7	381.0	374.8	349.9	333.5	364.9	360.1	350.8						
11 X 83	379.8	381.1	374.7	380.1	333.5	364.9	360.4	350.8						
20 XII 83	380.1	381.0	375.3	350.1	334.0	365.4	360.3	351.3						
6 VII 84	380.4	381.8	375.6	350.2	334.0	365.5	360.6	351.4						

BN A ELEV. 1360.6045

BANCOS PATRONES BN B ELEV. 1360.36996

BN C ELEV. 1358.22561

VALORES OBTENIDOS EN LA COLIMACION DE ESTRIBOS EN LA CASA DE MAQUINAS

OBSERVACIONES EN ESTRIBOS																		
FECHAS	EST 1		EST 2		EST 3		EST 4		EST 5		EST 6		EST 7		EST 8			
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-		
12 I 57	3.1	0.0	0.0	0.5	1.2	0.0	0.0	1.4	0.0	0.7	3.0	0.0	0.0	1.0	0.9	0.0		
5 IV 58	0.0	1.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0		
4 II 59	0.0	1.4	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0		
28 XI 61	0.0	0.5	0.0	2.0	1.5	0.0	0.0	0.5	0.0	2.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0		
17 XI 64	0.0	1.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0		
18 IX 70	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.8	0.0	5.0	0.0	0.5		
8 VIII 73	1.0	0.0	6.0	0.0	3.0	0.0	9.5	0.0	5.0	0.0	6.0	0.0	6.0	0.0	6.0	0.0		
20 XII 83	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
7 IX 84	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

VALORES EN MILIMETROS

ANEXO C

Como se observa en el anexo C, las últimas lecturas de 1973 indican valores unicamente positivos, es decir, - que se presentaron movimientos resultantes con predominancia hacia el norte.

Las últimas lecturas indican desplazamientos nulos en - todos los estribos sin embargo, es necesario un período mayor de observaciones para concluir sobre la ausencia - de estos desplazamientos.

### 5.3.) Nivelación de Silletas de la Tuberfa No. 3.

Esta nivelación se apoya en los mismos bancos de control con los que se realiza la nivelación de la casa de má - quinas. La lectura inicial se realizó en noviembre de - 1978 y para cada silleta se tiene la elevación referen - ciada al nivel del mar.

De esta primera lectura hasta febrero de 1982 se reali - zaron cuatro nivelaciones, en todas ellas se tienen - asentamientos con valores máximos de 4.0 mm. En la ni - velación de 1982, se registraron recuperaciones en casi la totalidad de las silletas a los valores iniciales - (gráfica IV-5c).

