



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

28  
114

**Descripción General y Proceso  
Constructivo de las Obras Subte-  
rraneas del Proyecto Hidroeléc-  
trico "Ing. Carlos Ramírez Ulloa"  
(El Caracol, Gro.)**

**TRABAJO ESCRITO**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A

**Arturo Martín López Arroyo**



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.

## INDICE

	Pag.
I.- DESCRIPCION GENERAL.....	1
I. 1) Necesidades.	
I. 2) Aspectos Sociales y Económicos.	
I. 3) Anteproyectos.	
I. 4) Afectaciones.	
I. 5) Justificación Económica.	
I. 6) Proyecto Piloto. Descripción.	
I. 7) Presupuestos.	
I. 8) Programación de Obra.	
I. 9) Organización y Control.	
I. 10) Comentarios.	
II.- TUNELAS AUXILIARES DE CONSTRUCCION.....	56
II. 1) Descripción.	
II. 2) Características Generales del Macizo Rocoso.	
II. 3) Consideraciones Generales de Construcción.	
II. 4) Procedimiento de Construcción.	
II. 5) Equipo.	
II. 6) Constructores.	
II. 7) Control de Calidad y Avance de Obra.	
II. 8) Comentarios.	

III.- CASA DE MAQUINAS..... 81

- III. 1) Descripción.
- III. 2) Condiciones Geológicas Generales.
- III. 3) Propiedades Mecánicas de la Roca.
- III. 4) Alternativas de Ubicación por Condiciones Geológicas.
- III. 5) Consideraciones Generales de Construcción.
- III. 6) Inyecciones.
- III. 7) Procedimiento de Excavación.
- III. 8) Concreto en Casa de Máquinas.
- III. 9) Equipo.
- III. 10) Aspectos Sobre el Avance de Obra.
- III. 11) Precios Unitarios.
- III. 12) Comentarios.

IV.- REFERENCIAS..... 118

DESCRIPCION GENERAL Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS OBRAS  
SUBTERRANEAS DEL PROYECTO HIDROELECTRICO "ING. CARLOS  
RAMIREZ ULLOA" (EL CARACOL, GRO.)

I.- DESCRIPCION GENERAL.

I.1) Necesidades.

Durante largo tiempo la condición de la raza humana estuvo - caracterizada por un crecimiento paulatino; sin embargo, en el último siglo esta situación ha cambiado notablemente.

Entre otras cosas, el inicio de la generación de energía eléctrica fue una aportación tecnológica trascendental en el cambio económico y social de las civilizaciones contemporáneas.

Si bien el auge de la energía eléctrica tuvo su principal origen con la instalación de pequeñas industrias textiles, plantas mineras, uso doméstico, etc., la verdad es que la generación de ella en grandes volúmenes ha hecho de este proceso un elemento ya no de auge, sino de gran dependencia en el desarrollo social, económico e industrial de cualquier país.

En México fue en el año de 1881 el comienzo de la historia de los servicios eléctricos, cuando una empresa instala las primeras 40 lámparas incandescentes. Hasta el año de 1911, 119 compañías (casi todas de capital extranjero) tenían instalados 165 MW.

La Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz y la American and Foreign Power Co. habían instalado una capacidad de 510 MW a finales de 1930. La mayor parte de esta generación era aportada por plantas hidroeléctricas que componían el Sistema Hidroeléctrico Necaxa, que era el complejo más importante en el país y que desarrollaron ingenieros ingleses a principios de siglo en el Estado de Puebla.

En 1937 fue creada la Comisión Federal de Electricidad, gracias a un grupo de ingenieros civiles en el que destacaba el Ing. Carlos Ramírez Ulloa, y precisamente es el nombre que se le ha dado a este Proyecto Hidroeléctrico, como un homenaje a su gran trayectoria profesional dentro de la ingeniería civil.

A partir de su creación y en forma periódica, la C.F.E. va extendiendo sus actividades. Desde sus primeras realizaciones como Bombaná y Zumpimito, hasta las majestuosas plantas de El Infiernillo, Malpaso, La Angostura y Chicoasén.

Tomando como base el crecimiento demográfico, industrial y económico de nuestro país en la actualidad, la industria eléctrica se proyecta como un factor preponderante en el desarrollo nacional. Para poder realizar esto, es necesario hacer una evaluación de alternativas energéticas aprovechables en la generación de energía eléctrica.

En el campo de la generación térmica, se tienen plantas como

las de Monterrey, Valle de México, Salamanca, Altamira y Tula; independientemente de considerar la Planta Térmica de Río Escondido que utiliza carbón como combustible y tiene una capacidad instalada de 2400 MW. Cerro Prieto constituye la instalación geotérmica de mayor potencia en el País. Además está en construcción la nucleoceléctrica de Laguna Verde, que en su etapa inicial contará con dos unidades generadoras de 675 MW.

Según estimaciones oficiales, el crecimiento de la industria eléctrica tendrá una tasa sostenida del 10% anual, lo cual llevará al país a la necesidad de tener en el año 2000 una capacidad instalada del orden de 90,000 MW.

En esta ardua tarea el papel de las plantas hidroeléctricas es muy importante, ya que se calcula que generarán aproximadamente el 40% de la capacidad total.

Un elemento de contribución para este fin será el "Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Balsas", que desarrolla la C.F.E y que tiene ya en operación las siguientes hidroeléctricas:

P.H. EL INFIERNILLO, MICH.

Capacidad instalada 1075 MW

Generación media anual 3300 GWH

4

P.H. LA VILLITA, GRO.

Capacidad instalada 304 MW

Generación media anual 1320 GWH

Sobre la misma corriente del Río Balsas se tienen en estudio los siguientes proyectos:

P.H. CHILTEPEC

Capacidad instalada 198 MW

Generación media anual 810 GWH

P.H. HUIXASTLA

Capacidad instalada 248 MW

Generación media anual 950 GWH

P.H. S.J. TETELCINGO

Capacidad instalada 211 MW

Generación media anual 792 GWH

P.H. TEPOA

Capacidad instalada 330 MW

Generación media anual 712 GWH

EL P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA, actualmente en -



construcción, representa el 19% del aprovechamiento total del Río Balsas (FIG. I.1.1) y fue proyectado para cubrir las necesidades en exceso de la demanda nacional. Es decir, para cubrir las llamadas "horas pico" del consumo diario y que son las horas en que el uso de energía eléctrica es generalizado y rutinario en todo el país. Por ejemplo de las 19:00 a las 22:00 horas (FIG. I.1.2). La hidroeléctrica se utilizará en este intervalo de tiempo porque las variaciones de la demanda no pueden ser tomadas por las termoeléctricas, pues requieren de un tiempo relativamente largo para modificar su generación. Es por eso que las termoeléctricas se utilizan para satisfacer la demanda base y las hidroeléctricas los picos.

Debido al uso que se le dará a este proyecto y a la creciente necesidad de generar energía eléctrica para satisfacer la demanda nacional e incrementar los polos de desarrollo del país, se considera necesario optimizar el aprovechamiento de fuentes naturales, con una programación de eficientes, rápidos y económicos procesos constructivos que redunden en beneficio de los objetivos que se persiguen en este sector.

## I.2) Aspectos Sociales y Económicos.

La planeación de un proyecto es el elemento básico de comparación para determinar la factibilidad del mismo en base a objetivos fijados anteriormente. Para ello son necesarios estudios que permitan hacer el análisis correcto y obtener una conclusión con respecto a consideraciones técnico-económicas. Con este enfoque de la planeación, en el campo didáctico se menciona frecuentemente que se tomen en cuenta las siguien

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DEL RIO BALSAS

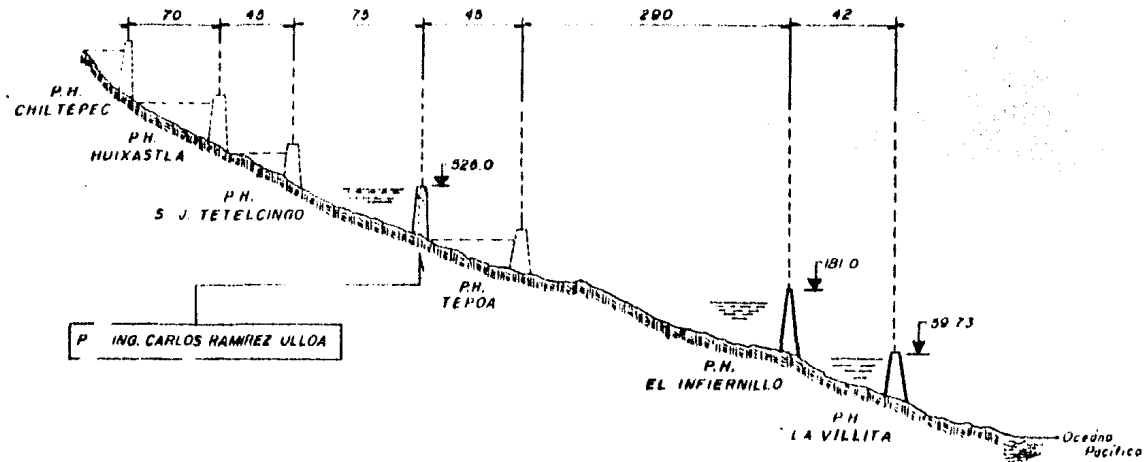


FIG. I.1.1

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMÍREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

CONSUMO DIARIO DE ENERGIA  
ELECTRICA EN EL PAIS.

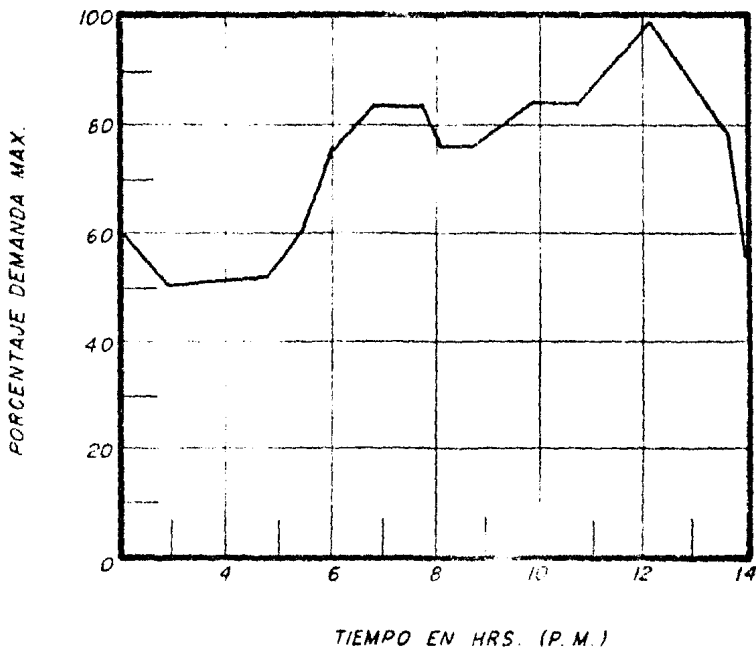


FIG. I.1.2

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

tes consideraciones:

- 1.- Que el proyecto dé la solución a una necesidad social o económica, presente o futura.
- 2.- Que el proyecto corresponda al fin que se persigue, en forma conveniente.
- 3.- Que los servicios que se esperan obtener del proyecto justifiquen su costo.

En base a los parámetros mencionados anteriormente, en este inciso daremos una concepción global diferente respecto al punto (1). Es decir, se tratará de refutar la afirmación de que un proyecto debe solucionar una necesidad social o económica, presente o futura.

Apoyándonos en el artículo: "Grandes Proyectos de Inversión. Un Enfoque Integral" publicado en la revista Ingeniería (1982), trataremos de dar las bases para que esta solución no sea a necesidades ambivalentes, sino que se enfoque a la resolución de necesidades económicas y sociales a la vez, y que obviamente se haga una estimación presente y futura de ese núcleo de desarrollo.

En el sector eléctrico se llevan a cabo proyectos de gran envergadura, que además de posibilitar la necesidad insoslayable de aprovechar los recursos naturales del país, son sin lugar a duda puntos de partida en la formación de polos de desarrollo.

Ante esta perspectiva, realizar un proyecto considerando solamente su operación y excluyendo los efectos que produce, independientemente de que no se está haciendo una estimación real del efecto que provocará la obra, se generará (probablemente en un periodo corto) la inversión de cantidades adicionales extemporáneas con un fin correctivo; ésto a causa de la falta de visión para prever el desarrollo social y económico en una región que se verá afectada por la realización de un proyecto de desarrollo.

En general en la planeación de una obra sólo se contempla la realización de ésta en base a un objetivo central, pues no se consideran -- otros aspectos que a corto plazo producirán efectos irreversibles en la realización y operación de ella. Un caso común es por ejemplo el no considerar la necesidad de tener buenos caminos de acceso, campamentos en obra para la etapa de construcción, etc.

El procurar arraigar a los empleados al trabajo, estableciéndolos en zonas cercanas a él y apoyando el financiamiento de la construcción de viviendas, dará una concepción diferente al trabajo y apoyará un desarrollo familiar armónico, que obviamente redundará en un mejor rendimiento del trabajador y también al haber estabilidad social no se originarán tantos problemas de vicios y delincuencia, principalmente.

La implantación de un gran proyecto genera nuevas fuentes de empleo que transforman el nivel global de ingresos que se tenía en la región afectada, promoviendo el desplazamiento de algunos sectores de la fuerza la

boral hacia la nueva fuente de trabajo, que como está mejor remunerada, retirará del mercado tradicional en la región a elementos que conformaban la población económicamente activa. También el incremento en el nivel de ingresos provoca que el patrón de consumo se modifique, entreviendo entonces la necesidad de suministrar bienes y servicios.

La disponibilidad de estos servicios apoya nuevas migraciones, generando así un proceso evolutivo de concentración urbana que se presenta por efectos de un crecimiento social y económico. Adjunta a esta necesidad de servicios, en el proyecto del Caracol se presenta una mayor demanda de energéticos por parte de sus pobladores, puesto que originalmente no se consideró el rápido crecimiento principalmente de Iquala, Teloloapan y Apaxtla, poblaciones que son llamadas de servicio.

Ejemplificando, podemos mencionar la urgencia que se presentó de producir mayor energía eléctrica, ya que inicialmente las plantas de generación se habían proyectado con una capacidad determinada, que posteriormente se tuvo que aumentar para poder satisfacer la demanda de las poblaciones próximas a esta obra.

Paralelamente, la conjugación de todos estos fenómenos y en especial la escasa oferta, conduce a la formación de un proceso inflacionario regional en detrimento del poder adquisitivo de sus pobladores.

Adicionalmente al problema que se genera en la economía regic

nal, comienzan a gestarse desequilibrios sociales en la comunidad. Además, los cambios en las normas sociales y en los valores culturales de la región son casi irreparables.

La oportunidad de prever y atender los efectos que se presentarán en una estructura social, es la gran diferencia entre una comunidad que tiene un desarrollo equilibrado, y otra, cuyo tipo es la que poco a poco ve incrementarse un desequilibrio social que finalmente propicia su decadencia.- El no prever esto en un gran proyecto de inversión, significa promover comunidades con un desarrollo de contrastes sociales y económicos perjudiciales.

En lo que respecta al medio ambiente es del todo conocido el problema que genera el desarrollo industrial en nuestros días. Todo proyecto de inversión representa un foco de contaminación por la cantidad de desechos que origina directamente, y el crecimiento acelerado de alguna región provoca, por consecuencia, cambios repentinos en la ecología.

Entonces es evidente que este problema en general es de gran magnitud, por lo que deben emprenderse reformas que den la debida importancia a la planeación de un proyecto considerando los aspectos económicos y sociales que generen.

En la Administración Pública de nuestro país existen algunas experiencias en lo referente a la planeación de proyectos de inversión con un -

enfoque no sólo económico y social, sino con proyección a un desarrollo integral de la región afectada. Tal es el caso de la Subdirección de Construcción de la Comisión Federal de Electricidad, que es responsable del desarrollo integral del aprovechamiento del Río Balsas mediante la Coordinadora Ejecutiva Pacífico Sur.

En base a las experiencias acumuladas en otros desarrollos regionales, se han logrado avances muy importantes en este aspecto. Por ejemplo, en el Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Balsas se ha realizado la planeación integral, a partir de técnicas adecuadas para llevar a cabo el diagnóstico regional previo, con el propósito de conocer la realidad de la zona - donde se ubicarán los proyectos, sus limitantes y posibilidades.

Asimismo, se estiman los empleos que se generan directa e indirectamente y aquéllos que son consecuencia del efecto de evolución, su distribución en el tiempo y sus requerimientos en términos de vivienda, infraestructura urbana, salud, educación, abasto, desarrollo cultural y social, etc. En el proyecto del Caracol inicialmente se hizo la estimación de generar más de 4 mil empleos en forma directa.

De igual forma, se precisan las necesidades de infraestructura de las industrias, que siendo abastecedoras de insumos al proyecto podrían instalarse cercanas a él.

Cabe mencionar que la presa también se utilizará en actividades



piscícolas y deportes acuáticos, lo que representa una atracción turística que se constituiría en captación de divisas para la región.

En síntesis, con este tipo de instrumentos rectores se pretende garantizar la planeación integral, la construcción y la operación de los grandes proyectos de desarrollo, no sólo como productores de bienes y servicios, sino también como verdaderos motores de desarrollo regional.

### 1.3) Anteproyectos.

En la elaboración de un anteproyecto, la etapa de investigación consiste en una serie de acciones que requieren de 1 a 2 años en tiempo para su conjunción, y tienen un valor de 1 a 2% del costo de toda la obra, considerándose este costo razonable. Estas acciones plasmadas en estudios pueden indicar que el proyecto sea factible económica y técnicamente, o bien que no lo sea.

Así pues, debido al costo de esta etapa y su gran influencia para la aceptación de un proyecto, ésta debe programarse y ejecutarse de una manera tal que determine la prefactibilidad en el menor tiempo posible y con el menor costo de inversión.

Este objetivo se podrá alcanzar mediante una serie de investigaciones que frecuentemente se dividen en tres fases características:

La primera es la de reconocimiento y tiene como finalidad principal apoyar la decisión de continuar las investigaciones posteriores, tomando como base los datos generales y los estudios específicos de anteproyecto.

En este proyecto, que estamos presentando como base de un trabajo escrito tipo tesis, se conformó la primera etapa apoyándose en los estudios que se han realizado del Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Balsas, concretamente con los que se hicieron de los meandros del cerro -- "El Caracol" en el Estado de Guerrero desde hace más de 20 años.

La segunda etapa es la de viabilidad y determina el objeto, magnitud, plan esencial, detalles y los beneficios del anteproyecto. Todo esto -- con la precisión suficiente para poder apoyar la autorización de la ejecución de la tercera etapa (proyecto definitivo), la cual trataremos específicamente en el inciso I.6.

En este inciso haremos referencia a las primeras etapas de investigación, basándonos en la serie de estudios realizados con el fin de determinar la bondad del proyecto de El Caracol.

Dentro de las primeras acciones tomadas para la definición de factibilidades, destaca la que la C.F.E. tomó con ELC-Electroconsult de México y ELC-Electroconsult de Milán, Italia, para que se hiciera el estudio a nivel anteproyecto sumario del Aprovechamiento Hidroeléctrico de El Caracol, Gro.

Dada la capacidad de esta empresa en la consultoría de este tipo de proyectos, se pidió su colaboración para que se hicieran los servicios de revisión de anteproyectos que ya se tenían elaborados por C. F. E. y la sugerencia y análisis comparativo de diferentes tipos.

Conforme a estas peticiones, se solicitó principalmente la asistencia en la selección del eje definitivo, tipo de cortina (incluyendo la de arco) y la ubicación de las obras para excedencias y desvío.

Al iniciarse estos estudios se analizaron muchas alternativas, las que examinadas individualmente y en conjunto, generaron el estudio minucioso de las 16 siguientes consideraciones características:

- 5 ejes de cortina
- 2 tipos de cortina (materiales graduados y arco bóveda)
- 2 esquemas de desvío (en túnel)
- 3 esquemas de conducción (en túnel)
- 2 tipos de casa de máquinas (subterránea y a cielo abierto)
- 2 tipos de vertedor (de superficie con salto de sky y en túnel)

Las diferentes opciones de diseño se examinaron basándose en investigaciones anteriores, como son los estudios topográficos en escala 1:1000 y 1:5000, el procesamiento de los datos hidrológicos obtenidos sobre un periodo de retorno de 25 años, levantamientos geológicos de detalle, estudios de bancos de materiales, sondeos en el cauce, 12 socavones para exploración, 28 sondeos del área, una campaña geofísica y ensa

yes de laboratorio.

También el estudio del aprovechamiento estuvo enfocado a la generación de los siguientes datos básicos:

- \* Cortina de 135 m. de altura con cota de coronación al nivel 525 m. s.n.m.
- \* Vertedor para un gasto pico de  $17,800 \text{ m}^3/\text{seg.}$  y avenida máxima de 17 días de duración con un volumen de 9000 millones de  $\text{m}^3$  (frecuencia aproximadamente decamilenaria).
- \* Potencia instalada de 570 MW.
- \* Generación media anual de 1400 GWH.
- \* Desvío del río durante la construcción para un gasto de - -  $3750 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- \* El área de la cuenca tributaria es  $48,800 \text{ Km}^2$ .
- \* Capacidad del embalse de 1550 millones de  $\text{m}^3$ , de los cuales 700 son de capacidad útil.

En base a tres grandes zonas en la conformación geomorfológica de El Caracol, existe un derrumbe en potencia que actualmente se encuentra estable, pero no afecta para la posición de la presa elegida.

En lo que respecta a los espinazos, se hizo la observación de que eran delgados. El espinazo Oeste se consideró en condiciones precarias ya que fueron analizados desde el punto de vista de los resultados obtenidos

de los análisis estático (incluyendo subpresiones), dinámico (sismos) e hidráulico (incluyendo filtraciones).

El espinazo Este se considera como la opción más favorable para fungir como estribo de una cortina de gran altura. Se estima que soportará la acción directa del embalse.

En lo referente a la elección del eje de cortina, se encontró que el más conveniente era el ubicado en el meandro aguas abajo del espinazo Oeste, pero debido a la insuficiencia de éste y al costo tan alto que representaría mejorar artificialmente sus condiciones geoestáticas y geohidráulicas, se eligió adoptar la mejor opción de los dos ejes viables que se daban en el meandro aguas arriba.

Respecto al tipo de cortina, después del análisis de comportamiento ante sismo, así como de sus características morfológicas y geomecánicas, se aprobó la asequibilidad de edificar tanto una cortina de materiales graduados, como una de concreto (arco-bóveda). No se debe pasar por alto la necesidad de realizar estudios genéricos al escoger cualquiera de las dos alternativas.