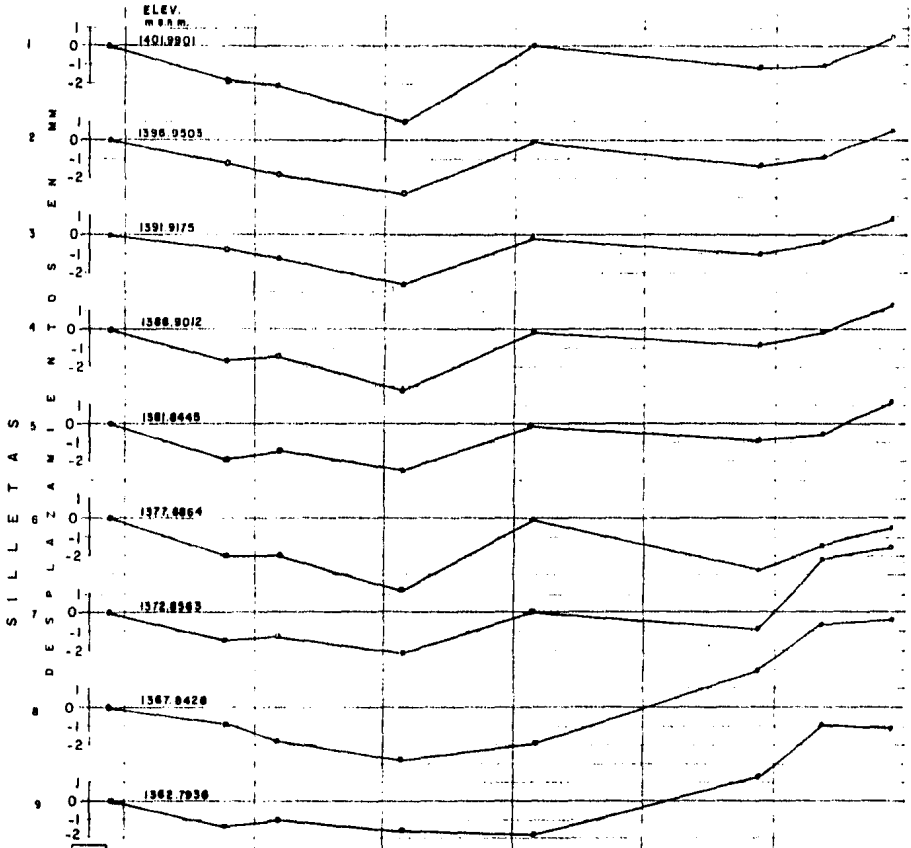
Las últimas nivelaciones indican una tendencia a elevar - se todas las silletas excepto la No. 6, los valores má - ximos son del orden de 4.0 mm. por encima de los valo - res o cotas iniciales. Los máximos se presentan en las silletas No. 7, 8 y 9 practicamente al pie del talud lo cual se pudiera interpretar como un ligero bufamiento.

### 6.- MOVIMIENTOS EN EL APOYO DE LAS SILLETAS.

Esta medición, que se realiza con un vernier (pie de - rey), nos proporciona los desplazamientos observados en

M-9

### NIVELACION DE SILLETAS DE LA TUBERIA No. 3



M-10

Lectura inicial 17-XI-78

1979 1980 1981 1982 1983 1984

GRAFICA IV-5c

tre la placa de apoyo de los anillos de rigidez de la tubería No. 3 y la placa de bronce de las silletas (gráfica IV-6).

En nuestra gráfica se observa claramente como las silletas S-5 a la S-9 se han deslizado mucho más que el resto. Los valores que se observa son de hasta 40 mm. en la S-6. De acuerdo con lo anterior, el terreno se desplaza con mayor velocidad a partir de la silleta S-5 en dirección Oeste; la existencia de grietas en la rampa entre las silletas No. 4 y 5 confirman lo anterior y evidencian el movimiento del talud.

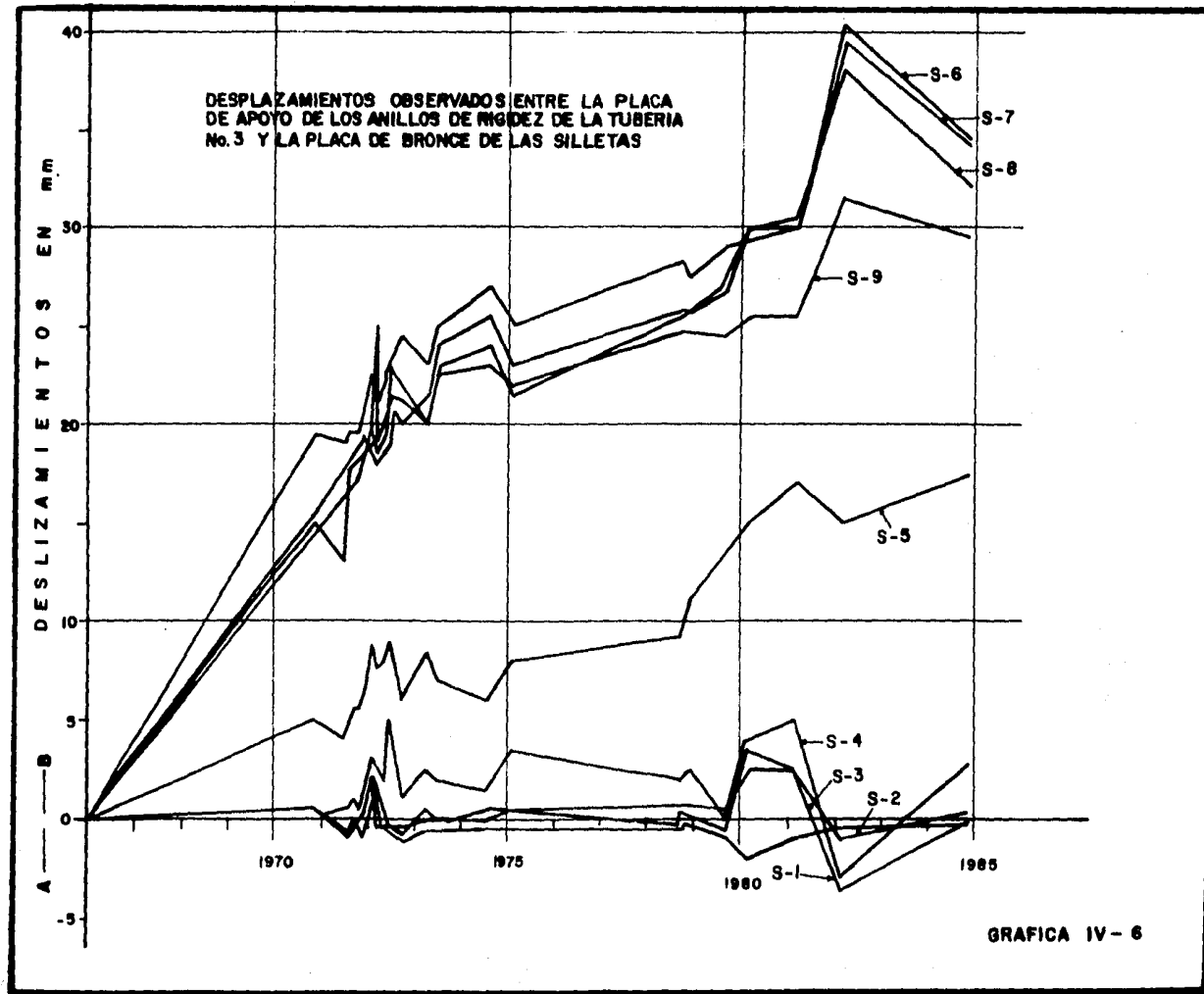
Nuevamente se confirma que el movimiento del terreno coincide con el del flujo de agua subterránea.

Para éste caso, en los últimos tres años se nota una disminución generalizada de los deslizamientos por lo que se espera que su evolución continúe siendo favorable.

#### 7.- GALERIA DE DRENAJE.

Como ya se mencionó, la galería tiene la función de drenar y abatir al máximo el nivel freático en la zona de la rampa y casa de máquinas. Desde su construcción se ha aforado, en el vertedor triangular, el gasto total de la galería.

El gasto permanece con pocas variaciones con un promedio de 2.84 Lts./seg. (gráfica IV-7). Es importante mencionar que a lo largo de los primeros 15 m. a partir de la entrada a la galería, se han detectado una serie de grietas en techo, muros y piso que evidencian un movimiento pequeño pero constante. Lo anterior se concluye ya que se han colocado testigos de yeso cubriendo a



las grietas, los cuales se han agrietado también en un periodo de octubre de 1983 a mayo de 1984.

Como se observa en la gráfica IV-7, el gasto aforado a la salida de la galería no tiene variaciones con la precipitación, por lo tanto la galería cumple con su función al no haber variaciones con respecto al tiempo.