La elección del tipo de cortina no está regido por las limitaciones de diseño, sino por otros factores como los costos, tecnología, programas de construcción y básicamente por las características de deformabilidad y permeabilidad de los empotramientos. En este caso del Caracol, la mala calidad de la ladera izquierda determinó la elección de la cortina de -

materiales graduados.

En lo relativo al manejo del río durante la construcción, será realizado el desvío mediante túneles de un diámetro suficiente para afrontar avenidas con un periodo de retorno de 20 años para cortina de concreto, y de 100 años para cortina de materiales graduados. La construcción de las atagüas estará encaminada para facilitar la puesta en seco de un tramo del cauce y así poder aprovechar la grava y arena que se encuentra en ese tramo como material constructivo.

Respecto a la casa de máquinas se aceptan varias opciones, entre la que del tipo "en caverna" se estima como mejor que la del tipo "en pozo", por las ventajas en función de las características geológicas, principalmente, y en costo, montaje y operación de equipos.

Por otro lado, la inyección en la base de la cortina y prever los drenes son acciones que aumentarán la seguridad de la cimentación, particularmente del espinazo Este y de las laderas. También se propone se instale instrumentación adecuada en los lugares estratégicos para que puedan dar una idea representativa del comportamiento de las zonas de peligro.

Debido a las anteriores conclusiones, se deduce que la elección del aprovechamiento clasificado como número uno, que se sitúa en el eje cuatro, que es aguas abajo, es la mejor opción y la que queda conformada con las siguientes estructuras:

Cortina de materiales graduados.

Vertedor de compuertas, en canal abierto en la margen derecha, descargando cerca de la cortina.

Obra de toma, conducción a presión y casa de máquinas, aguas abajo del vertedor.

El costo estimado para el aprovechamiento en octubre de 1975 - fue de 2724 millones de pesos en moneda nacional.

Generalizando, se recomendó dar comienzo a la etapa de desarrollo del proyecto piloto y a los estudios necesarios para optimizar las distintas componentes del aprovechamiento.

Para la iniciación de los trámites de financiamiento del proyecto se tendrá que tener terminado un antepresupuesto. La licitación puede ser nacional e internacional y se calcula sea en 4 meses, 2 de los cuales serán para examinar las ofertas y los otros 2 para la adjudicación y formalización de contratos.

Todas las anteriores consideraciones se presentaron a la C.F.E. el 31 de diciembre de 1975.

#### 1.4) Afectaciones.

En el análisis de todo proyecto de inversión se requiere también de un minucioso estudio de toda el área de influencia de la obra a ejecutar, el cual definirá si se está afectando primeramente la naturaleza de otros proyec

tos adyacentes, el uso de la tierra, o bien de los recursos hidráulicos.

Debido a esta necesidad, en la zona del Caracol se efectuó un estudio de afectación y agroeconómico de esa región.

Este estudio agroeconómico y de las posibles zonas de reacomodo en la zona afectada por el P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa, se realizó principalmente con el auxilio de estudios de fotointerpretación y trabajos de verificación de campo, los que generaron las siguientes afectaciones:

- 8 poblados
- 4 ejidos
- 3 comunidades
- 2 fincas particulares
- 4838 hectáreas de tierra (total)
- 1260 hectáreas de tierras ejidales
- 2740 hectáreas de tierra comunal
- 837 hectáreas de tierra de pequeña propiedad
- 4446 habitantes
- 741 familias con casa habitación
- 2 kilómetros de camino de terracería
- 3.5 kilómetros de vías de ferrocarril
- 1 puente de estructura metálica
- 23 aulas
- 8 templos
- 4 canchas de basketball



Al concluirse este estudio se estimó que el monto total de las indemnizaciones sería de 40 millones de pesos en moneda nacional (julio de 1976), no incluyendo la afectación de los caminos de restitución, ni el puente del ferrocarril que también se afectó.

Para poder establecer el monto mencionado se recurrió al tabulador zonal, fijándose éste de acuerdo al valor comercial que se produce del análisis de las operaciones de compra y venta más recientes efectuadas en la región.

Los costos obtenidos en el P.H. La Angostura, Chis., sirvieron como base para fijar el valor comercial de restitución en esta zona, pero obviamente actualizados a la fecha.

#### I.5) Justificación Económica.

Normalmente por efectos de la configuración topográfica, la escasez de una boquilla conveniente es un factor determinante para la realización de un proyecto hidroeléctrico, debido a la adecuación que se tiene -- que hacer de la zona o región a utilizar. Esto conduce a que la obra tenga un costo excesivo que frecuentemente es más de lo justificable, pero que mu

chas veces se ve compensado con el impulso de desarrollos sociales y de infraestructura para el País.

Con base a las constantes fluctuaciones que se presentan en el valor monetario, es necesario hacer ciertos artificios para la evaluación económica de un proyecto.

Independientemente de que esta evaluación de un proyecto es difícil de cuantificar, hay también efectos llamados intangibles que son principalmente los sociales y ecológicos.

En la selección de las mejores alternativas de solución se llevan a cabo acciones que definen la rentabilidad de una obra, o bien, el elegir la mejor opción.

Dentro de las acciones mencionadas, se adoptan consideraciones como la de definir el periodo de planeación del proyecto, que es el lapso máximo considerado en el estudio económico y que en una hidroeléctrica generalmente se fija de 35 años para el equipo electromecánico y 50 años para las obras civiles.

Cuatro diferentes lapsos característicos se establecen en la evaluación económica y son los siguientes:

**Vida económica.-**

Es el tiempo hasta el cual el beneficio que es producido es - siempre menor que el costo en la operación y mantenimiento de la obra; - puede variar para las diferentes estructuras que componen el proyecto.

Vida útil.-

Es el límite de tiempo en el cual una obra llega al final de - su función, posiblemente desplazada por una reforma tecnológica que la - hará incompetente.

Periodo de análisis.-

Es el tiempo en que se estudia un proyecto. Su límite superior es el tiempo pico de la vida económica.

Horizonte constructivo.-

Es el límite -en tiempo- en el cual el proyecto no cumple - con la demanda futura.

Siguiendo con las acciones para definir la rentabilidad, se de terminan las estructuras necesarias que conforman las alternativas de solución y los beneficios que se obtendrán de ellas, considerando todos los factores que influyen en la evaluación monetaria presente y futura de la obra.

Dentro del programa se prevé un tiempo para el exámen de ofertas, adjudicación y formalización de contratos.

Se principió con la construcción de caminos de acceso, campamentos y obras de desvío. Aprovechando una estación de estiaje se sugiere la construcción de ataguías, comenzar las excavaciones para cortina y el vertedor, y después atacar las actividades de la planta hidroeléctrica.

Independientemente de que se empezará la construcción y montaje de equipos, también se deberán bloquear los blindajes de la conducción a presión.

Lo anterior fue sólo con la idea de mencionar la forma como se programaron las actividades de construcción en el proyecto del Caracol, Gro.

En las Fig. 1.8.1 y Tabla 1.8.1 se muestran el avance general y porcentaje de la obra total asignado y ejecutado por los diferentes frentes, respectivamente. Esto desde el año 1976 hasta junio de 1983.

A partir de esta fecha se hizo una reforma respecto al manejo de la programación en obra.

Se modificaron los procedimientos tradicionales sustituyéndolos por la computación electrónica, concretamente con la utilización del Sistema Optima, que en obra se prepara en una máquina Honeywell Nivel 6, y se procesa en México con una máquina Sperry Univac 1100.

to y no puede aplicarse a proyectos que dependan de un mismo sistema.

Posteriormente, se hace el cálculo de los factores de descuento con que se seleccionan las alternativas, apoyándose en los índices de evaluación antes fijados.

Un índice económico de comparación es el definir el costo del kilowatt instalado, costo que presentamos actualizado a pesos corrientes de 1983:

$$\text{Costo del KW instalado} = \frac{48,854,000,000}{592,800} = 82,412.28 \text{ \$/KW.}$$

Otro índice económico para comparar proyectos alternativos o jerarquizar proyectos es el costo del kilowatt-hora (KWh), referido generalmente al inicio del año de operación comercial de la planta o central generadora de energía eléctrica.

El importe total del proyecto, en pesos corrientes de 1978, fue de 4,799 millones de pesos (mencionado anteriormente); ésto actualizado a precios corrientes de 1983 corresponde a 48,854 millones de pesos.

Considerando una generación media anual de 1320 GWh/año y una tasa de descuento del 10% anual, el costo del KWh neto generado en el P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa es de 7.78 \\$/KWh. Este monto considera la inversión y los costos de organización, operación y mantenimiento del proyecto.

Para dar una idea de la bondad económica del proyecto del Ca-

racol, a continuación se presentan los costos del KWh producido por otro tipo de central generadora de energía eléctrica. Con un fin simplemente comparativo, se presenta en la Tabla I.5.1.

#### 1.6) PROYECTO PILOTO. DESCRIPCION.

Dentro de las etapas de investigación en la conformación de un proyecto, anteriormente se mencionaron tres generales, de las cuales había quedado por precisar la tercera y es la que analizaremos en este inciso.

Esta etapa es la de las especificaciones y debe llevar el papel de etapa final complementaria, esto para poder definir y concretar -- las características principales del proyecto en planos representativos y -- la configuración de las especificaciones generales de construcción. Naturalmente, no sin antes haber estimado la factibilidad del proyecto mismo.

Dentro de este contexto y con las recomendaciones de los an teproyectos, se profundizó en los estudios de las diferentes estructuras -- componentes de esta hidroeléctrica.

Se siguieron acciones definitivas, de las cuales la de más -- trascendencia para la determinación de las políticas de construcción, fue la elaboración de los modelos hidráulicos en el Instituto de Ingeniería de -- la U.N.A.M., debido a que se trataba del problema fundamental del pro-

TIPO DE CENTRAL	COSTO DEL kWh NETO GENERADO EN SERVIDOR PARA UNA TASA DEL 10%			
	INVERSION	OPERABLE	OPERACION Y MANTENIMIENTO	TOTAL
TURBO GAS, quemando gas natural factor de planta = 0.125	3.07	7.57	0.34	11.78
HIDROELECTRICA, ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA, factor de planta = 0.203	7.08		0.10	7.68

fuente: "Costos y Parámetros de Referencia" C.I.E.

(TABLA I.5.1)

**FACULTAD DE INGENIERIA UNAM**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

1984

**LOPEZ ARROYO**

yecto por el excepcional alcance de fenómenos de disipación de energía en avenidas extraordinarias y de inestabilidad en laderas. Esta elaboración de los modelos se complementó con estudios detallados de geología, mecánica de rocas y mecánica de suelos, ya que con estos estudios se pudieron analizar fenómenos de erosión, acarreo, acumulación de material en el cauce, descarga en los vertedores, etc.

Ejemplificando, podemos mencionar la influencia que estas acciones tuvieron en la elección de la alternativa más favorable de la obra de excedencias, ya que el modelo hidráulico fue muy importante para poder desechar las anteriores alternativas y definir la que en la actualidad está en construcción.

Por lo tanto, el estudio de estos fenómenos definió las características genéricas básicas de algunas de las principales estructuras que integran esta obra.

Todas las acciones mencionadas anteriormente, tanto en los anteproyectos, como en la concepción del proyecto piloto generaron la siguiente descripción:

El P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa está ubicado en la zona del cerro "El Caracol", en la parte Noroeste del Estado de Guerrero y en las proximidades del poblado de Balsas.

Las coordenadas geográficas de ubicación son las siguientes



(Fig. 1.6.1):

17°, 57', 30"	Latitud Norte
99°, 59', 08"	Longitud Oeste

De la ciudad de México al proyecto hay una distancia aproximada de 225 kilómetros, y de Iguala al mismo, de 125 kilómetros. A unos 73 kilómetros aguas arriba de la Presa se encuentra el puente Mezcala de la carretera México-Acapulco (Fig. 1.6.2).

El acceso a la obra se puede efectuar por vía terrestre mediante la ruta México-Iguala-Apaxtla-El Caracol (Fig. 1.6.3), que es un camino pavimentado en su totalidad y se recorre en casi 6 horas. También se puede llegar por vía aérea en helicóptero, mediante la ruta Iguala-El Caracol con un tiempo de recorrido de 25 minutos. Y, por último, en época de lluvias se facilita recorrer la ruta del Río Balsas por vía fluvial, mediante la utilización de lanchas ligeras.

Este aprovechamiento hidráulico se encuentra en la parte media del Río Balsas, que fluye en dirección Este-Oeste formando dos meandros, -- uno aguas arriba y otro aguas abajo, de 2500 y 3000 metros de longitud, respectivamente.

Desde su origen hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, el Río Balsas tiene una longitud de cauce del orden de los 720 kilómetros.

COORDENADAS GEOGRAFICAS

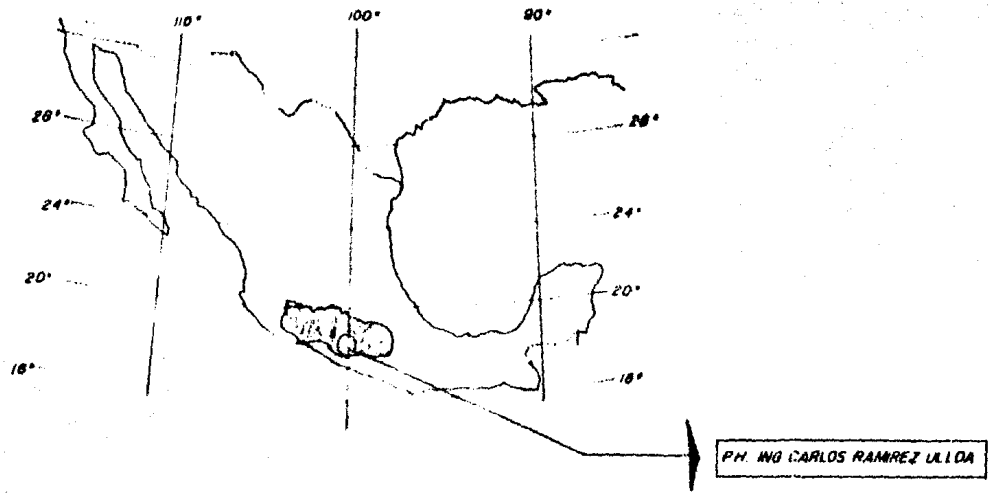


FIG 16.1

<b>FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.</b>	
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL</b>	
<b>P.H. ING. C. LOS RAMIREZ ULLOA</b>	
<b>1984</b>	
	<b>LOPEZ ARROYO</b>

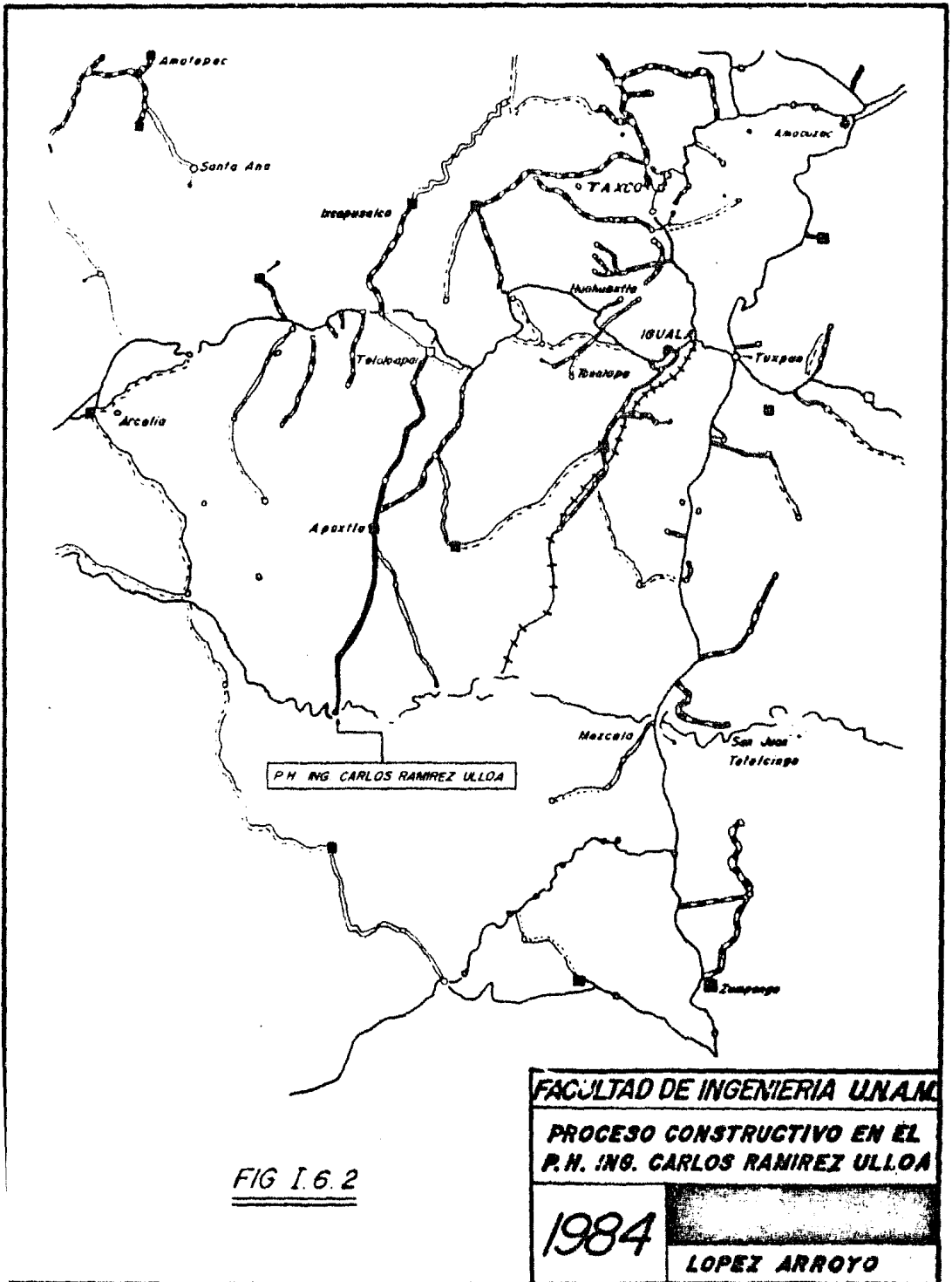


FIG I.6.2

**FACULTAD DE INGENIERIA UNAM**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**LOPEZ ARROYO**

ACCESO

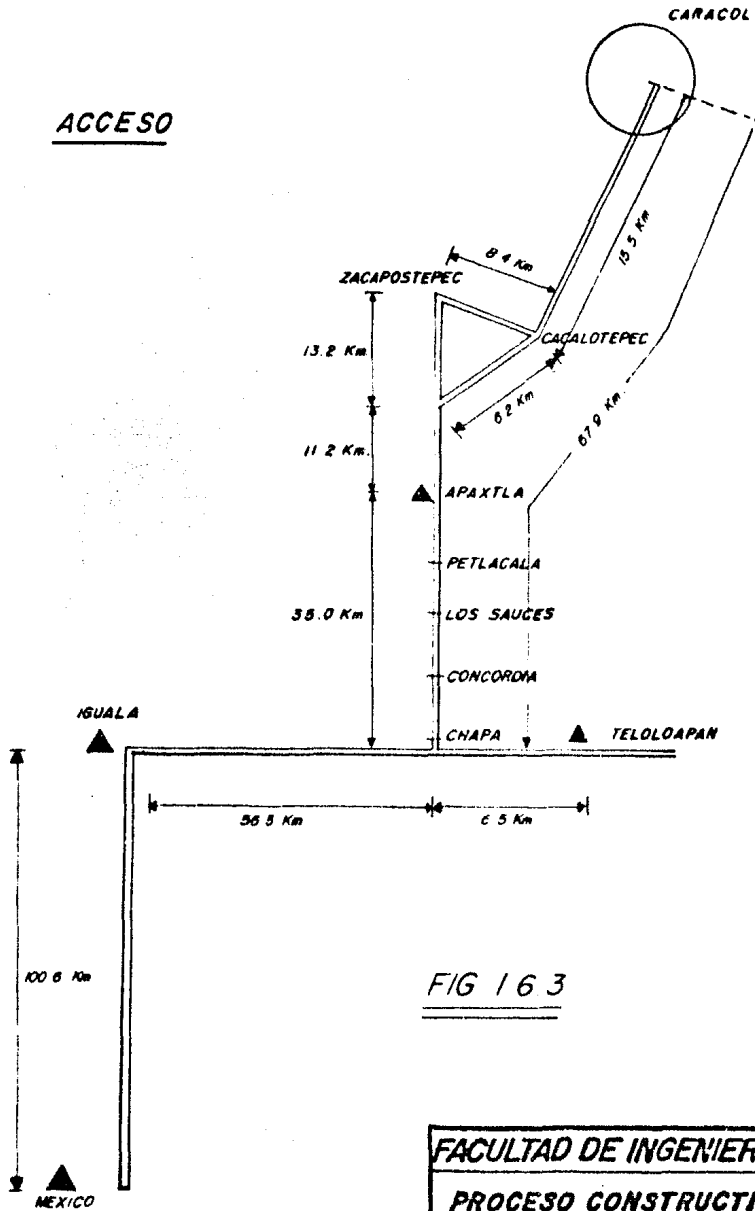


FIG 163

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

El Río Balsas tiene entre sus principales afluentes a los siguientes Ríos:

Mixteco.- Que nace en la parte alta de la Sierra Madre del Sur, en los límites del Estado de Oaxaca.

Tlapaneco.- Se forma en la misma zona que el anterior, pero en la frontera del Estado de Guerrero.

Atoyac.- Se inicia en la Sierra Nevada y se circunscribe a los Estados de Puebla y Oaxaca.

También se unen al cauce del Río Balsas otros afluentes de menor importancia, los que se enlistan de acuerdo a la margen de enlace:

<u>AFLUENTE</u>	<u>MARGEN</u>
Río Amacuzac	derecha
Río Cocula	derecha
Río de las Truchas	izquierda
Río Poliutla	derecha
Río Ajuchitlán	izquierda
Río San Miguel Amuco	izquierda
Río Cutzamala	derecha
Río del Oro	izquierda
Río Tacámbaro	derecha
Río Tepalcatepec	derecha

La orografía de la cuenca del Balsas está caracterizada por ser montañosa, con relieve quebradizo, grandes pendientes y exiguas superficies -

planas. Estas condiciones topográficas ocasionan que no se usen estas tierras para cultivo.

Anteriormente esta depresión del Balsas fue un gran Lago que libró el obstáculo de la Sierra Madre del Sur con el fin de encontrar salida al mar y así, cumpliendo con el ciclo hidrológico, originó la formación del Río Balsas y su cuenca de captación.