GASTOS AFORADOS EN LA GALERIA DE FILTRACIONES  
 (VERTEDOR TRIANGULAR  $Q = 1.33693 H^{2.48}$ )

MES - AÑO	LECTURA (CM)	GASTO TOTAL (LTS/SEG)
FEB - 77	8.2	2.7
MAR - 77	8.2	2.7
ABR - 77	8.2	2.7
AGO - 79	7.0	1.8
ABR - 83	10.0	4.5
AGO - 83	7.6	2.23
DIC - 83	7.5	2.17
ENE - 84	9.5	3.89
FEB - 84	8.5	2.96
MAR - 84	9.0	3.40
ABR - 84	8.5	2.96
MAY - 84	9.0	3.40
JUN - 84	9.0	3.40
JUL - 84	9.0	3.40
AGO - 84	8.5	2.96
SEPT- 84	7.5	2.17
OCT - 84	7.5	2.17
NOV - 84	7.5	2.17
DIC - 84,	8.0	2.55
ENE - 85	8.0	2.55
FEB - 85	8.0	2.55

PROMEDIO

2.84 LTS/SEG



ESTADO ECONOMICO DE LA UNIÓN DE REPUBLICAS



GRAFICA N.º 7

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la observación de las gráficas y mediciones de cada uno de los métodos e instrumentos que se han implementado en esta Central para la vigilancia de tuberías y casa de máquinas, se han obtenido conclusiones particulares. Estas conclusiones, mencionadas en el capítulo anterior, nos indican un movimiento predominante de la rampa y casa de máquinas con un rumbo de N 30° W, con desplazamientos pequeños en las silletas en la misma dirección y un ligero bufo en las más próximas a la casa de máquinas.

En general los desplazamientos en el talud se han absorbido con el apoyo deslizante de cada silleta, las juntas de expansión y la propia elasticidad de las tuberías de presión, las silletas metálicas que substituyeron a las de concreto han mejorado el comportamiento de las tuberías No. 1 y 2 y se ha detectado una ligera recuperación en la tubería No. 3 que se espera siga siendo favorable.

Por otra parte la galería de filtraciones ha cumplido con su función al mantener estable el nivel piezométrico a lo largo del talud sin variar con respecto a las precipitaciones.

En cuanto a la casa de máquinas, ésta no presenta ningún riesgo en cuanto a estructura se refiere sin embargo, es bien sabido la necesidad de garantizar la total verticalidad de las unidades generadoras para un correcto funcionamiento. En este caso no se ha reflejado en ninguna unidad algún problema por el movimiento que se tiene en la casa de máquinas hasta este momento.

Es necesario seguir manteniendo rutinariamente la observación de todos los instrumentos evitando el deterioro de barrenos y piezómetros así como mantener indefinidamente la operación de la galería de filtraciones.

La continúa observación de las mediciones así como la correcta interpretación de ellas permitirá tomar desiciones oportunas - que garanticen la seguridad de esta Central.

B I B L I O G R A F I A

MEMORIAS DEL SISTEMA HIDROELECTRICO "MIGUEL ALEMAN"

Suplemento al No. 210 de la Revista Mexicana de Electricidad.

Marzo - 1958.

INFORME GEOLOGICO DE LA VISITA A LA C.H. IXTAPANTONGO.

Por el Ing. Miguel Palacios Nieto.

Agosto - 1966.

INFORME DE EXPLORACION DE SUBSUELO EN LA C.H. IXTAPANTONGO.

Por el Ing. Carlos Betancourt G.

Julio - 1970.

ESTUDIO GEOLOGICO EN LA C.H. IXTAPANTONGO.

Por el Ing. Miguel Palacios Nieto.

Febrero - 1973.

INSTRUMENTACION EN SUELOS.

Manual del Diseño de Obras Civiles de la C.F.E. e Instituto de Investigaciones Eléctricas.

MEDICIONES OBTENIDAS POR EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL DE LA C.F.E.