Respecto a la delimitación de la cuenca, por el lado norte pasa por el eje volcánico desde el cerro La Malinche, hasta el límite de los Estados de Jalisco y Michoacán. En el Sur y Oeste se encuentra delimitada por la Sierra Madre del Sur. Y en el lado Este por la Sierra Madre de Oaxaca.

Es decir, la cuenca se encuentra en la porción centro-sur de la República Mexicana, abarcando una extensión territorial de 112, 320 kilómetros cuadrados y con las siguientes coordenadas geográficas:

Entre los meridianos ( $90^{\circ}$ ,  $30'$ ) y ( $103^{\circ}$ ,  $15'$ ) de Longitud Oeste y entre los paralelos ( $17^{\circ}$ ,  $00'$ ) y ( $20^{\circ}$ ,  $00'$ ) de Latitud Norte.

Asímismo, esta conformación territorial incluye a los siguientes Estados:

**México**

**Michoacán**

**Guerrero**

**Jalisco**

Oaxaca  
Puebla  
Tlaxcala  
Morelos.

El clima que impera en la región es variado. Contemplándose desde climas semi-secos, pasando por los cálidos sin estación invernal, hasta los climas fríos y húmedos que se tienen en las faldas de la Sierra Nevada.

Respecto a la geología de esta región se menciona que está constituida por depósitos de rocas sedimentarias marinas del Cretácico Medio, las que se caracterizan por su composición de sedimentos de granulometría fina basada en areniscas y lutitas alternadas.

Movimientos orogénicos (formación de montañas) ocasionaron que estos sedimentos sufrieran plegamientos debido a que se encontraban en un estado plástico.

Circunstancialmente, la región se encuentra cubierta por roca volcánica, rocas calizas de las formaciones de Cuautla o Morelos que apoyan rocas de sedimentos marinos de la formación Mezcala, o también en algunos lugares - rocas ígneas (intrusivas o volcánicas).

La disposición local que sigue la distribución geológica es con un rumbo Norte-Sur, provocada por esfuerzos en dirección Este-Oeste.

El nivel freático general de la zona sigue una dirección aproximadamente paralela al nivel topográfico, con elevación superior de 500 metros en época de lluvias, de 450 metros en época de estiaje y la inferior de 415 metros, todas sobre nivel del mar.

Referente a los materiales geológicos que se podrán utilizar para la construcción de las estructuras componentes, se tienen bancos de arcilla, - grava-arena y roca.

La arcilla es explotada en tres zonas que son El Naranjo, San Marcos y El Remolino, zonas situadas a cerca de 8 kilómetros aguas abajo de la boquilla del aprovechamiento.

En estos bancos se encuentra arcilla arenosa de buena calidad, tipo CL. De arcilla se tiene un volumen considerado de 1,500,000 metros cúbicos, lo que es suficiente para los requerimientos de la cortina.

Los bancos de grava y arena se tienen localizados en cinco playones aguas abajo de la cortina.

Finalmente, en lo que se refiere a la roca se cuenta con tres bancos.

El primero de ellos consta de roca ígnea de buena calidad. El se-



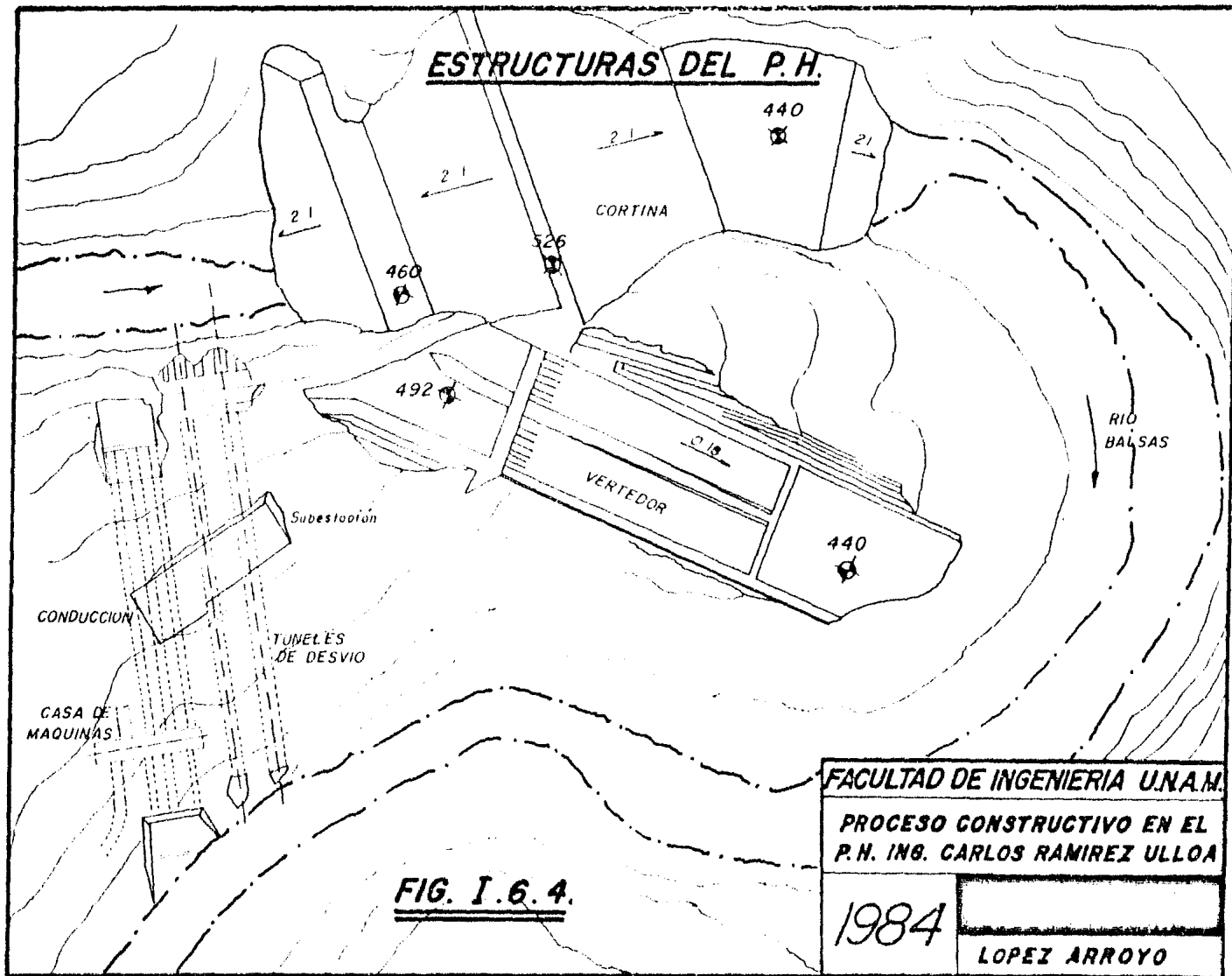
gundo es de estratos gruesos de areniscas sanas y compactas con un espesor - hasta de 4 metros. Y el tercero compuesto de roca andesítica dura compacta, poco fracturada y sin alteración. El volumen calculado de roca se fijó alrededor de los 6,500,000 metros cúbicos, también suficientes para la demanda del proyecto.

A continuación enlistaremos los datos que gobiernan el diseño y - construcción de esta obra en base a todos los estudios y descripción general - mencionados anteriormente. La Fig. I.6.4 nos presenta la planta de distribu- ción de estructuras componentes del P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa:

#### Datos Hidrológicos.-

Para la evaluación de los datos asociados a una presa se utiliza la simulación hidrológica del funcionamiento de un vaso, la cual se basa en datos hi- drológicos que se consideran confiables cuando se registraron con un mínimo de 15 a 20 años.

En base a ello se pueden determinar datos como la avenida máxima, la aportación de la corriente y el vaso, agua necesaria para el proyecto, sedimen- tos en el vaso, pérdidas por infiltración y evaporación y las condiciones de agua subterránea. En la Fig. I.6.5 se muestran el hidrograma y tránsito de la aveni- da de diseño que se asociaron al proyecto del Caracol.



**HIDROGRAMA Y  
TRANSITO DE AVENIDAS**

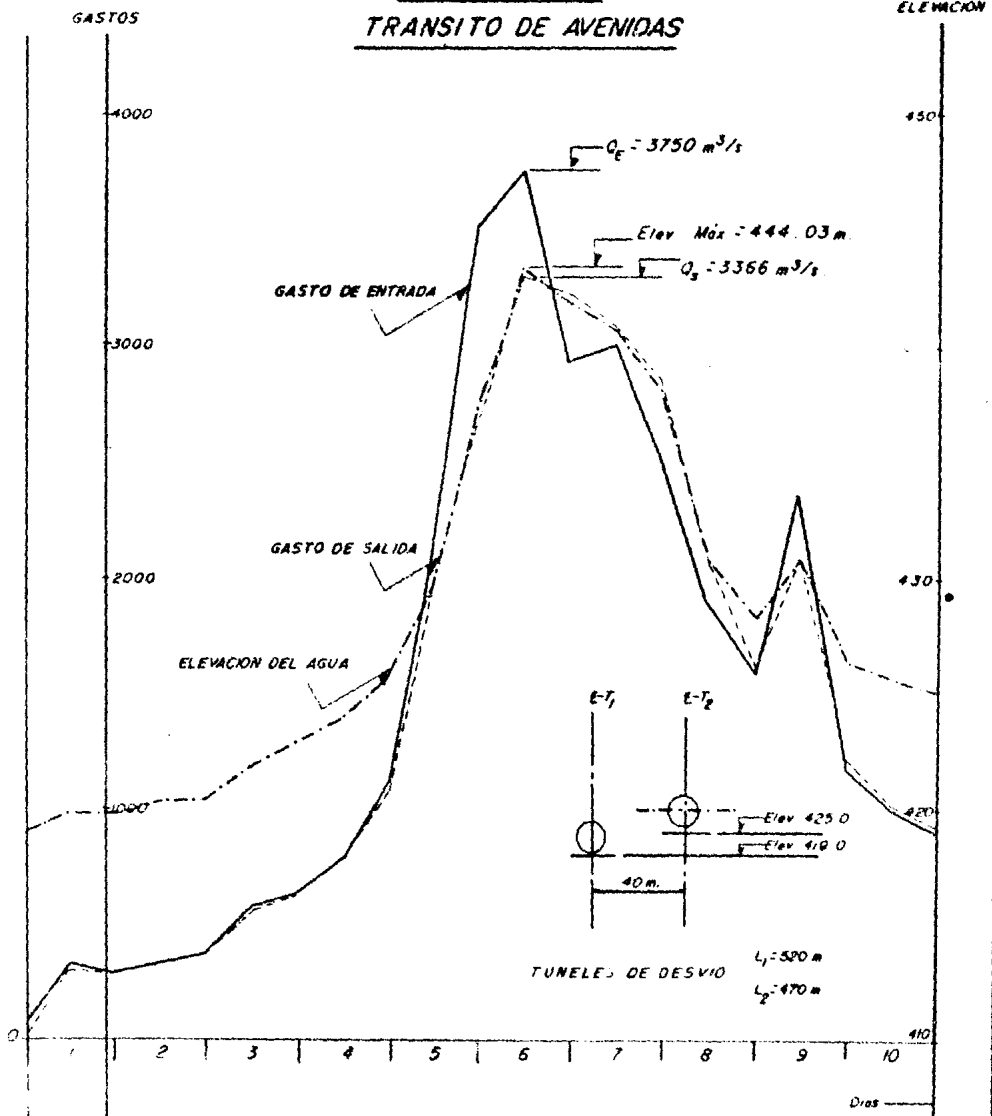


FIG. I 6.5

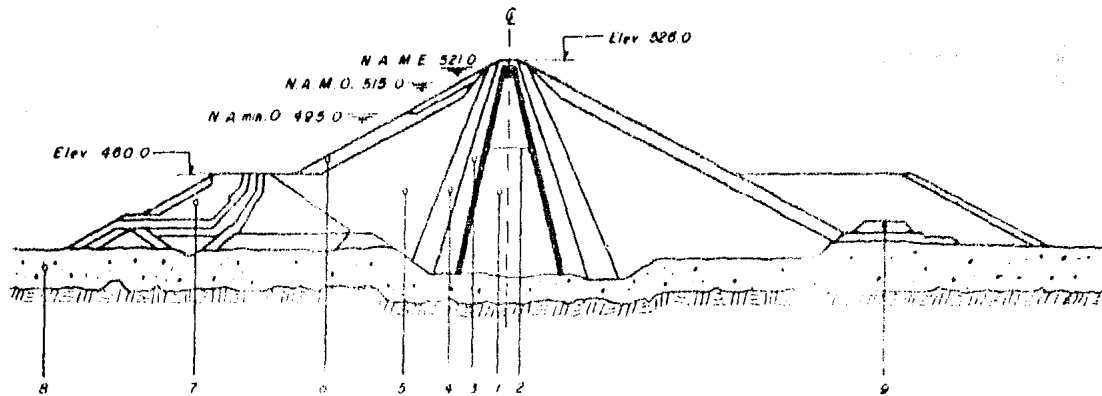
**FACULTAD DE INGENIERIA UNAM**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

1984

LOPEZ ARROYO

# CORTINA



- |                                   |                                 |                         |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1) Corazón Impermeable            | 4) Transición                   | 7) Ataguía Aguas Arriba |
| 2) Corazón Impermeable (W Óptimo) | 5) Entrocamiento Compacto       | 8) Atusión del Río      |
| 3) Filtro                         | 6) Entrocamiento de Gran Tamaño | 9) Ataguía Aguas Abajo  |

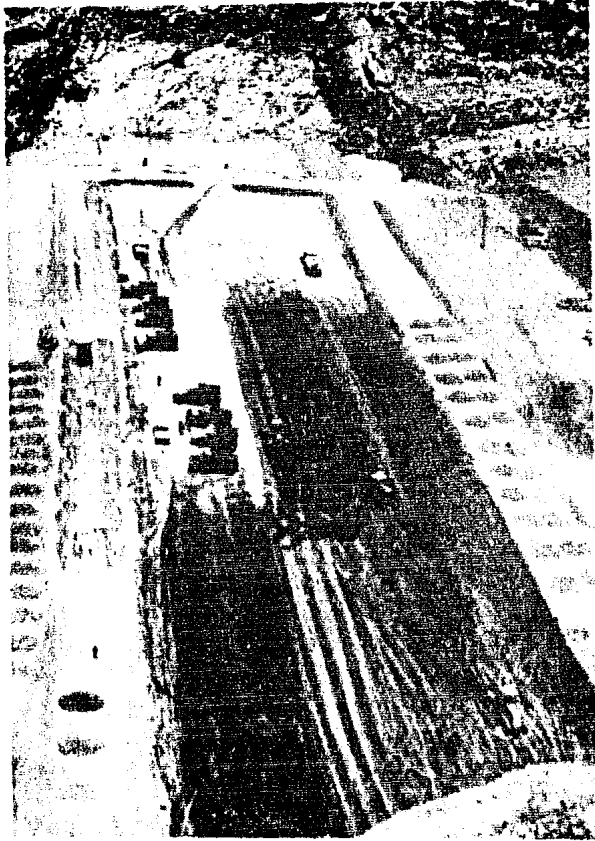
FIG 1.6.6

**FACULTAD DE INGENIERIA UNAM**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

1984

LOPEZ ARROYO



CORTINA DEL P. H. CARLOS RAMIREZ ULLOA.

Area de la cuenca.....	48 837 km <sup>2</sup> .
Area de la cuenca entre San Juan Tetelcingo y El Caracol.....	6 130 km <sup>2</sup> .
Volumen de escurrimiento medio anual.....	6217 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> .
Volumen de la avenida máxima probable.....	9012 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> .
Evaporación media anual.....	2600 mm.
Precipitación media anual.....	1100 mm.
Caudal medio anual.....	197 m <sup>3</sup> /seg.
Avenida máxima registrada con frecuencia de 100 años..	3 881 m <sup>3</sup> /seg.
Pico de la avenida máxima probable con frecuencia de 10 000 años y duración máxima probable de 17 días.....	17 800 m <sup>3</sup> /seg.

#### Datos del Embalse y Vaso. -

El estudio del embalse de un proyecto debe reunir una serie de datos característicos que puedan fijar las capacidades de operación en base a una serie de estudios con datos hidrológicos del vaso y del embalse mismo.

Area máxima del embalse.....	47.19 km <sup>2</sup> .
Capacidad total (N. A. M. E.).....	1782 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> .
Capacidad útil. (N. A. M. O.).....	1530 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> .
Capacidad del (N. A. Mín. O.).....	850 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> .
Capacidad control de avenidas.....	252 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> .
Nivel máximo de embalse (N. A. M. E.).....	521 m.
Nivel máximo de operación (N. A. M. O.).....	515 m.
Nivel mínimo (N. A. Mín. O.).....	495 m.

**Cargas brutas:**

Máxima.....	97.35 m.
Mínima.....	77.35 m.
Diseño.....	91.50 m.

**Datos de Potencia y Generación:**

El establecer datos de potencia en una hidroeléctrica se basa en la transformación de energía hidráulica en energía eléctrica; en función del - gasto, carga y factores de conversión de energía y eficiencia.

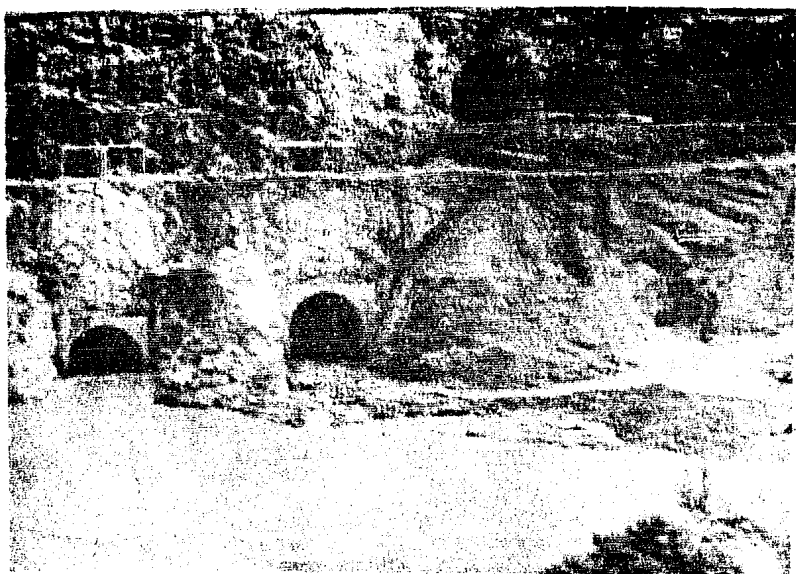
La generación media anual del proyecto se establece en función de la potencia fijada, es decir, la potencia se afecta por un coeficiente que relaciona el tiempo.

Capacidad instalada.....	592.8 MW.
Generación media anual.....	1320 CWH.

**Datos de Obra de Desvío. -**

El conjunto de estructuras que forman el desvío de un río dependerá esencialmente de la magnitud del escurrimiento a desviar, las características físicas del sitio, tipo de cortina. características de las otras estructuras y la probable secuencia de las operaciones constructivas.

Localización..... margen derecha.



TUNELES DE DESVIO TIPO PORTAL Y OBRA DE TOMA.



Sección .....	tipo portal.
Número de túneles.....	2
Longitudes.....	$L_1=518$ m. $L_2=475$ m.
Pendiente.....	$S_1=0.0001$ $S_2=0.0136$
Capacidad.....	$4172$ m <sup>3</sup> /seg.

#### Datos de Atagüfías, -

Es el conjunto de estructuras de **contención** que permitirán tener en seco la zona de la cortina para proceder a la **construcción** de la misma. De esta forma se pone en seco un tramo del cauce, **ésto algunas veces** constituye un excelente y cercano banco de préstamo de **gravas** para la cortina y de **agregados** para el concreto. En El Caracol no se **utilizó** este material por su alta contaminación y granulometría inadecuada.

Tipo.....	Materiales graduados (tierra y enrocamiento).
Elevación de la corona de la atagüfa aguas arriba.....	460.0 m.
Elevación de la corona de la atagüfa aguas abajo.....	440.0 m.
Volumen total de la atagüfa aguas arriba.....	$276\ 500$ m <sup>3</sup> .
Volumen total de la atagüfa aguas abajo.....	$75\ 500$ m <sup>3</sup> .
Gasto tomado para el desvío (estiaje).....	$671$ m <sup>3</sup> /seg.
Avenida máxima de desvío con un $Tr. = 25$ años.....	$4172$ m <sup>3</sup> /seg.

### Datos de Cortina. -

La selección del tipo de cortina está en función de las condiciones geológicas, características de las fallas del sitio, factores hidráulicos, - efectos del clima y condiciones de tránsito (si se utiliza),

La cortina es una estructura de contención impermeable de con condiciones estables que obstaculiza el flujo normal del río con la finalidad de - formar un almacenamiento susceptible de ser aprovechado para la generación de energía eléctrica. Esta estructura tiene características particulares que - se muestran en la Fig. 1.6.6.

Tipo.....	materiales graduados.
Altura máxima.....	126 m.
Elevación de la corona.....	526 m.
Elevación de desplante.....	400 m.
Ancho de corona.....	12 m.
Longitud de corona.....	347 m.
Bordo libre.....	5 m.
Espesor máximo del material de acarreo.....	13 m.
Volumen total.....	$6.262 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

### Datos de Obra de Excedencias. -

La magnitud y capacidad del vertedor estarán regidas por las -

avenidas máximas que tengan que controlarse y en este caso, como son grandes avenidas, el vertedor toma la función de estructura importante en el proyecto.

Adicionalmente se debe considerar el fenómeno de disipación de energía y acabados en el revestimiento del piso.

Mostramos un corte longitudinal del eje del vertedor en la Fig. 1.6.7.

Avenida de diseño.....	17 760 M <sup>3</sup> /seg.
Capacidad máxima de descarga sobre canal.....	8 500 m <sup>3</sup> /seg.
Elevación de la cresta vertedora.....	498.0 m.
Longitud de la cresta.....	77.6 m.
Número de compuertas radiales.....	8.
Estructura terminal.....	deflector.

En la Fig. 1.6.8 se muestra un corte longitudinal de toda la planta hidroeléctrica y comprende estructuras como obra de toma, conducción a presión, casa de máquinas, desfuegos, plataforma de transformadores y subestación elevadora.

Datos de Obra de Toma.-

La obra de toma es una serie de estructuras que ya estableci-

OBRA DE EXCEDENCIAS

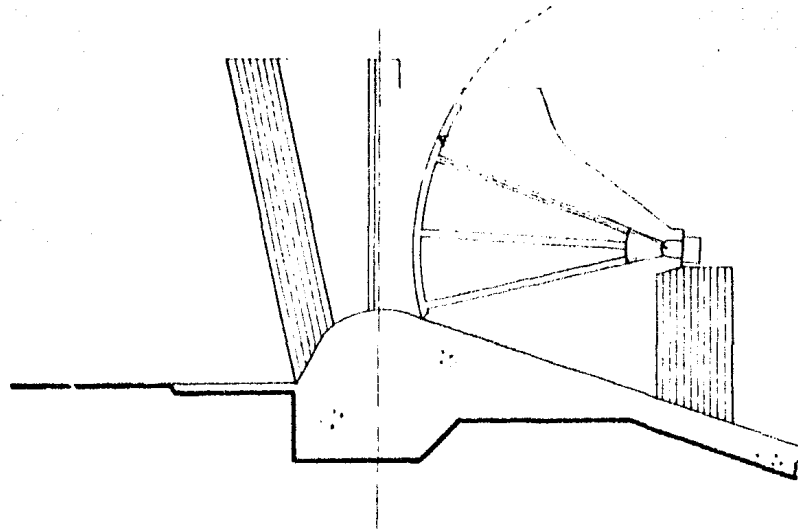


FIG. I.6.7

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

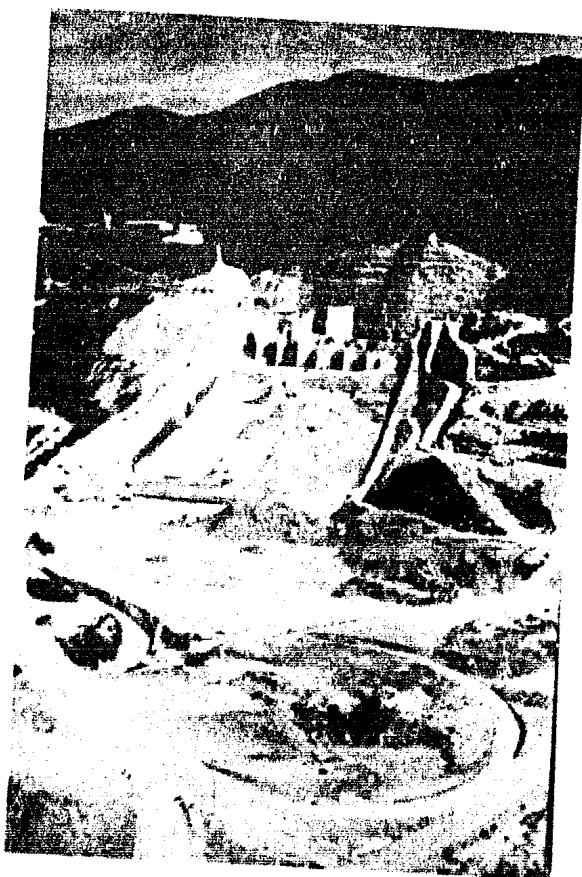
PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

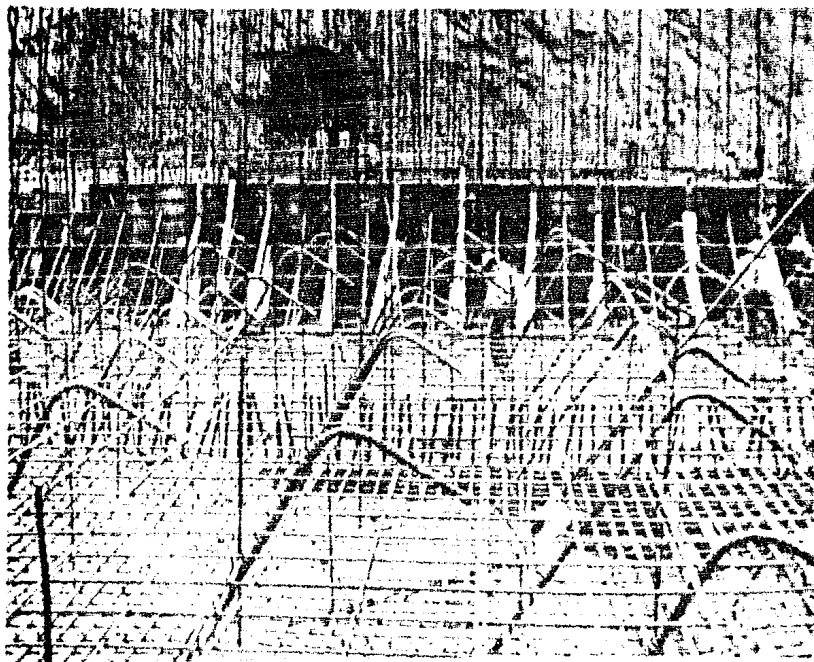
1984

LOPEZ ARROYO



EN ESTAS  
FOTOGRAFÍAS  
SE OBSERVA  
LA DIFERENCIA  
EN EL AVANCE  
DE PILAS Y  
COLADO DE  
LA LOSA EN  
LA SECCIÓN  
DE LA RÁPIDA.





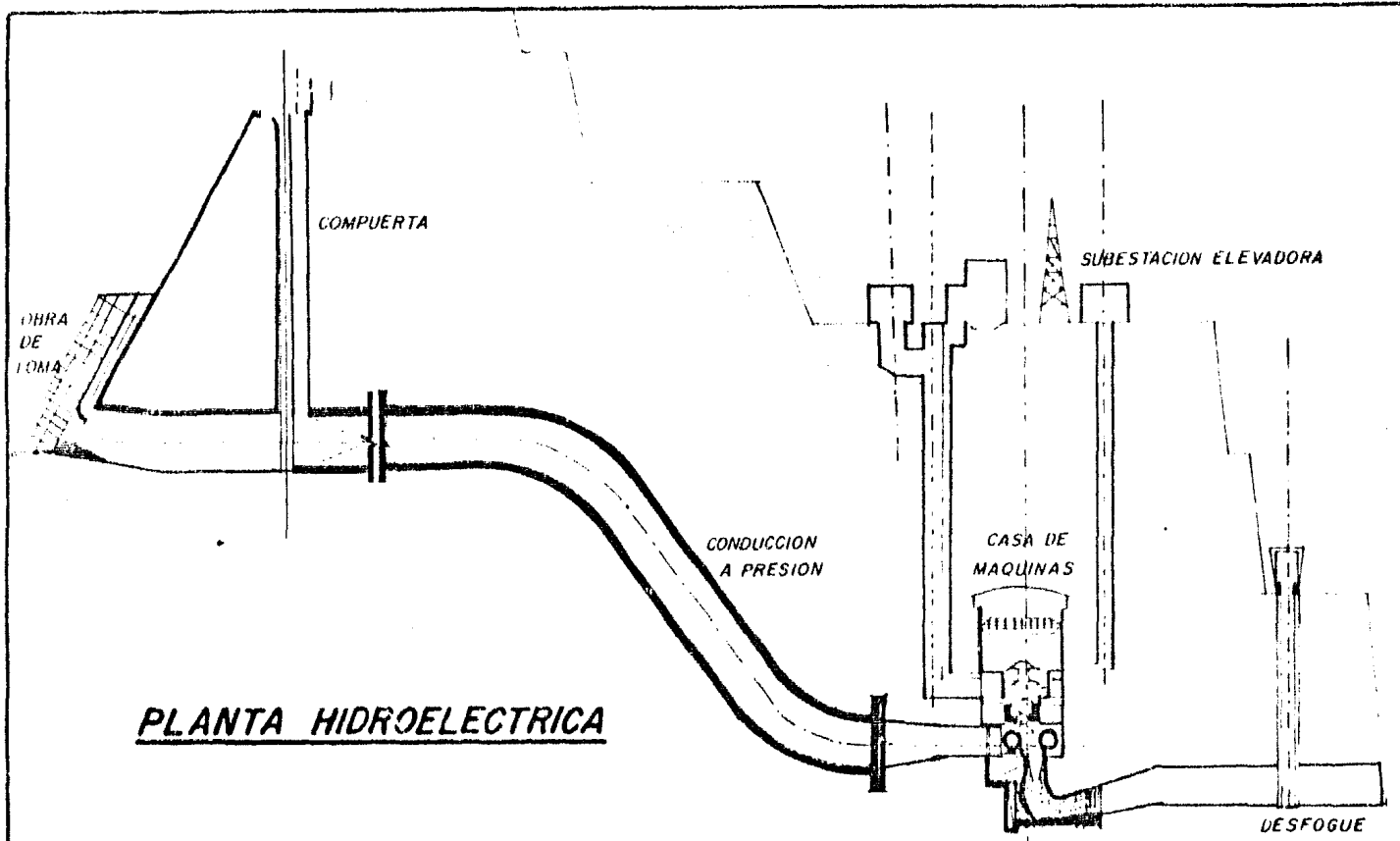
ARMADO EN LA SECCION DE DESPLANTE  
DE LAS PILAS DEL VERTEDOR.



CONCRETO BOMBEADO EN LA ZONA DE  
DESPLANTE DE PILAS DEL VERTEDOR.



CONSTRUCCION DE PILAS DEL VERTEDOR.

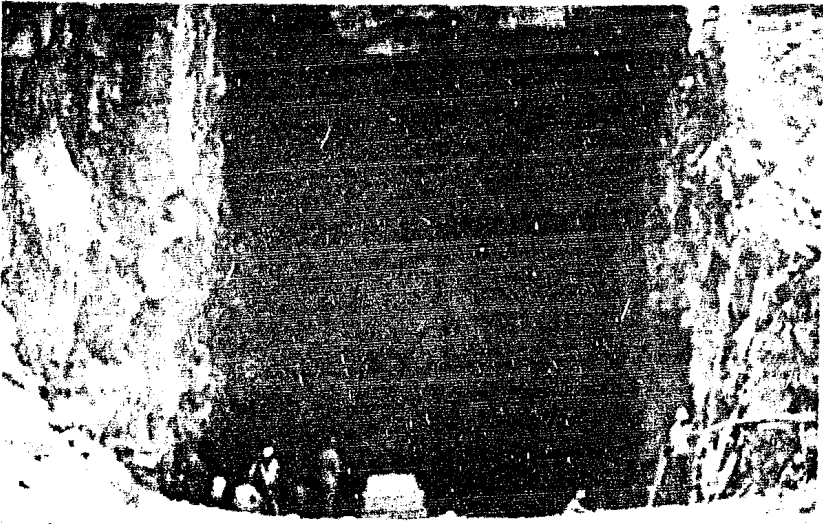


PLANTA HIDROELECTRICA

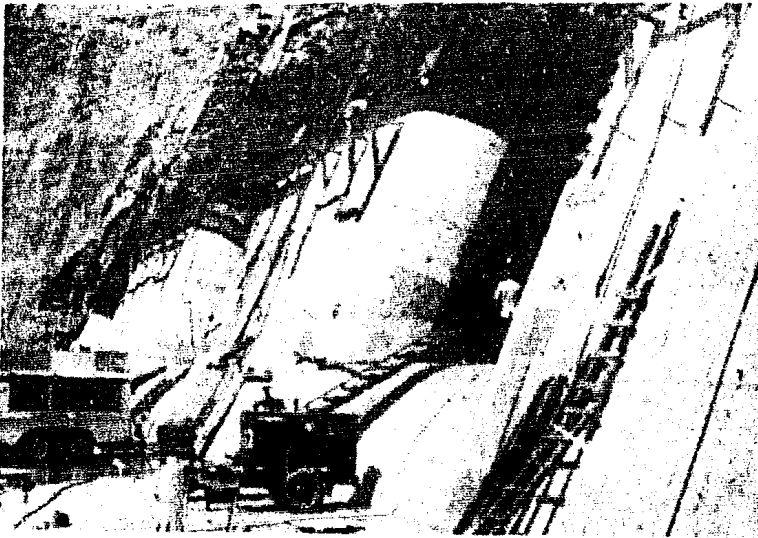
FIG. I.6.8.

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.	
PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA	
1984	LOPEZ ARROYO





AQUI PODEMOS APPRECIAR UNA UNIDAD DE LA OBRA DE TOMA YA TERMINADA LA EXCAVACION.



OBRA DE TOMA EN PROCESO DE COLADO.

das cumplirá la función de conducir el agua con una ley determinada que permita condiciones favorables de funcionamiento para su conducción.

Localización.....	margen derecha.
Número de tomas.....	3 por unidad.
Tipo.....	standard de rejillas y compuertas.
Sección.....	variable.
Gasto máximo de sobretoma.....	243.40 m <sup>3</sup> /seg.

#### Datos de conducción a Presión. -

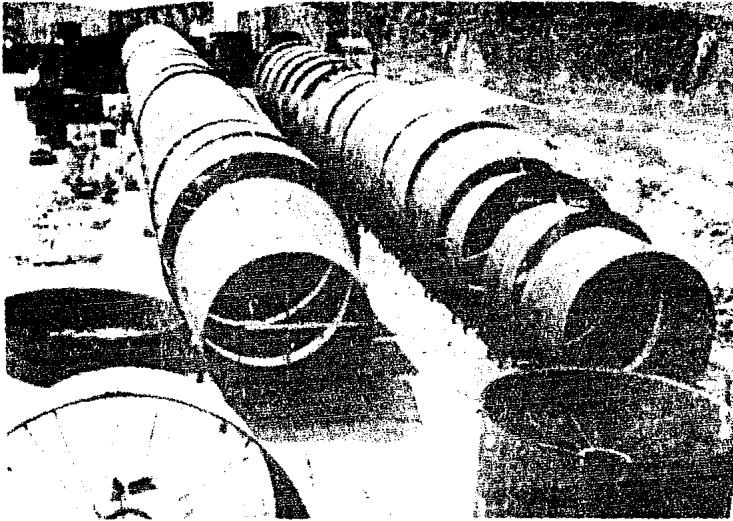
La conducción a presión se realiza en túnel con un revestimiento de concreto armado y con camisa metálica en la rama inclinada de conexión con las turbinas.

Número de conductos.....	3
Sección.....	circular.
Diámetro.....	7.50-5.67 m.
Longitud.....	313.4 m.

#### Datos de Casa de Máquinas. -

Es la estructura dispuesta para poder albergar los mecanismos electromecánicos (turbina-generator) para la producción de energía eléctrica.

Tipo.....	subterránea.
-----------	--------------



TUBERIA DE CONDUCCION A PRESION.

Altura total desde el desplante.....	39 m.
Ancho.....	20 m.
Longitud.....	114 m.

#### Datos de Turbinas, -

Es la estructura que genera energía mecánica por medio de la carga de agua que mueve a los álabes que van sujetos al eje de la turbina -- misma.

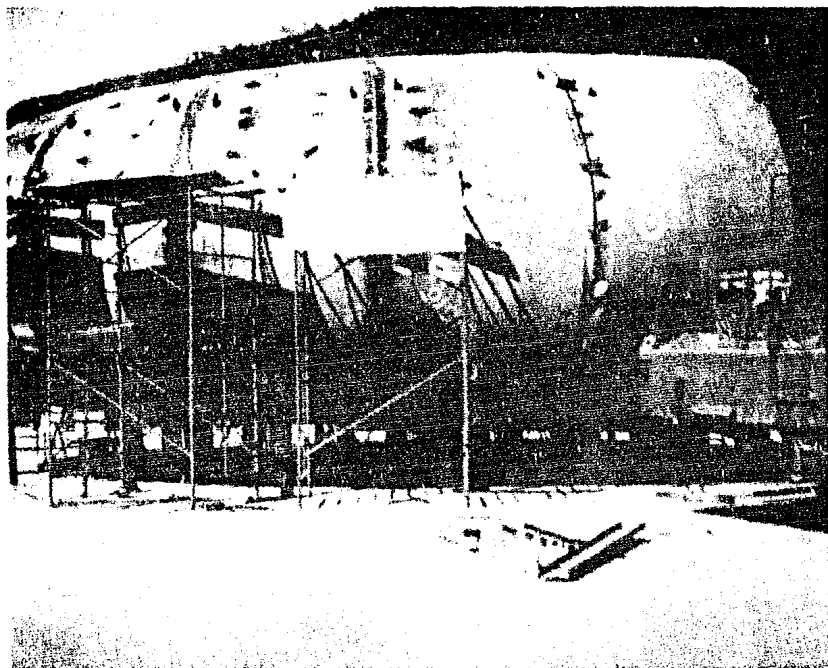
Tipo.....	Francis de eje vertical.
Gasto de diseño por unidad.....	237.9 m <sup>3</sup> /seg.
Carga de diseño.....	91.20 m.
Potencia por unidad.....	190 MW.

#### Datos de Generadores, -

Dentro de un campo magnético una bobina gira cortando sus líneas de fuerza e induciendo fuerza electromotriz que produce corriente eléctrica cuando se cierra el circuito.

Capacidad nominal.....	208 000 KVA.
Frecuencia.....	60 c.p.s.
Tensión nominal.....	16 KV.

#### Datos de Desfogue, -



CARACOL DE LLEGADA A LA  
TURBINA DE GENERACION.

Estas obras son necesarias para reintegrar las descargas de la planta hidroeléctrica hacia el río aguas abajo para su cauce normal.

Número de túneles.....	3.
Longitud.....	L <sub>1</sub> =62 m. L <sub>2</sub> =78 m. L <sub>3</sub> =98 m.
Pendiente.....	0.001
Capacidad de desalojo por unidad.....	245 m <sup>3</sup> /seg.

En lo que se refiere a la subestación elevadora y líneas de transmisión, que inicialmente tiene la función de elevar el voltaje producido, para después poder conducir la energía a la red central de distribución, se tiene proyectado ligarse a la subestación de Mezcala mediante 2 líneas de 230 KV, las que a su vez estarían interconectadas a las subestaciones El Quemado y Temixco.

#### 1.7) Presupuestos.

Todo proyecto de inversión requiere de un monto financiero para su construcción. Este monto no se podrá estimar sin antes haber hecho un presupuesto general de la obra a ejecutar.

Cuando se está en la etapa de estudio de un proyecto, se hacen presupuestaciones aisladas con la finalidad de clasificar alternativas; ésta acción ayuda a seleccionar las mejores opciones, pero el presupuesto no se ha

ce a detalle hasta que no se tenga la certeza de que se ejecutará esa opción.

Para obtener la autorización de construcción de una obra, ahora sí, el presupuesto presentado para factibilidad deberá incluir principalmente las cantidades de obra y los precios unitarios.

Para desarrollar el presupuesto de ejecución será necesario contar con la guía de conceptos a ejecutar y la probable secuencia de desarrollo. Este presupuesto final para ejecución se basará en estudios efectuados a detalle, siempre tomando en cuenta las especificaciones para que éste sirva como guía de las proposiciones y adjudicaciones de contratos de construcción.

Cabe mencionar que en este proyecto del Caracol se observan variantes en los presupuestos. Concretamente en el renglón de imprevistos, que en 1976 fue del 10% y posteriormente (todavía en etapa de análisis de proyecto) se consideró este concepto al 15%. Como se mencionó anteriormente, esto es debido a que conforme se avanza en el análisis del proyecto, se van haciendo presupuestos más detallados, sin olvidar también que las depresiones del valor adquisitivo de la moneda son cada día más frecuentes.

A manera de ejemplificación, a continuación presentamos un resumen de antepresupuesto presentado en el año de 1978:

Todos los importes de este resumen de antepresupuesto están considerados en moneda nacional.

## Resumen de Antepresupuesto, -

Obra Civil:	Costo:
Obra de desvío.....	281.765,425,00
Cortina.....	757.648,100,00
Obra de excedencias.....	818.300,350,00
Obra de toma.....	82.329,360,00
Conducción a presión.....	69.902,500,00
Casa de máquinas.....	135.039,090,00
Galería de transformadores.....	8.116,400,00
Calería de barras.....	513,050,00
Desfogue.....	45.106,500,00
Subestación elevadora.....	80.000,000,00
Conceptos varios.....	<u>270.800,000,00</u>
Suma:	2,549,520,775,00
Imprevistos 15%.....	<u>382,428,116,00</u>
Suma:	2,931,948,891,00
Supervisión técnica y administrativa (15%).....	<u>439.792,334,00</u>
Suma:	3,371.741,225,00
Equipo Electromecánico:	Costo:
Casa de máquinas.....	976.400,000,00
Subestación elevadora.....	<u>102.605,500,00</u>
Suma:	1,079.005,500,00
Imprevistos 15%.....	<u>161.850,825,00</u>
Suma:	1,240.856,325,00



Supervisión técnica y administrativa (15%).....	186,128,449.00
Suma:	1,426,984,774.00

Costo total:

Obra civil.....	3,371,741,225.00
Equipo electromecánico.....	1,426,984,774.00
Suma:	4,798,725,999.00

### I.8) Programación de Obra.

La planeación es una actividad que como herramienta antecesora a la realización de un proyecto, genera la necesidad de establecer una programación (al habilitarse el proyecto) en la que se fijen las fechas de inicio - de ejecución y terminación de los conceptos constructivos. Es decir, parámetros de tiempo interrelacionados en los cuales se logren los objetivos establecidos anteriormente y los medios para alcanzarlos en base a una función resolutive, optimizante o de adaptación.

La programación de una obra es un proceso dinámico de prevención y control, que debe estar sujeta a una revisión periódica que conduzca a realizar las metas que se persiguen con la mejor calidad y en el menor -- tiempo y costo posibles.

La buena ejecución de un programa es función de la probable optimización de actividades. También puede generar desequilibrios o alteraciones que modifiquen su concepción original en los programas de diagramas -

de barras o ruta crítica (cuando se usen éstos), ya que generalmente se proyecta el avance basándose en el análisis de los recursos disponibles, asignación y factibilidad de ejecución. La relación programación-presupuesto es indiversificable y siempre se retroalimenta.

La decisión de implementar un programa de construcción está en función de un extenso número de razones, ya que de esta programación depende el cumplir o no con el objetivo de optimizar calidad, costo y tiempo en todo proyecto de inversión. Por tal motivo, no se puede concebir un desarrollo sin una adecuada programación en la ejecución de actividades.

Cierto es que existen varias formas o metodologías para la programación de una obra, desde el hecho de anotar actividades en un papel, o bien simbolizar la programación mediante un profesional responsable de la obra que tenga hasta experiencia, hasta los métodos más sofisticados de clasificación por medio de computadoras electrónicas.

En el P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa se hicieron una serie de consideraciones iniciales con el objeto de programar la ejecución de la obra:

Inicialmente para la ejecución de las obras civiles se parte de los anteproyectos y proyecto piloto.

En éstos se sugirió comenzar la presupuestación y la redacción de los proyectos de contrato de las obras civiles permanentes y los equipos electromecánicos. Terminada esta labor empezar la licitación de obras.

Dentro del programa se prevé un tiempo para el exámen de ofertas, adjudicación y formalización de contratos.

Se principió con la construcción de caminos de acceso, campamentos y obras de desvío. Aprovechando una estación de estiaje se sugiere - la construcción de ataguías, comenzar las excavaciones para cortina y el vertedor, y después atacar las actividades de la planta hidroeléctrica.

Independientemente de que se empezará la construcción y montaje de equipos, también se deberán bloquear los blindajes de la conducción a - presión.

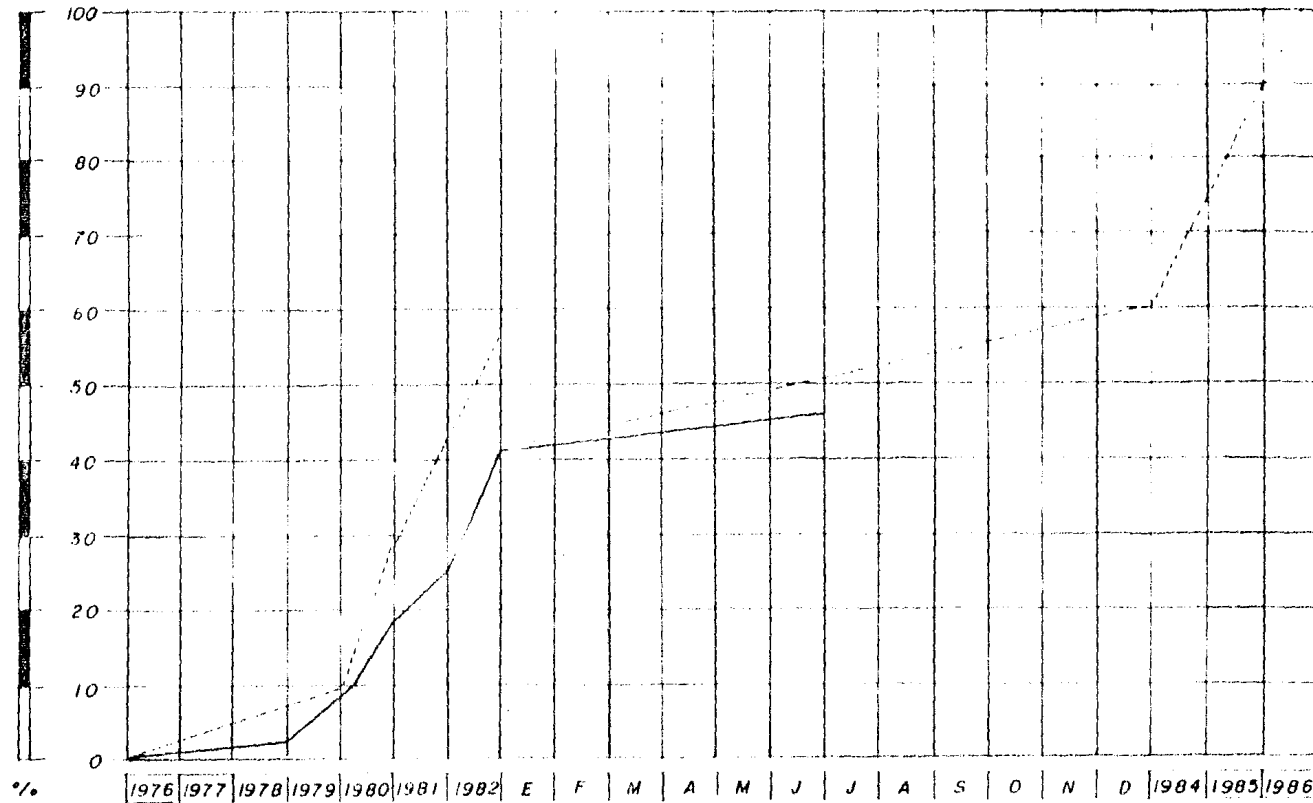
Lo anterior fue sólo con la idea de mencionar la forma como se programaron las actividades de construcción en el proyecto del Caracol, Gro.

En las Fig. 1.8.1 y Tabla 1.8.1 se muestran el avance general - y porcentaje de la obra total asignado y ejecutado por los diferentes frentes, - respectivamente. Esto desde el año 1976 hasta junio de 1983.

A partir de esta fecha se hizo una reforma respecto al manejo - de la programación en obra.

Se modificaron los procedimientos tradicionales sustituyéndolos por la computación electrónica, concretamente con la utilización del Sistema Optima, que en obra se prepara en una máquina Honeywell Nivel 6. y se procesa en México con una máquina Sperry Univac 1100.

# AVANCE GENERAL DE LA OBRA



— Avance Real  
 - - - Avance Teórico

**FIG. I.8.1**

FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
 P.N. INB. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

## PORCENTAJE DE OBRA

	ORIGENADO	% EJECUTADO
1.- OBRAS PRELIMINARES	7.28	7.28
2.- CIMENTOS DE CONSTRUCCION	1.69	7.51
3.- PLANTA BIBLIOTECARIA	11.98	4.70
4.- CORRIENTES	19.69	12.89
5.- VENTILACION	18.59	9.19
6.- INSTALACIONES	5.25	1.28
7.- OBRAS MECANICAS	8.50	
8.- FABRICACION DE EQUIPO	18.29	1.78
9.- EMPERINACIONES	1.78	1.57
10.- OBRAS AUXILIARES	9.80	0.00
11.- FORTALECIMIENTO	1.55	0.88

(TABLA I.6)

**FACULTAD DE INGENIERIA UNAM**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

**1984**

**LOPEZ ARROYO**

Para poder utilizar este sistema, fue necesario hacer la codificación de actividades que se desarrollan en los diferentes frentes de trabajo y a cada una de ellas se le asignó un número clave.

Dentro de las actividades directas de producción, en enero de 1984 encontramos las siguientes:

Residencia:	Número de actividades
Planta hidroeléctrica (montaje y obra civil)	503
Vertedor	43
Cortina	111
Inyecciones	66
Pavimentaciones	<u>18</u>
total:	741

Las actividades generadas por los diversos tipos de afectaciones fueron las siguientes:

Afectación:	Número de actividades
Indemnizaciones	12
Poblado Caracol	7
Poblado Acatlán	12
Poblado Balsas	23
Poblado Tomixtlahuacan	16
Poblado Mezcala	<u>23</u>
total:	93

Y, por último, de la oficina de enlace ubicada en Iguala, Gro.,

se presentaron las siguientes:

Concepto:	Número de actividades
Silos de almacenamiento	<u>6</u>
<b>Total:</b>	<u>6</u>
Número total de actividades:	840

Dados los continuos cambios y la complejidad para expresar el total de datos del programa en una red, éstos se analizan y se muestran mediante listados de computadora que contienen el análisis de las actividades - intrínsecas de un frente y también de toda la obra en conjunto.

Constantemente, o en algunos periodos de tiempo, los problemas de asignación presupuestal para el proyecto han conllevado a la necesidad de hacer una reprogramación de actividades, que además estarán en función de la capacidad del proyecto. Esto puede crear conflicto en el propio desarrollo de la construcción, pues generalmente presenta gran inercia al cambio en el ritmo de trabajo, tanto como para bajarlo, como para incrementarlo.

La programación del proyecto del Caracol depende de una sección que funciona dinámicamente (se alimenta) con la información directa de la obra. Ejemplos de esta información son los avances mensuales de las diferentes residencias, que debido al procesamiento electrónico de los datos arroja inmediatamente un programa actualizado. Otro sería la valorización en términos - monetarios del programa y la información de costos (inversión).

A su vez la sección crea con una actitud crítica los programas de valorización y curva de avance de obra auxiliándose de sistemas electrónicos. Estos dos elementos permiten que un nivel jerárquico superior proceda a la toma de decisiones para con los residentes de obra, ya que genera una retroalimentación al ponderarse actividades diarias.

La curva de avance (avance porcentual contra tiempo) es un elemento de comparación con la programación misma, la cual se modifica frecuentemente por ser un elemento en función de un sistema dinámico.

Al hacerse la programación de la construcción de una obra, se corre el riesgo de encontrar imprevistos que repercuten en la puntual realización del programa. Este es uno de los motivos que conducen a reprogramar actividades mensualmente.

En base a la entrega del programa actualizado, se vuelve ésta a reprogramar, lo cual sirve a las residencias como una herramienta de comparación para fijar juicios del lugar, por qué se está fallando y como repercute en el costo y orden del programa.

Este sistema de programación utilizado en este proyecto puede dar un ilimitado número de informaciones, como por ejemplo el saber los días de adelanto o retraso con mucha facilidad y precisión. También puede hacer proyecciones (pronósticos) del impacto que crea en un determinado tiempo un atraso o, por último, la comparación de diversas actividades que permita conseguir la finalidad de optimización de recursos.



## 1.9 Organización y Control.

Dentro de la gestión de un proyecto, para su realización se utilizan legalmente dos formas principales, por administración y por contrato. Frecuentemente también se utiliza la conjunción de estas dos formas al ejecutar una obra.

En lo que se refiere a la realización por administración, se entiende que es cuando una obra, o bien una estructura componente, se realiza totalmente por administración de la empresa de la que proviene el proyecto. Esta se encarga tanto de la ingeniería, abastecimiento de insumos, construcción y puesta en servicio.

Por contrato es cuando las empresas que quieren desarrollar un proyecto no pueden por sí mismas llevar a cabo alguna o todas las etapas del proyecto. Debido a ello contratan los servicios de empresas contratistas que se encargan de su ejecución.

Dependiendo de las necesidades de la obra, existen diferentes tipos de contratos. Por ejemplo las consultoras técnicas, alquiler de equipo, servicios, instalaciones, ejecución, etc.

Cuando se adjudica un contrato, éste debe seguir los líneamientos marcados en las Bases y Normas Generales para la Contratación y Ejecución de Obras Públicas.

Las partes generales de un contrato son los Celebrantes, Declaraciones Generales y, por último, sus Cláusulas.

La concepción detallada de un contrato abarca los siguientes conceptos:

Objeto del contrato.  
 Importe de las obras.  
 Plazo para considerar terminada la obra.  
 Programas de obra.  
 Planos y especificaciones.  
 Trabajos ordinarios (previstos en contrato).  
 Trabajos extraordinarios (no previstos).  
 Forma de pago.  
 Supervisión de las obras.  
 Modificación al programa (planos y especificación).  
 Ampliación del plazo.  
 Recepción de obras y liquidaciones.  
 Responsabilidad del contratista.  
 Fianza.  
 Retenciones en garantía (5% de fondo).  
 Cesión del contrato.  
 Suspensión de los trabajos.  
 Sanciones por incumplimiento de programa.  
 Rescisión de contrato.  
 Procedimientos de rescisión.  
 Relaciones del contratista con sus empleados.  
 Jurisdicción.

El funcionamiento orgánico de la Comisión Federal de Electricidad está fundamentado por los siguientes lineamientos de cargo:

La Dirección General cuenta entre sus Subdirecciones a la de --  
 Construcción, que es la rectora de la Gerencia de Plantas Hidroeléctricas. A su vez ésta se subdivide en la Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos, la -  
 Subgerencia de Estudios e Ingeniería Preliminar y la Subgerencia de Estudios Experimentales; de esta última dependen el Departamento de Geotecnia y sus

respectivas Oficinas de Mecánica de Suelos y Rocas.

La Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos considera las disciplinas de Ingeniería Mecánica, Civil y Electromecánica, así como los Jefes de los diferentes Proyectos Hidroeléctricos.

La Subgerencia de Proyectos Hidroeléctricos conduce a la Coordinadora Ejecutiva Pacifico Sur, que tiene la función de realizar la coordinación general de los trabajos que llevarán a la realización total de los proyectos de su jurisdicción, que en este caso son los del Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Balsas y dentro del cual se encuentra el P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa. También coordinará las actividades de reacomodo de población, caminos de acceso, ingeniería, construcción, almacenamiento, control de calidad, pruebas y puesta en servicio.

Dependiente de la Coordinadora Ejecutiva en el P.H. del Caracol. Cro., está un Superintendente Técnico, un Auxiliar Técnico y las funciones relacionadas con el presupuesto de la obra.

Por otra parte se tiene un Coordinador General de Construcción o Superintendente General que se encargará localmente (en obra) de la coordinación de los trabajos en todas las áreas de residencias de:

**Cortina.**

**Vertedor.**

**Planta Hidroeléctrica.**

**Caminos.**

**Obras auxiliares.**

**Electromecánica.**

**Inyecciones.**

**Programación y Presupuesto.**

Y también lo relacionado con el buen comportamiento en obra co  
mo es:

**Departamento técnico.**  
(concursos, avances de obra y  
revisión de estimaciones).

**Mantenimiento de campamentos y Oficinas.**

**Almacén.**

**Un departamento de geología.**

**Administración de proyecto.**  
(personal, contabilidad,  
pagaduría y toma de tiempo).

## **1.10 Comentarios.**

La generación de energía eléctrica es un proceso de evolución, fundamental en el desarrollo social y económico de cualquier nación.

En México, a partir de la creación de la C.F.E., se ha podido tener un desarrollo paulatino en el sector eléctrico. En la actualidad se cu  
enta con una buena capacidad instalada en la generación de energía eléctrica -- (28,300 MW), que si bien no es suficiente, sí se están siguiendo las perspecti

tivas de la política de desarrollo de infraestructura del País.

Varios son los tipos de centrales generadoras de energía eléctrica aprovechables. Uno de estos tipos es la generación por medio de aprovechamientos hidroeléctricos como el del Río Balsas, que se estima que contribuyen con el 40% de la generación total. En general todos los tipos de centrales (en operación y proyectos) deberán contribuir para que México cuente en el año 2000 con una capacidad instalada de aproximadamente 90,000 MW a una tasa de desarrollo del 10% anual.

En la realización de un proyecto, generalmente se contempla su ejecución como un satisfactor de acuerdo a necesidades sociales o económicas.

En este trabajo escrito hemos querido establecer la necesidad de considerar el desarrollo de un proyecto como una solución benéfica a requerimientos sociales y económicos de una región, pues de no prevenirse, se generará un desarrollo con un medio completamente nocivo.

Vislumbrar este problema suministrando bienes y servicios, llevará a un desarrollo económico y social armónico.

Con el establecimiento de organismos rectores como las Coordinadoras Ejecutivas, se pretende garantizar la ejecución integral de un proyecto, pero no sólo como productor de bienes y servicios, sino también como un instrumento de desarrollo regional.

El hacer un buen análisis de pre-factibilidad, conduce a la elaboración de una serie de estudios que se les clasifica como anteproyectos, y -- que serán los elementos base que decidan la asequibilidad del mismo. Esta labor, a su vez vá definiendo el tipo de estructura que se puede realizar en función de necesidades y alternativas técnicas y económicas.

Creemos imprescindible mencionar que en el análisis del P.H. - Ing. Carlos Ramirez Ulloa, se tomaron en cuenta las afectaciones regionales, acción que es encomiable por su efecto en el desarrollo integral del Aprovechamiento del Río Balsas y que debería servir de ejemplo para que se lleven a cabo acciones para reglamentar la ejecución de proyectos de infraestructura.

La justificación económica de este proyecto se fundamenta en la condición de promover la infraestructura que requiere el País, y naturalmente, en la adecuación de análisis económicos que encaminen a una evaluación económica con índices que puedan manifestar la utilidad que produce este tipo de central generadora de energía eléctrica.

La descripción del proyecto que regirá la construcción de una hidroeléctrica, contempla una etapa de minuciosos estudios genéricos que establecen la naturaleza de cada una de las estructuras que lo significan. Estos estudios van desde la elaboración de modelos, hasta el tratar especialidades como la planeación, abastecimiento de insumos, hidrología, geotecnia, hidráulica, - electromecánica, diseño de estructuras y procesos constructivos.

Es de vital importancia mencionar que de estos análisis se define

algunas modificaciones que alteran la concepción original del proyecto, pero que van encaminadas a una mejor conjunción del mismo y a definir sus características básicas para su implementación.

La presupuestación del proyecto implica que de esta acción se pueda formalizar su ejecución, pues en función de los recursos de asignación, será como una guía en las proposiciones y adjudicación de contratos de construcción.

Al habilitarse el proyecto, se hace necesario establecer una adecuada programación de todas las acciones a ejecutar, pues de esto depende el cumplir con las metas fijadas con el menor costo y tiempo posibles y también una óptima calidad de ejecución.

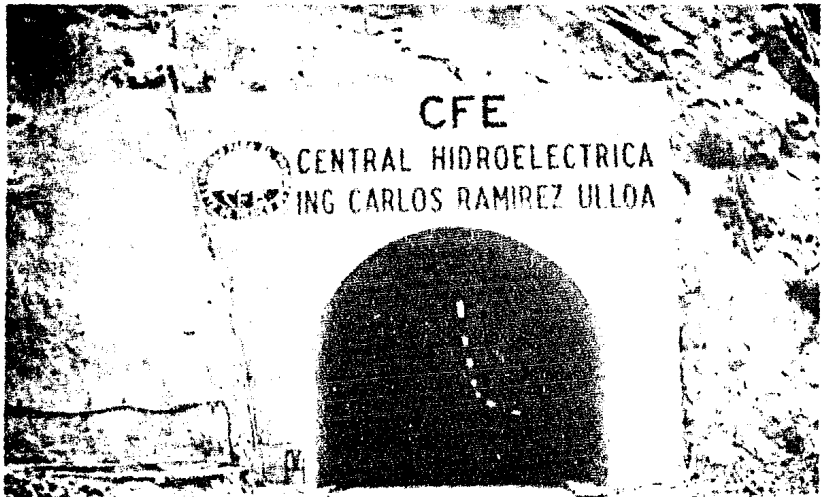
En este concepto, en el Coracol se encontró que primeramente se siguieron controles de avances y ejecución de obra a la usanza tradicional, que posteriormente fueron adecuados a la computación electrónica.

El emplear esta herramienta tecnológica creó cierto escepticismo hacia su buen funcionamiento, pero nosotros creemos que si se consideran sus alcances, ésta será de gran utilidad en el desenvolvimiento favorable de la obra.

Como se mostró anteriormente, el hacer de el proyecto un desarrollo integral, es una acción plausible de la organización de la C. F. E., ya que su ejecución con el auxilio de la planeación y reglamentación de cada una

de las acciones a ejecutar, redunda en un gran beneficio para el desarrollo de nuestro País.





## II. - TUNELES AUXILIARES DE CONSTRUCCION.

### II.1) Descripción.

La configuración de todo el P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa, es tá basada en el funcionamiento sistemático de cada una de sus estructuras.

Uno de los elementos componentes de este sistema de aprovechamiento hidroeléctrico, es todo lo que corresponde a los trabajos que se clasifican dentro de la residencia de la Planta Hidroeléctrica, que es uno de los -- principales frentes de trabajo de esta obra.

Dentro del funcionamiento del sistema, en lo que corresponde a la Planta Hidroeléctrica, ésta cumple una función que se apoya en el óptimo - ejercicio de funciones de sus elementos componentes, con el fin de aprovechar el potencial energético disponible para la generación de energía eléctrica.

Naturalmente, cumplir con estos objetivos de generación, conlleva a emprender trabajos propios de construcción para la conformación de elementos. Es decir, cumplir una meta, es un proceso dentro del cual las - actividades principales y primarias son las de construcción, independientemente de que para la realización de las estructuras se deben adecuar programas y técnicas o procedimientos constructivos que conduzcan a una favorable edificación de todo un proyecto.

Concretamente estamos tratando de indicar que en la Planta III-

droeléctrica de este proyecto se siguen acciones o procedimientos constructivos que sirven como herramientas auxiliares para poder erigirla.

Estas consideraciones constructivas estuvieron fundamentadas en acciones primarias de acceso, como es la realización de los Túneles Auxiliares de Construcción que se muestran en la Fig. II.1.1. En esta figura se presenta una planta que comprende a la Planta Hidroeléctrica y los seis túneles auxiliares.

Las estructuras que componen la Planta Hidroeléctrica del proyecto del Caracol, se ubican en una zona anteriormente denominada como Filo del Ajonjolí y en la estratificación se observa un rumbo con orientación NE 81°.

Cada túnel mencionado anteriormente cumple una función en el proceso constructivo de la Planta Hidroeléctrica; por tal motivo, a continuación se da una pequeña descripción de sus funciones y características generales:

#### Túnel No. 1. -

Es el túnel que lleva la función principal de acceso a la Casa de Máquinas, pues es el de mayores dimensiones y por tal, entre otras funciones, será un acceso importante en el establecimiento de los equipos electromecánicos necesarios.

Este túnel tiene una longitud total de 235.75 metros, una sección transversal tipo portal de 9x8 metros y la pendiente es  $s=0.077$ . Queda desplantado a una elevación de 440.69 metros en su entrada y en la llegada a 420.40 -

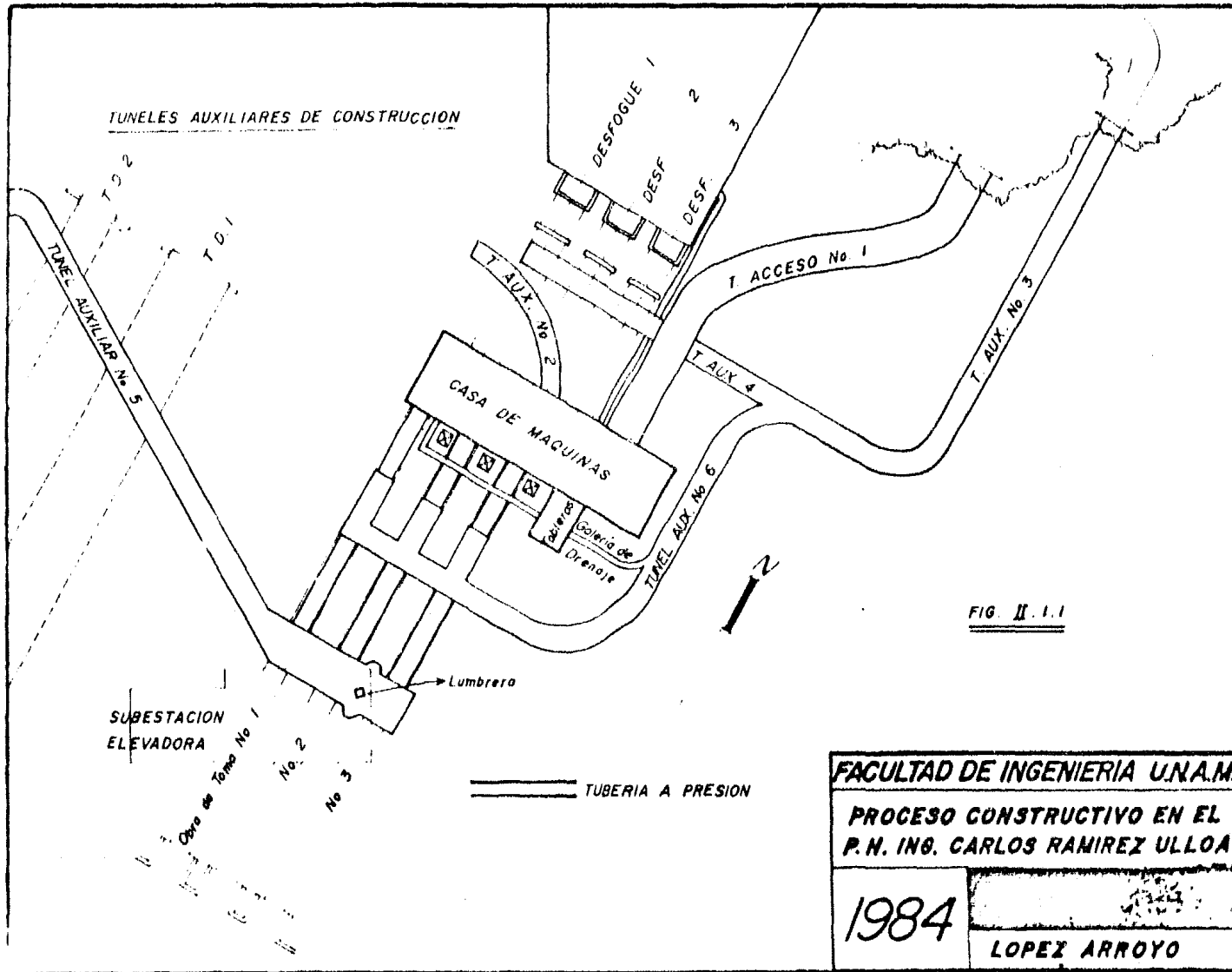


FIG. II.1.1

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.	
PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA	
1984	
LOPEZ ARROYO	

metros.

Túnel No. 2. -

También es de sección tipo portal de 5x6 metros, longitud total de 78.52 metros y pendiente descendente de  $s=0.01175$ . La entrada está a -- una elevación de 440.60 metros y el túnel termina en la salida a Casa de Máquinas con 431.40 metros de elevación.

Este túnel fue un auxiliar muy importante en la realización de - los trabajos de excavación de acceso a la Casa de Máquinas al nivel de la bóveda y trabe-carril. que es de 431.40 metros. Colaboró de manera importante porque sirvió en el tratamiento del macizo de roca, en el desalojo de rezaga cuando se atacó el acceso y también en todos los trabajos de habilitado, armado y colado de la bóveda, tímpanos y trabe carril.

Túnel No. 3. -

Este túnel tiene la peculiar característica de terminar en una - bifurcación que origina los túneles 4 y 6. La bifurcación es con la finalidad - de tener 2 frentes de ataque, uno para el desfogue y otro para la conducción a presión, respectivamente.

Sección portal de 6x6 metros, longitud de 216.93 metros y pendiente de  $s=0.109$ .

Túnel No. 4. -

Este es el frente de ataque para la construcción de los túneles que contendrán los desfogues. El túnel intersecta a las 3 secciones del des-

fogue en forma perpendicular.

Es de sección portal de 5x6 metros, con longitud de 156.58 metros y pendiente de  $s=0.109$ .

Túnel No. 5.-

El túnel 5 desemboca al crucero de maniobras, ubicado éste en una sección de la conducción a presión y se realizó con la finalidad de auxiliar en la construcción de la sección mencionada de la conducción, ya que tiene un tramo de fuerte pendiente donde se utilizaron procedimientos constructivos diferentes por la misma situación.

Este túnel es de sección portal de 6x7 metros, longitud de 187.05 metros y pendiente de  $s=0.0644$ .

En el crucero de maniobras se realizó una lumbrera auxiliar de construcción, la cual cumplirá la función de ser el medio por el cual se introducirán los forros metálicos que constituirán a la tubería de presión. Esta lumbrera es de sección rectangular de 8x9 metros y tiene una profundidad de 103.70 metros.

En la subestación a la elevación de 570 metros, se encuentra el principio (de arriba hacia abajo) de la lumbrera y tiene su salida entre las tuberías 2 y 3, ver Fig. II.1.2.

# LUMBRERA AUXILIAR DE CONSTRUCCION. -

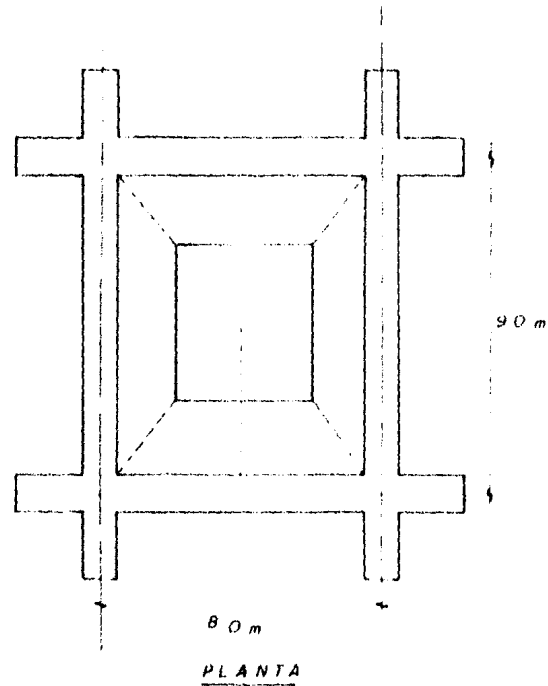
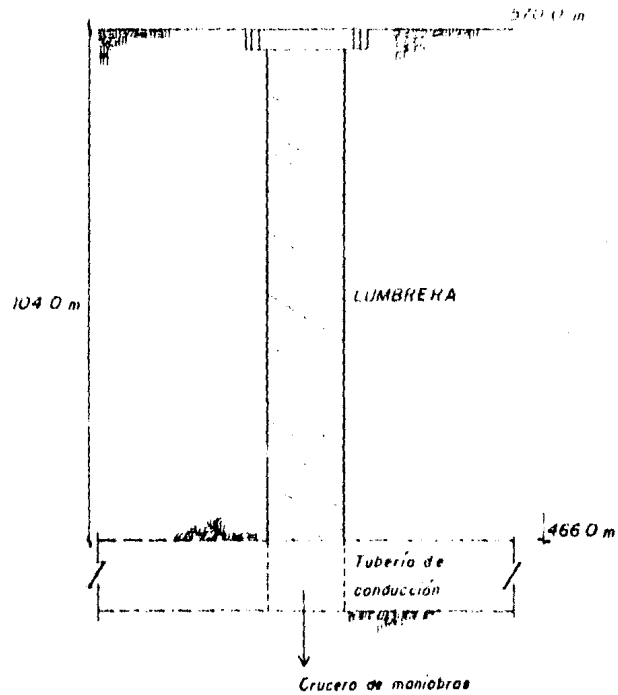


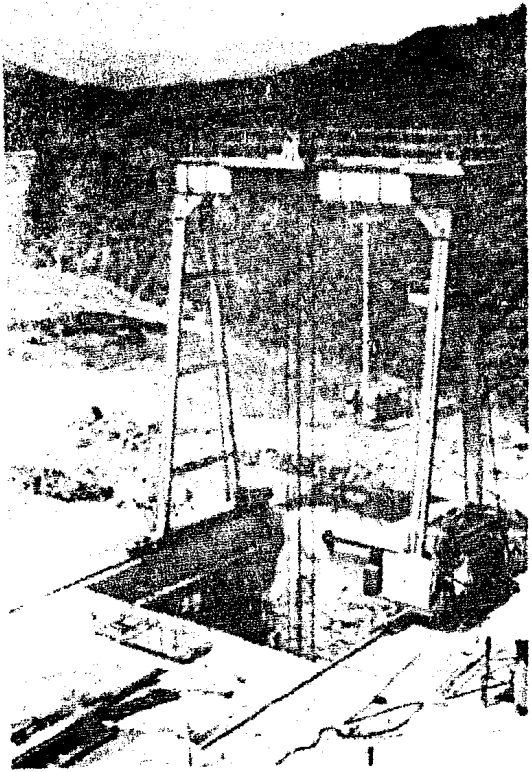
FIG. II.1.2

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO



LUMBRE A AUXILIAR DE CONSTRUCCION POR DONDE  
SE INTRODUCIRA LA TUBERIA A PRESION.



Túnel No. 6. -

Es el auxiliar de construcción en la sección de las tuberías a presión y las intersectará en la parte más baja de cada sección.

Es de sección tipo portal de 5x6 metros, longitud de 241.30 metros y  $s=0.0960$ .

Todas las observaciones preliminares que se acaban de hacer se exponen en la ya citada Fig. II.1.1. donde se puede apreciar perfectamente cada uno de los túneles y su forma longitudinal.

## II.2) Características Generales del Macizo Rocoso.

La geología en la zona de proyecto se determina por rocas (areniscas y lutitas) plegadas con un rumbo general NE-SW y echado hacia el NW de  $40^\circ$  en promedio.

Las formaciones geológicas se pueden clasificar en tres unidades litológicas generales características:

La primera, conformada por el 60% de areniscas y 40% de lutitas, cuenta con estratos de areniscas hasta de 7.0 metros de espesor y la formación de diques que rellenan fracturas y planos de estratificación.

En la segunda, con el 70% de lutitas y un 30% de areniscas, se encuentran estratos delgados en general; los más grandes fueron areniscas -

de hasta 5,0 metros de espesor. Por tener fuertes plegamientos, esta segunda unidad litológica contiene una serie de mantos y diques geológicos representativos.

En la tercera zona predominan superficialmente lutitas, y a mayor profundidad hay un buen confinamiento que genera una aceptable compactación y resistencia de esta zona.

### II.3) Consideraciones Generales de Construcción.

Al fabricar un túnel se altera el equilibrio interno en la masa geológica y en la roca componente se observan fisuras y una descompresión de partículas. Por lo tanto se deben considerar acciones de soporte como anclajes o revestimiento, que eviten que se presenten más descompresiones.

Estas acciones reforzarán el soporte de cargas a que se someta el túnel y también colaborarán para que no se presenten agrietamientos.

Naturalmente se tendrán que estimar las características de la roca en que se trabaje, pues hay algunos tipos en los que no se requiere usar anclajes o revestimiento, si acaso se le dará un tratamiento de concreto lanzado para que no se intemperice. Cuando se presenten grietas o fisuras se tendrá que inyectar lechada en la roca exterior, de forma que garantice que la roca y revestimiento trabajen adecuada y conjuntamente para efectos de estabilidad.

En el diseño y fabricación de un túnel se requiere un amplio co-

nocimiento de las condiciones geológicas de la zona de trabajo y, por supuesto, tener la suficiente capacidad y experiencia para saber interpretar estas condiciones. La interpretación geológica se debe llevar a cabo primeramente en el estudio del proyecto. y después en el transcurso de la ejecución.

Al desarrollarse un túnel se tendrá que controlar el perfil teórico, su desarrollo progresivo, modificaciones al proyecto, identificación de fallas, disturbios tectónicos, control y estudio de causas de eventuales derrumbes, de formaciones en la sección del túnel y estudio del agua subterránea.

La localización topográfica de la entrada de los túneles será fijada mediante la utilización de tránsitos con precisión de un segundo, auxiliándose éstos en los puntos de apoyo que se localicen dentro de la triangulación general de la obra.

En general en esta obra el método de ataque a utilizar para la excavación de los túneles fue a plena sección, método que se conoce como inglés, y que teóricamente tiene un ahorro en el uso de explosivos y la realización se efectúa en un lapso más corto.

Respecto al revestimiento de los túneles, se consideraron sólo tramos relativamente cortos en su principio y final y también en zonas donde se observe algún defecto geológico. Esto es debido a que los estudios de geología realizados en El Caracol, indicaron que la calidad de roca del sitio era la adecuada para soportar los empujes a que estarán sometidos los túneles.

De los métodos de ataque el que predominó fue el de voladura, es decir, se trató de remover un volumen existente de roca por medio de la utilización de explosivos de determinadas características, que en su acción disgrega y proyecta la roca de acuerdo a las dimensiones especificadas. El trazo de las plantillas de barrenación se hace con métodos topográficos que garanticen el cumplimiento en la distribución de éstas.

Antes de ejecutar una tronada debe retirarse del lugar todo el equipo que pueda ser afectado por esta acción. También debe haber una coordinación para que todas las personas que laboren en el frente se enteren de la tronada y se eviten así desgracias personales.

Para la excavación de esta estructura fue necesario la utilización de tres requerimientos para el funcionamiento del equipo, y ellos son los siguientes:

1).- El aire comprimido que se suministró por medio de compresores diesel y eléctricos para utilización de los equipos de barrenación. También se tenía previsto su almacenamiento para cumplir con el volumen requerido.

2).- La energía eléctrica necesaria que fue proporcionada por la C.F.E. mediante conductores eléctricos aislados que se usaron en el alumbrado del túnel y para las necesidades del equipo.

3).- Por último el agua que fue necesario transportar para el en

friamiento del equipo de barrenación, y se hizo mediante tanques elevados que por gravedad suministraron el agua en tubería de 3 pulgadas de diámetro.

Como los túneles tienen una pendiente descendente, de acuerdo a la forma de ataque, se requiere retirar el agua y se hace con bombas de membrana que generalmente son de 2 pulgadas para condiciones normales de uso.

En una excavación a base de explosivos se tiene una grave contaminación en el aire y también la atmósfera se vicia por emanaciones de gases naturales procedentes del terreno. Esta contaminación puede producir enfermedades graves como la silicosis y, por tal motivo, debe procurarse una rápida ventilación por medio de extractores de aire.

#### II.4) Procedimiento de Construcción.

En el proceso constructivo de un túnel se tienen que adoptar medidas iniciales de adecuación.

La primera acción a ejecutar será la de dar estabilidad al talud donde se localizará el portal de entrada.

En el P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa, se iniciaron estas acciones con la conformación estable de las paredes a excavar, es decir, se retiró la roca que potencialmente podía derrumbarse, quedando así una su-

perficie uniforme donde pudiera trabajarse.

Este portal de entrada debía tener un soporte de buenas características que colaborara a su estabilidad, para que así fuera, se colocaron anclas friccionantes de varilla corrugada de 2 metros de longitud, diámetro de 1 o 3/4 de pulgada y con un gancho en el extremo de 20 centímetros. La colocación de las anclas fue con la distribución que se conoce como "tres bolillo" y se muestra en la Fig. II.4.1.

Ya instaladas las anclas de fricción, se colocó malla de acero para continuar con el tratamiento. La separación de la malla es de 10 x 10 centímetros, y se sostuvo con anclas de varilla corrugada en forma de "T" de 30-centímetros de longitud, diámetro de 1 pulgada y una separación de 1 x 1 metro (Fig. II.4.2.).

Por último, para concluir el tratamiento del soporte, se lanzó un revestimiento de concreto con las siguientes especificaciones: Cemento tipo 1 modificado, agregado máximo de arena y gravilla fina de 5 milímetros,  $f'c=180 \text{ kg/cm}^2$  y se colocó con un espesor promedio de 7 centímetros.

La segunda acción es la excavación, que en general en todos los túneles se atacó a plena sección.

Para poder cumplir con los requerimientos de estabilidad en túneles, es necesario la colocación de soportes y tratamiento de la roca que se afectará a lo largo del túnel.

# SOPORTE DEL TALUD DE ENTRADA.

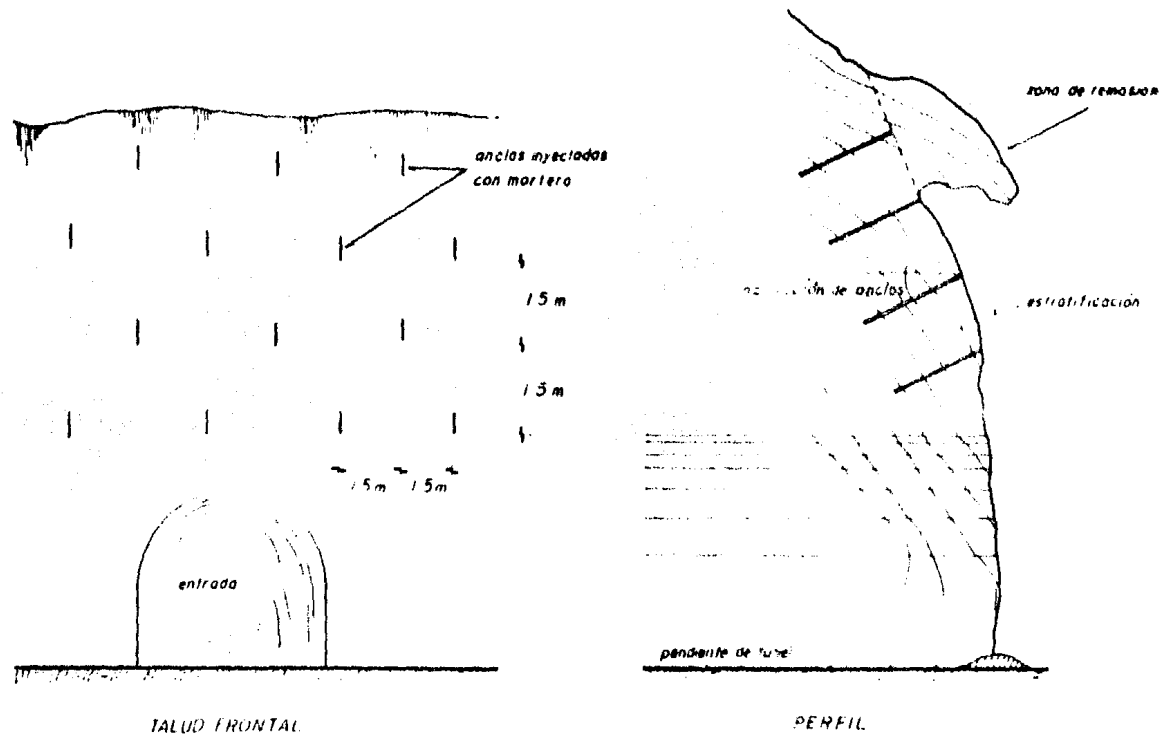


FIG. II. 4.1

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

# COLOCACION DE MALLA

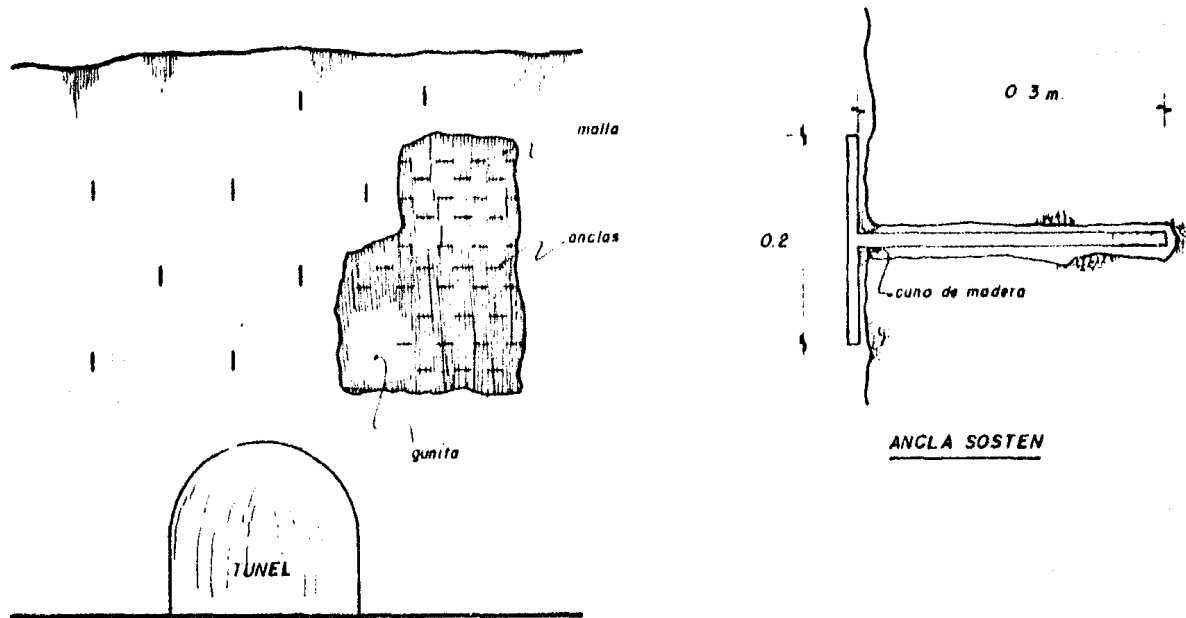


FIG. II. 4.2

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO



Por lo que respecta a los soportes, en este proyecto se colocaron en tramos de un promedio de 15 metros a partir del inicio longitudinal -- del túnel. Se utilizaron anclas de fricción de varilla corrugada de 2 metros -- de longitud en promedio,  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ , diámetros de 2 a 1 3/4 de pulgada. El final del ancla se encontraba zunchado para poder atornillar una tuerca de apoyo, complementada antes con una placa de acero de 20 x 20 x 0.95 centí-- metros para cumplir la función de fijar la misma. En el barreno se inyectó -- mortero de cemento-arena con un  $f'c=180 \text{ kg/cm}^2$ , la distribución de las anclas fue con una separación de 1.5 metros y una colocación radial en forma -- de tres bolillo con 5 hileras. En la parte final de llegada a los túneles se amplía la separación en la colocación de soportes, ésto por tenerse mejores con-- diciones de comportamiento de estabilidad. Las varillas colocadas en esta -- sección fueron de menor longitud en la distribución, pero mayor longitud de varilla. Todo lo anterior se muestra en la Fig. II.4.3.

El proceso de excavación de un túnel sigue un ciclo básico de pre-- paración, y el cumplirlo representa la implantación adecuada del proceso cons-- tructivo establecido. A continuación presentamos las fases cronológicas com-- ponentes de este ciclo:

**Barrenación.**

**Carga de explosivos.**

**Protección del equipo.**

**Detonación de explosivos.**

**Ventilación del lugar de tronada.**

**Rezaga del producto.**

**Limpia y trazo topográfico.**

# SOPORTES LONGITUDINALES EN TUNELES

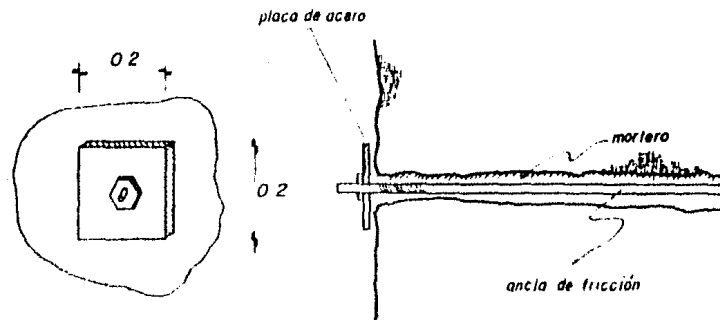
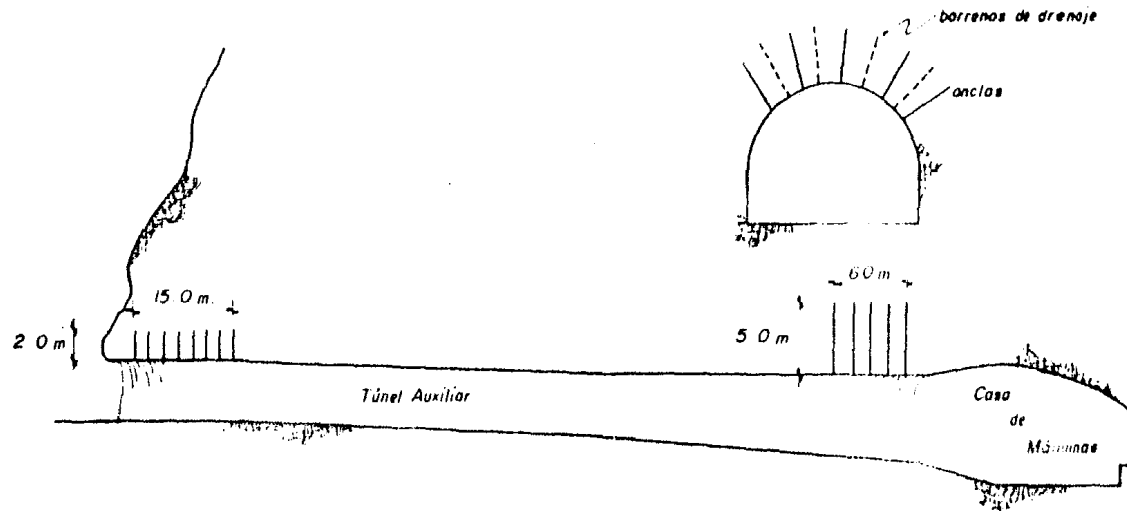


FIG. II. 4.3

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

### Reacomodo de equipo.

La barrenación es la perforación inicial de ataque que se usa como preparación para poder utilizar explosivos y así efectuar la remoción de roca. Estas perforaciones tuvieron en promedio una longitud de 3 metros.

Respecto al ataque de la sección de los túneles por medio de barrenos, en la Fig. II.4.4, se presenta el ejemplo de una plantilla de distribución de barrenación y las diferentes longitudes y diámetros utilizados en ella. Se utilizaron diferentes longitudes de barrenación, exclusivamente por las irregularidades del frente de ataque y porque se pretendía concretar una sección uniforme.

La sección de ataque de un túnel se divide en 5 zonas características de barrenación:

Piso.

Pared.

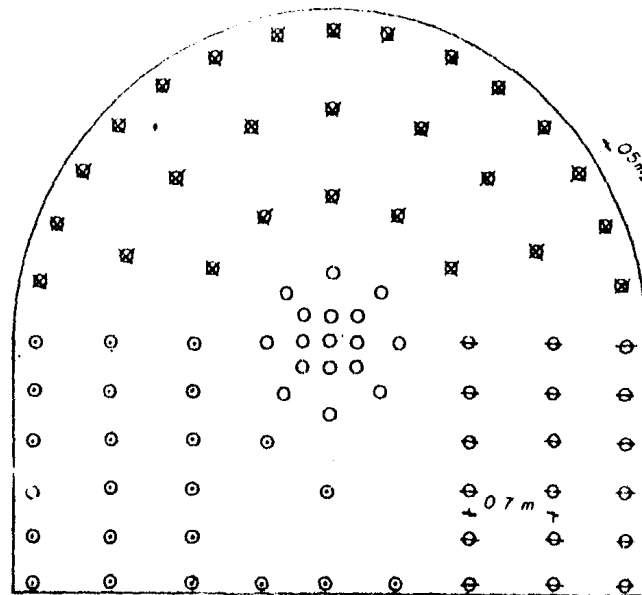
Techo.

Auxiliares hacia arriba y horizontales.

Auxiliares hacia abajo.

Datos proporcionados por la Residencia de Planta Hidroeléctrica, nos muestran que debido a la diversidad de formas de ataque, se utilizaron alrededor de 70 barrenos promedio por plantilla. De estos 70 barrenos se hace una división en 2 zonas características de clasificación, 40 barrenos se clasi

PLANTILLA DE BARRENACION



- ⊙ L=2 m , 1 1/2" Ø
- ⊠ L=2 m , 2" Ø
- ⊕ L=3 m , 1 1/2" Ø
- L=3 m , 2" Ø

FIG. II. 4. 4

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

ficaron en la zona superior y los 30 restantes en la zona inferior.

El tiempo promedio de ejecución de un barreno fue de 6,5 minutos y el tiempo promedio total de barrenación de una plantilla fue de 200 minutos para la parte superior y 240 minutos para la parte inferior.

Cargar un barreno para poder ejecutar la barrenación, es un proceso que se inicia con la preparación de la llamada vaina de detonación, preparación que tarda aproximadamente 10 minutos. A manera de ejemplificación, mencionamos cómo fue la preparación en un barreno de la parte superior perimetral de una plantilla cualquiera:

Inicialmente se debe contar con un carrizo que tenga dimensiones similares a la longitud del barreno. En toda la longitud del carrizo se amarra con cinta aislante el cordón detonante llamado Primacord, que es un cordón flexible resistente que soporta la humedad, tiene un núcleo de alto explosivo, y cuya función es iniciar la detonación de explosivos. Cuando el cordón detona tiene en todos los puntos de su longitud la energía iniciadora de un fulminante. También en el carrizo, a cada 20 centímetros, se colocan los cartuchos de Tovex 100 de 22 centímetros de longitud y este elemento es un alto explosivo licuado sin nitroglicerina (ya que contiene eficientes sensibilizadores explosivos de TNT), es por decirlo así, la dinamita.

En el fondo del barreno, o al principio de la vaina, se coloca un estopín, que es un fulminante eléctrico que consta de un casquillo mecánico --

dentro del cual se colocan diferentes cargas de pólvora, y de un elemento eléctrico de ignición conectado a un par de alambres aislados que son los conductores de energía eléctrica.

Posteriormente el barrenado se rellena con el agente detonador Mexamón (Fig. II. 4.5a), que es un compuesto o mezcla química insensible al fulminante; no tiene ingredientes explosivos y puede hacerse detonar cuando se inicia la tronada con un cebo de alta potencia (en este caso, el explosivo). Este detonador es introducido al barrenado por medio de aire a presión con un cargador neumático y el proceso de rellenar una plantilla tarda alrededor de 45 minutos.

Otra forma común utilizada para cargar barrenos, fue simplemente en la que se usaba el "fainero" para introducir cartuchos Tovex 100 y después se rellenaba de agente detonante Mexamón con su respectivo estopón, ver Fig. II. 4.5b.

El explosivo utilizado trabaja de diferentes formas, según la profundidad, inclinación, carga de los barrenos y también es muy importante mencionar que el rendimiento depende de los planos de estratificación, pues si son paralelos al eje del túnel, los gases de la explosión los separa y se escapa potencia por las fisuras, presentándose así un bajo rendimiento. La longitud de voladura, que es la longitud del túnel liberada por la explosión, es generalmente del orden de 2.5 a 2.8 metros, con un fuqueo -que es la longitud de barrenación no tronada- de 20 centímetros (6%).

# CARGA DE BARRENOS

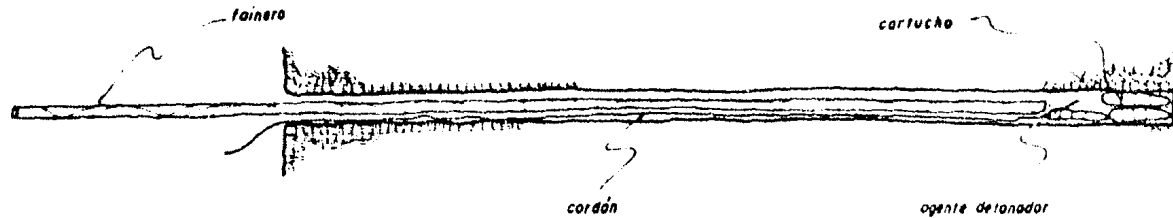


FIG. II. 4. 5b

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P. N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

## CARGA DE BARRENOS

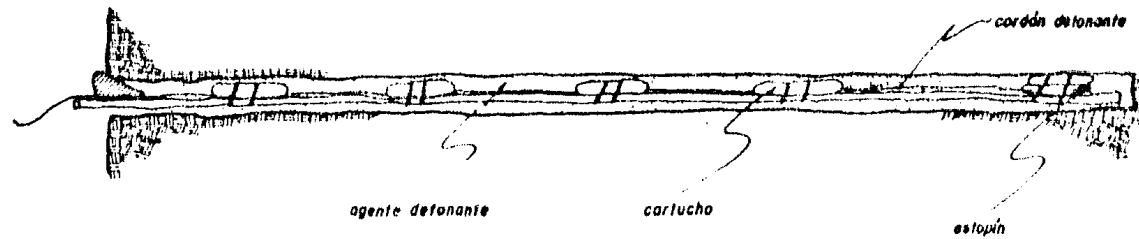


FIG. II. 4.5a

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO



El prever la adecuada fragmentación de la roca para su fácil traslado y la formación de la cuña deseada, lleva a la necesidad de adoptar una secuencia de ignición en las voladuras. Esta secuencia se mide en tiempo (segundos y milisegundos), representa el momento secuencial de tronada por tener un elemento retardante que requiere de un periodo definido de tiempo para quemarse estando expuesto a la corriente eléctrica y es conectada en serie y paralelo. Al funcionar la voladura, comienza por el centro de la plantilla circundando a los barrenos quemados. Estos son de igual diámetro que los cargados, y en su funcionamiento liberar energía por tener una cara libre, lo que permite que la roca tenga más espacio para su movimiento. Por último, al funcionar los explosivos secuencialmente, se ensancha periódicamente la sección hasta llegar, en el último tiempo de explosión, al post-corte.

## II.5) Equipo.

La correcta elección del equipo que se utiliza para la construcción de los túneles auxiliares es una fase básica muy importante para el buen desarrollo de este proyecto. Para poder seleccionar el tipo de maquinaria a emplear, se tienen que conocer los principios fundamentales de especificaciones y programa de obra, así como también la disponibilidad de equipo adecuado.

La labor de un buen constructor será la de adecuar y hacer versátil el uso -hasta donde sea posible- del equipo que tiene en existencia, y utilizarlo en trabajos típicos: aunque en la perforación no se puede transferir este equipo tan fácilmente, pero sí se pueden clasificar rendimientos mediante la comparación. Por consiguiente, se estimará la posibilidad de adquirir equipo

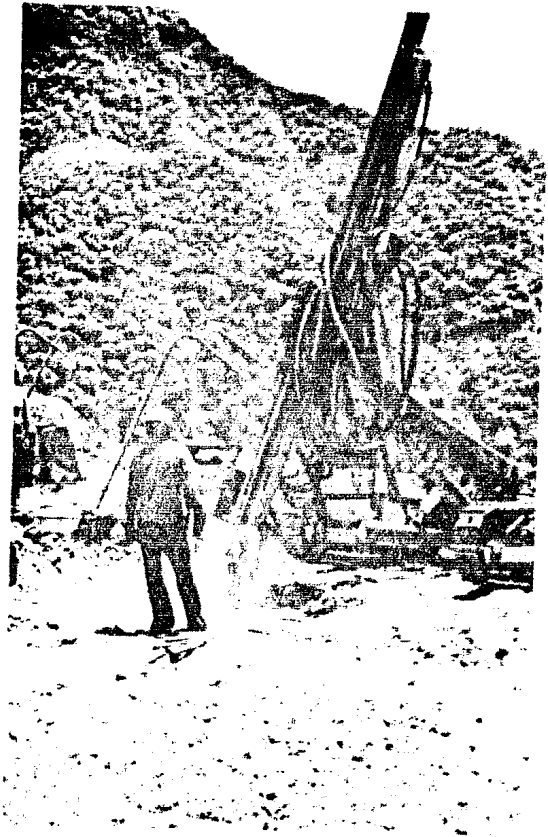
especializado que justifique la inversión de capital, ya que el no hacer una correcta estimación de este gasto, conducirá a que por tener parado el equipo, tenga una tardía, o no tenga recuperación del capital.

La barrenación, excavación y anclaje en la construcción de los túneles, fue esencialmente con equipo como el Jumbo de 3 y 4 brazos que trabajan simultáneamente: tiene plataforma móvil con perforadoras de 3,6 y 3,0 metros de longitud montada en llantas de hule y diámetros de perforación de 2 pulgadas. Este tipo de máquina posee la peculiar característica de poder situar perfectamente (en posición y dirección) cada barreno.

Otro tipo de equipo de ataque y tal vez el de mayor utilización, es la perforadora sobre orugas llamada Track Drill. Consta de un dispositivo automático que induce rotación al acero de barrenación, empuje y avance, y consta de una perforadora pesada, una guía con brazo neumático que son soportados por un par de orugas que tienen tracción propia. También se puede usar en diferentes posiciones y direcciones y trabaja a base de aire comprimido con un consumo de 500 pies cúbicos por minuto.

Por último, un auxiliar importante en la perforación de partes bajas, fueron las pistolas neumáticas de piedra. Van articuladas a un brazo o elemento auxiliar, tampoco tienen problema de posición y tienen un consumo de aire del orden de los 150 pies cúbicos por minuto.

Los diámetros normalmente utilizados en la barrenación fueron de 2 pulgadas y, en algunas ocasiones, se combinó con diámetros de 1 1/2 pulg



TRACK DRILL

das: claro, dependiendo del equipo utilizado, El material de fabricación de las brocas de ataque fue de aleaciones de acero intercambiables e insertos de carburo de tungsteno.

Los compresores utilizados en este frente tienen la función de comprimir el aire a una presión superior a la atmosférica, para, por medio de tuberías, alimentar el equipo de perforación. Funcionan por medio de un motor con consumo de diesel: generalmente vienen montados en un chasis con ruedas neumáticas y son del tipo (F-290-25) con capacidad de 600 pies cúbicos.

Este equipo de perforación mencionado anteriormente se clasifica como primario de ataque y sirve como preparativo para que posteriormente se puedan usar los explosivos descritos en el inciso anterior.

A continuación enlistaremos el equipo secundario que se usó en los trabajos de excavación:

Grúa modelo (G-700-8) de 20 toneladas de capacidad que se utilizó en maniobras de lavado, barrenación y colocación de malla para el tratamiento de los taludes.

Dos tipos de bombas se utilizaron en este frente. La primera para el lanzamiento de concreto, lavado de taludes y también en el lanzamiento de gunita para los revestimientos. La segunda utilizada para el desalojo de agua por medio de aspas giratorias y con un diámetro de 2 pulgadas.

De la misma manera, el equipo de desalojo de la rezaga producto de la excavación, es importante en el proceso constructivo, y el ciclo de rezaga se hace desde el lugar de ataque hasta el lugar señalado como banco de desperdicio. Se utilizó equipo como el Scoop-Tramp (Z-1400-23) con motor de consumo diesel.

## II.6) Constructores.

La práctica de la Ingeniería Civil se contempla por medio de elementos e instituciones capacitadas para su desarrollo, y están regidas mediante normas legales que les confieren la calidad de ejecutores de esa especialidad.

A estos ejecutores se les designa comunmente como constructores o contratistas, los cuales son personas físicas que generalmente se constituyen legalmente en personas morales y se encargan de la realización física de un contrato constructivo en todas sus variantes, apoyándose en los elementos técnicos y humanos de que disponga para la buena realización de un objetivo de este tipo. Las asignaciones de obra podrán ser completas o por partes, dependiendo de la decisión del contratante.

La disposición de dar oportunidad de ejecutar obras por medio de la industria privada es con la finalidad de no crear un sistema totalitario y de dar elementos para el desarrollo de la industria de la construcción, ya que ésta es un indicador económico importante en la balanza comercial de cualquier país.

La contratación de obra se realiza en varias formas, fijándose de

antemano sus tiempos de ejecución. Puede contratarse para los estudios y planeación, ejecución física o, por último, para mantenimiento y operación, sin dejar de considerar que todas estas fases pueden efectuarse mediante contratos de administración.

La forma como se da a conocer la disponibilidad de contratos es mediante convocatorias en los medios de comunicación, o en base al registro de contratistas con disponibilidad para ejecutar el trabajo concursado. Las propuestas que se generan de estas convocatorias comúnmente se analizan de acuerdo a un concurso en el que se clasifican para buscar la proposición (para aceptación) que haya presentado el menor costo de ejecución.

## II.7) Control de Calidad y Avance de Obra.

Planear convenientemente el desarrollo de las actividades de un proyecto. será el parámetro de comparación para ver si en realidad fue buena su adecuación al proceso constructivo.

Para estimar si la planeación del proceso constructivo fue favorable, no se puede esperar a que termine la obra.

Por tal motivo, se tendrá que revisar periódicamente el avance en la ejecución y así darse cuenta si realmente está funcionando bien.

La óptima calidad de cada elemento constructivo se logra tomando muestras para compararlas con el estandar, y en función de los resultados del

control de calidad se puede concluir si efectivamente es conveniente el método de construcción que se está aplicando. También la buena ejecución de los elementos se apoya en una oportuna supervisión en el desarrollo de su configuración.

Entre las actividades de ejecución de los Túneles Auxiliares de Construcción está la de excavación, y tiene varios factores de estimación en el control y avance de su construcción. Estos factores, que son los pilares funcionales para la inmejorable realización de acuerdo a una programación inicial, son principalmente el equipo y el personal, y precisamente de ellos depende el cumplir con los volúmenes de excavación programados.

A manera de ejemplo, podemos mencionar que cuatro perforistas, dos ayudantes y un cabo dirigiendo maniobras, era el personal preliminar integrante de un frente de barrenación en túnel. Este personal tuvo el auxilio de dos compresoristas, un operador de Scoop-Tramp (equipo de rezaga), dos encargados de la electricidad en el alumbrado del frente y, por último, el mecánico responsable del mantenimiento y reparación del equipo de barrenación. La jornada de trabajo era con turnos de 8 horas, modificándose en algunas ocasiones a un poco más.

En función de obtener el tipo de sección deseada, se tuvieron que hacer una serie de consideraciones para el proceso de control del avance y calidad de ejecución. Consideraciones como definir los términos de malos trazos, sobreexcavaciones y otros conceptos que son importantes en los pagos de ejecución.

Para efectos de supervisión en los pagos se precisaron las líneas de excavación A y B y se definieron así:

Línea A. -

Es la que se considera óptima, porque es el límite de la excavación en la cual se fijaron los revestimientos.

Línea B. -

Es el límite en el pago de sobreexcavaciones. Si se rebasa esta línea, ese volumen no se considera en los pagos.

En la Fig. II.7.1 se presenta cómo se llevó el avance del Túnel Auxiliar de Construcción No. 2.

La sección y trayectoria del túnel se verifica durante la construcción, pues en el avance se utilizan diferentes longitudes de barrenos en las plantillas. Algunos barrenos eran cortos para poder configurar las curvas de la longitud y otros eran más largos para cumplir con el tramo de avance que se fijaba en el programa.

Los esquemas de tiro o distribución de plantillas de barrenación fueron cambiando de acuerdo a las condiciones del frente de ataque, pero más importante aún era la búsqueda de los esquemas que permitieran más eficiencia en las tronadas con un respectivo ahorro de explosivos, lo que se transformó en ahorro de tiempo y dinero. En aspectos específicos de construcción se obtuvieron ventajas al simplificarse el alineamiento para la barrenación, pues los ti-



AVANCE DEL TUNEL AUX. DE CONSTRUCCION No. 2

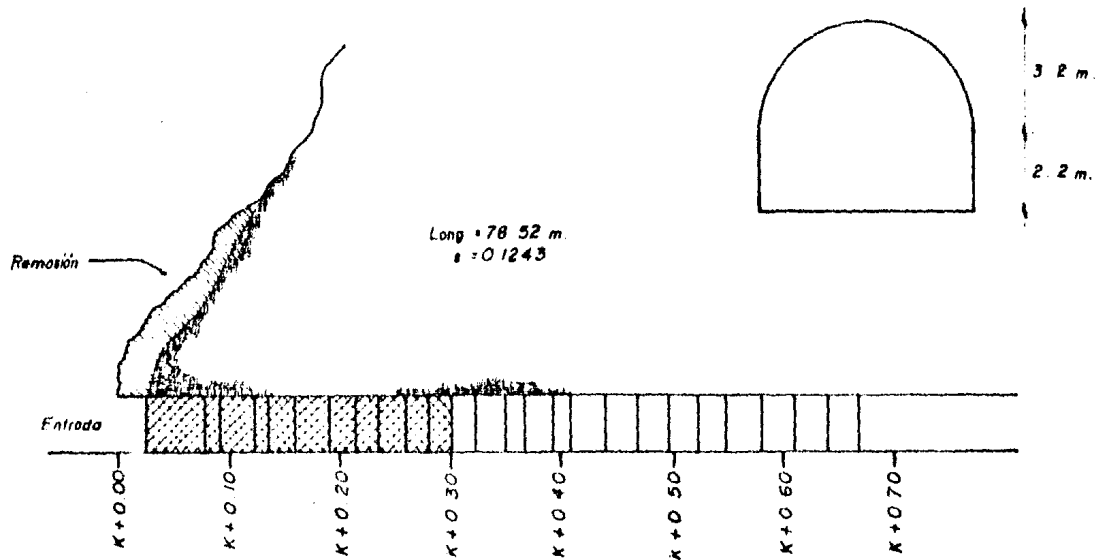


FIG. II.7.1

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEX ARROYO

pos de sección que quedaban eran favorables para el siguiente ataque.

## II.8) Comentarios.

La realización constructiva de un aprovechamiento hidroeléctrico como el Ing. Carlos Ramírez Ulloa, inicialmente tiene varias alternativas en cada una de las estructuras que lo componen. En la llamada Planta Hidroeléctrica, que es uno de los frentes principales de este proyecto, todas las subestructuras internas tendrán que definirse como elementos de características sin gulares en su género.

Esta Planta Hidroeléctrica se estableció en los contornos de las formaciones litológicas de la zona del Caracol, Gro. Aún en plena etapa de ejecución, fue un problema definir la ubicación de los elementos constructivos es tructurales.

Los Túneles Auxiliares fueron consideraciones constructivas para ayudar a establecer el objetivo de acceso a la Casa de Máquinas. Estos túneles también colaboraron en los trabajos de realización de toda la Planta Hidroeléctrica, por lo que se consideran elementos indispensables en el desenvolvi- miento de estos trabajos.

Es importante destacar que estos túneles fueron un elemento de versatilidad, puesto que en ocasiones asumieron el carácter de auxiliares res-olutivos de algunos problemas que se presentaron en esos frentes.

Las características principales de las componentes geológicas del macizo rocoso, es decir, las formaciones básicas de lutitas y areniscas, fueron juzgadas como adecuadas para efectuar los trabajos subterráneos, lo que consecuentemente significó una gran economía en el tratamiento de esos frentes por no tener que usar revestimientos en toda la longitud de los túneles.

Las contemplaciones preventivas o de desarrollo hechas en este proyecto, nos muestran que erigir una hidroeléctrica no es un proceso constructivo sencillo, sino que es un trabajo muy delicado que requiere de especificaciones muy rígidas y de absoluta colaboración de especialistas en las diferentes áreas de la Ingeniería Civil.

Una especialidad importante en el desarrollo de trabajos de ejecución de este tipo de obras es la Geología, ya que por el tipo de características del sitio, su apropiación tomará una función trascendental para el buen desenvolvimiento de la obra.

En los trabajos de ataque hay que tener una secuencia óptima para la perforación, ya que de ésto depende que se pueda encomiar un factor importante como es el de seguridad en el trabajo, porque el desarrollo adecuado de la labor del empleado acarreará mejores rendimientos.

En este tipo de obra se deberán tener siempre 3 elementos que anteriormente llamé "requerimientos". Estos representan los pilares para el conveniente desarrollo de los trabajos de barrenación, y son el suministro de: aire, energía eléctrica y agua.

Toda acción de perforación en túneles tiene una preparación previa esto es, acciones preventivas que muchas veces también son de corrección, ya que, por ejemplo, al estarse realizando esta obra se presentaron problemas de estabilidad que requerían de ciertos correctivos (anclaje) para su adecuado funcionamiento.

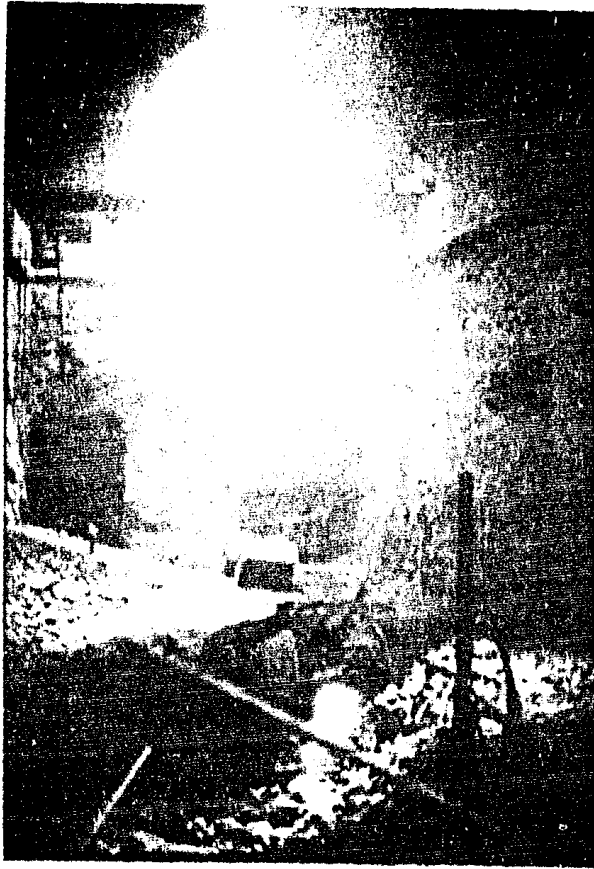
Todas las adecuaciones y modificaciones que se hagan traen como consecuencia la práctica de un estudio minucioso del problema. Así, los tratamientos de estabilidad más comúnmente ejecutados en este proyecto, fueron los anclajes de varilla corrugada que se colocaron en un plano normal al de estratificación. La distribución, diámetros y longitudes de anclaje se apoyaron principalmente en estudios geológicos, de mecánica de rocas y comportamiento estructural.

Para atacar la sección de un túnel por medio de explosivos, se debe seguir un ciclo cronológico de ejecución que otorgue un beneficio directo al avance de obra.

Para elegir el tipo de explosivos a usar hay gran diversidad en el mercado, pero creemos que de acuerdo a las especificaciones de la roca del proyecto, el uso de gelatinas es una medida adecuada por tener un comportamiento menos complicado y más invariable que los explosivos tradicionales. Tratar de entender el inmejorable comportamiento que se pretende hacer del uso de explosivos por medio de la secuencia de tronada es muy interesante, pues si se hacen funcionar bien, estas herramientas pueden generar una diversidad de acabados, profundidades y dimensiones de la roca tronada. Por si fuera poco, si la secuen

cia es utilizada oportunamente, se podrá tener un rendimiento lógico de acuerdo a la capacidad de los equipos con que se esté trabajando.

Una programación conveniente, la eficiencia del personal, el rendimiento del equipo y el control y supervisión de obra, podrán clasificarse como elementos del mecanismo básico de organización y funcionamiento de un proyecto. Independientemente de que periódicamente, en el transcurso de la obra, se debe hacer una estimación actualizada de los costos y precios unitarios que representan la ejecución.



### III. - CASA DE MAQUINAS.

#### III.1) Descripción.

La Casa de Máquinas de un aprovechamiento hidroeléctrico es una de las subestructuras principales de este tipo de plantas. Se clasifica como estructura principal del frente denominado Planta Hidroeléctrica, que es el que -- cumple la función de conformar los elementos de toma, conducción, generación, desfogue y conversión de energía para efectuar la conducción exterior.

La función para la que se destina esta estructura, es albergar los mecanismos electromecánicos que servirán para generar energía eléctrica, para tener un local de inspección y control de operaciones y contar temporalmente con el equipo necesario para la colocación de esos mecanismos. Independientemente de que también contará con elementos de drenaje y suministro y extracción de aire.

Los mecanismos electromecánicos que contiene son esencialmente las turbinas, generadores y conductores de energía.

Para definir el tipo de turbina a utilizar se debe estimar la carga neta de operación, y se hace restando de la carga bruta las pérdidas por conducción desde la obra de toma hasta el acceso a los medios de generación.

Las dimensiones de la Casa de Máquinas están en función del tamaño de las unidades generadoras y el equipo auxiliar.

En este proyecto, el acceso a la Casa de Máquinas es por medio del Túnel Auxiliar de Construcción No. 2, descrito ya en el capítulo número II.

A diferente nivel, pero con la misma ubicación en planta, se encuentra la plataforma de transformadores de energía (485 m.), que comunica la electricidad por medio de lumbreras provistas de buses de conducción. De igual manera está la ubicación de la subestación elevadora, pero a un nivel superior (565 m.).

Originalmente, la realización constructiva de este elemento es problemática por las dificultades en la elección del sitio de ubicación, ya que como se diseña en función de una caída de agua (carga piezométrica) tiene la necesidad de situarse en un lugar que está a una altura inferior que las estructuras superficiales. Esto implica que su construcción sea en un sitio subterráneo, ya sea en pozo o en caverna: por tal motivo, es una tarea ardua de minuciosos estudios, hallar las condiciones geológicas ideales para establecerla. Aún así, ya elegido el lugar de ubicación, casi siempre se presentan dificultades de estabilidad geológica durante su construcción.

En el P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa se decidió construir la Casa de Máquinas en caverna, decisión que se tomó apoyándose en el análisis de los estudios realizados. Algo muy representativo de lo comentado anteriormente, fue que se tuvieron infinidad de problemas para su ubicación y posteriormente durante su construcción surgieron algunos más, lo que originó modificaciones sobre la marcha que comentaremos en incisos posteriores.



### III.2) Condiciones Geológicas Generales.

Las condiciones geológicas predominantes en el macizo rocoso donde se ubica la Casa de Máquinas de El P.H. del Caracol, Gro., están fundamentadas por una secuencia de areniscas y lutitas compactas de buena calidad. Esta zona geológica se compone de fracturas de tensión causadas por tectonismos, es decir, en el transcurso de la formación de la corteza terrestre.

Los plegamientos de este sitio conservan un rumbo Noreste-Sureste y los echados un rumbo Sur-Este, y contienen espesores delgados generalmente de 10 a 30 centímetros.

Las fracturas encontradas en este lugar se formaron con un distanciamiento de 5 a 10 metros. La más importante de ellas tiene una orientación Este-Oeste y un buzamiento hacia el Norte o hacia el Sur. Los rellenos componentes de estas fracturas son básicamente calcitas, arcillas y cuarzo.

En la sala de tableros la estratificación varía de 30 a 50 centímetros de espesor y presenta un buzamiento de 15 a 30 grados al Sureste.

Dentro de las condiciones desfavorables en la construcción de la Casa de Máquinas están las hendiduras rellenas de roca eruptiva, llamadas también diques geológicos, y en este frente de la lista que se hizo de toda la configuración del proyecto, se tiene uno clasificado como el No. 4.

Este dique es el que ocasionó un sinnúmero de dificultades en el pro-

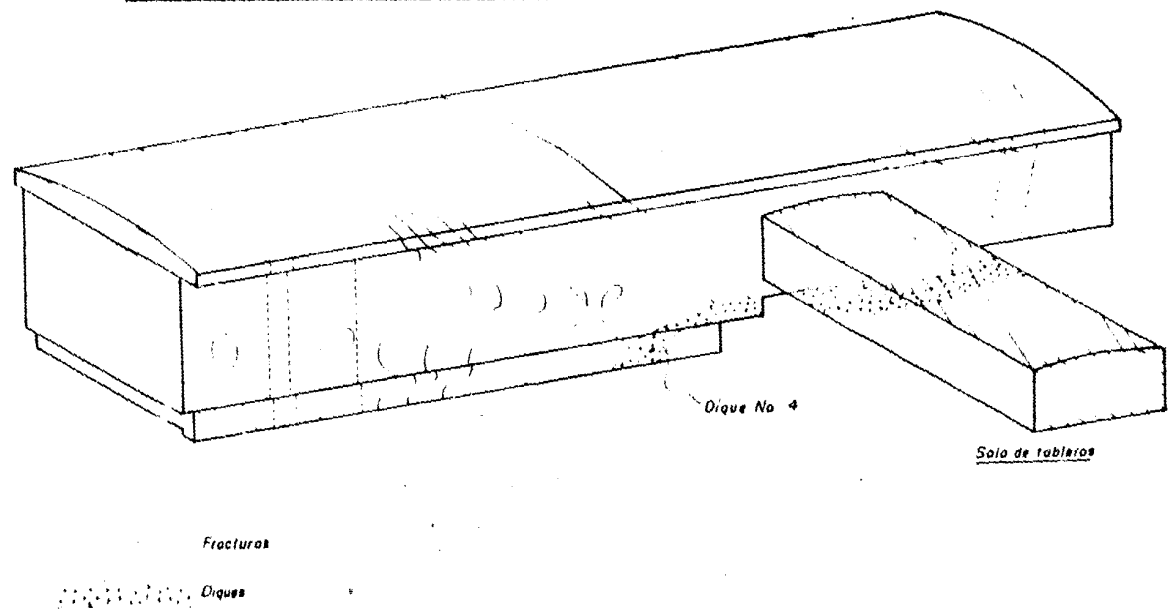
ceso constructivo del frente de la Planta Hidroeléctrica, generando atrasos en el avance de su construcción. Por ejemplo, en el tratamiento de las condiciones desfavorables de estabilidad de este dique, una representación de los problemas constructivos se situó en la parte inferior derecha del paño aguas arriba de la Casa de Máquinas. También en la sala de tableros el dique citado intercepta en forma transversal su parte central, por lo que requirió un buen anclaje que evitara desplazamientos durante la excavación. Algo que fue hasta cierto punto favorable, es que el dique estaba limitado por roca de buena calidad con un buzamiento al Norte de 60 grados.

En la Fig. III.2.1 se esquematiza la configuración geológica general de la Casa de Máquinas y sala de tableros.

### III.3) Propiedades Mecánicas de la Roca.

Antes de comentar las alternativas constructivas de localización de la Casa de Máquinas, enunciaremos algunos estudios de Geotecnia y Mecánica de Rocas y de Suelos, realizados para definir las propiedades mecánicas básicas de la roca que forma la zona del aprovechamiento hidroeléctrico del Caracol. Estas propiedades están basadas en los estudios y observación macroscópica de los núcleos de barrenos perforados en la margen donde se encuentra el frente de la Planta Hidroeléctrica de este proyecto, y también poniendo especial atención al estimar el porcentaje de recuperación entre la longitud perforada de los barrenos, confrontada con el avance de la perforación. En general se hicieron los siguientes ensayos para la clasificación geológica:

CONFIGURACION GEOLOGICA



Fracturas

Diques

Dique No. 4

Soledad de tableros

FIG. III. 2.1

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

a) El peso volumétrico de la roca se fijó pesando y midiendo las probetas ensayadas, y los resultados obtenidos fueron del orden promedio de -  $2.5 \text{ ton/m}^3$ .

b) Para fijar el índice de alteración se saturó la probeta por espacio de 1 hora, se secó en el horno, y por diferencia de pesos se obtuvo el volumen de agua absorbida. Este se acostumbra expresarlo en porcentaje.

c) Con la ayuda del porosímetro se ensayaron probetas para determinar la porosidad (relación entre volumen de vacíos y volumen de masa) y la relación de vacíos (volumen de vacíos entre volumen de sólidos).

d) El índice de calidad de la roca (RQD), que es la relación entre la suma de longitud de tramos de núcleos mayores de 10 centímetros y la longitud de avance en la perforación.

e) Resistencia a la compresión simple, con cilindros de relación altura-diámetro (esbeltez) de 2 a 2.5.

f) Para fijar las características esfuerzo-deformación y resistencia al corte, se hizo la prueba de compresión triaxial.

g) Resistencia en corte simple, doble y punzocortante. Para corte doble con prismas de 2.6 centímetros de altura, 3 centímetros de ancho y 14 centímetros de longitud. Y por último, el ensaye punzo-cortante se realizó con pastillas de muestras saturadas naturales.

h) Resistencia en tensión indirecta, conocida como prueba brasileña. se efectuó con la misma relación de esbeltez que la prueba de compresión simple.

i) Resistencia a la flexión o módulo de ruptura usando cilindros - con relación de esbeltez de 2 a 2,5 y diámetro de 5,4 centímetros.

j) El ángulo de fricción interna para las areniscas se fijó por medio de un ensaye triaxial rápido no consolidado y no drenado en muestras secas y saturadas. el resultado fue de 82 grados con presión de confinamiento de ---  $5 \text{ kg cm}^2$ . Para una presión de confinamiento de  $15 \text{ kg cm}^2$ . se tuvo un ángulo de fricción interna de 55 grados. La cohesión aparente obtenida fue de  $80 \text{ kg/cm}^2$ . En las probetas de pizarra saturada probada triaxialmente a la misma presión de confinamiento que las areniscas, disminuyó el esfuerzo axial en la falla, y los ángulos de fricción interna fueron de 80 y 65 grados, respectivamente.

A continuación transcribimos las conclusiones que se determinaron en base al análisis detallado de los estudios efectuados:

"Al obtenerse los resultados de los ensayes, se concluyó que las altas dispersiones de los coeficientes de variación son índices de la heterogeneidad del depósito. La resistencia en compresión promedio disminuye al saturarse la roca en 42% para areniscas y en un 21% para las pizarras. La resistencia al corte en ensaye simple fue el 17% de la resistencia a compresión, de 24% en ensaye de corte doble y de 32% en punzo-cortante. Comparar los valores obte-

nidos a partir de muestras saturadas no es fácil y es insignificante por el reducido número de pruebas realizadas. La resistencia de tensión indirecta (prueba brasileña), resultó entre 10% y 15% del valor de la resistencia en compresión, tanto para las areniscas como para las pizarras. La resistencia de tensión en estado seco resultó similar para los dos tipos de roca. Con la roca saturada disminuyó la resistencia en tensión de las areniscas un 12%, mientras que la resistencia de tensión en las pizarras no se afectó. La resistencia en tensión bajo flexión o módulo de ruptura, resultó entre el 20% y el 40% de la resistencia en compresión simple y fue casi igual para las pizarras y areniscas. El módulo de elasticidad en estado seco es semejante en ambas rocas ( $350,000 \text{ kg/cm}^2$ ). En estado saturado se observan fuertes discrepancias".

"Las pruebas Lugeon realizadas en los barrenos mostraron una permeabilidad baja con valor máximo de 8 unidades Lugeon. En túneles de desvío y socavones se encontraron zonas de altas permeabilidades asociadas al dique No. 4, pero se destaca que el dique se encuentra en estado blando y deleznable como consecuencia de la alteración de las aguas freáticas. Por lo tanto debe tenerse en cuenta que no ha habido circulación de agua en el pasado geológico, además de que, durante la ejecución de las pruebas de permeabilidad, fueron reportadas fugas totales de agua en los tramos de prueba que incluyen a los diques y por consiguiente, este fenómeno puede significar que existen fracturas abiertas sin agua en circulación".

### III.4) Alternativas de Ubicación por Condiciones Geológicas.

Al estudiarse minuciosamente las condiciones geológicas de la zo

na de ubicación de proyecto de la Casa de Máquinas, se generó la necesidad de modificar el eje longitudinal de ubicación, trasladándolo paralelamente por defectos geológicos en la sección de la tubería de conducción. Asimismo, por razones económicas y funcionales, también se requirió modificar el esquema general de la planta.

Tomando como base el motivo de estos cambios, trataremos de profundizar un poco más en el comentario de los problemas y decisiones para la ubicación de la Casa de Máquinas de este proyecto.

Los estudios realizados en la etapa de anteproyectos fueron incrementados con la finalidad de indagar en el estudio de Mecánica de Rocas de la zona de tuberías a presión y bóveda de la Casa de Máquinas. Para este objetivo, inicialmente se realizó un socavón y una serie de barrenos, 5 de los cuales detectaron la formación del dique geológico clasificado con el No. 3, y se estimó que éste afloraría en la bóveda y pared aguas abajo de la Casa de Máquinas original. Este dique tuvo una resistencia de  $550/\text{cm}^2$  y las condiciones geológicas estaban caracterizadas por el relleno (en condiciones sanas) de una fractura que presentaba la constancia de que ahí habían circulado aguas freáticas; otras condiciones geológicas eran que se encontraba circunscrito de roca de buena calidad y la abertura de fractura tenía un espesor del orden de 1 centímetro. Con ayuda de las explotaciones ejecutadas en toda esta zona se pudo precisar la geometría del dique No. 3 y después de estudiarse minuciosamente, se concluyó la conveniencia de desplazar el anterior eje longitudinal unos 20 metros aguas abajo, con el agravante de que el dique quedaría muy cerca de la Casa de Máquinas y posiblemente se presentarían filtraciones y subpresiones cercanas a ella.

Como tampoco se consideró adecuada esta ubicación, se siguieron los estudios para encontrar una mejor alternativa, descubriéndose la aparición del dique geológico clasificado con el No. 4. Este dique estaba en condiciones alteradas y mostraba más transporte de agua que el dique No. 3. También se encontró que el dique No. 4 cruzaría potencialmente el pozo de oscilación, pero se juzgó que si a éste y a la roca que lo circunscribe se les daba un tratamiento conveniente, no se tendría problema por ser una excavación pequeña en esta sección. En un principio se pensó que esta alternativa, aún con sus dificultades, sería la definitiva, pero después de haber explorado con mayor detalle su geometría, se llegó a la conclusión de que lo mejor sería trasladar la Planta Hidroeléctrica hacia aguas abajo.

Después de desechar la alternativa de construir la Casa de Máquinas exterior, por los excesivos cortes que se tendrían que efectuar, se decidió estudiar la alternativa de aguas abajo y finalmente aceptarla como definitiva. Entre otras cosas, debido a la "pequeña" longitud de los desfoces, esta alternativa excluyó la necesidad de utilizar pozo de oscilación. Ya decidida esta alternativa, se realizaron más estudios de la zona y del dique No. 4, y aunque por su condición requería de tratamientos de soporte, no se pensaba que pudiera provocar mayores dificultades.

Posteriormente durante la construcción de esta estructura, en el año de 1952, afloraron problemas de estabilidad por la formación de una cuña que potencialmente se podría deslizar y que era debida a la fractura donde se formaba el dique No. 4. La decisión resolutoria al problema fue incrementar el an-



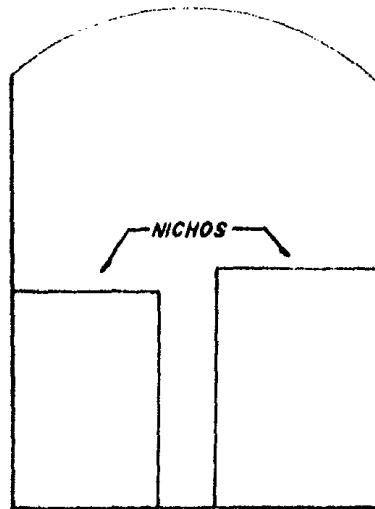
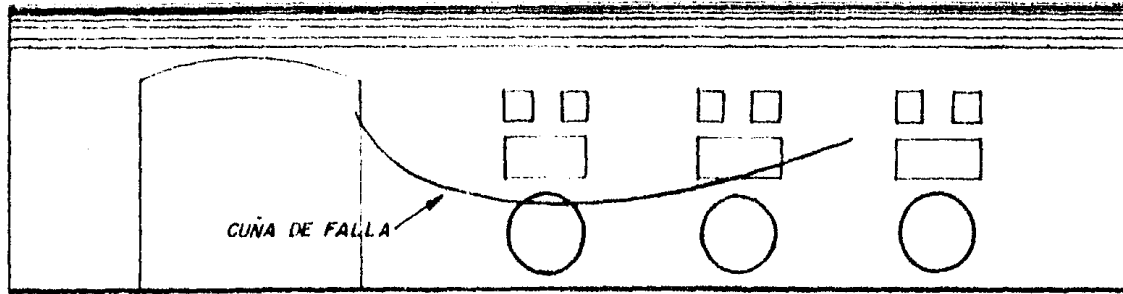


FIG. III. 4.1

**FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.**

**PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA**

1984

LOPEZ ARROYO

claje de soporte en la sala de tableros y en la falla del tímpano aguas arriba. Ya efectuado el anclaje, no se tenía plena confianza de su buen comportamiento, por lo que se decidió no seguir excavando y construir 2 nichos en la zona del tímpano Oeste de la Casa de Máquinas, como elementos definitivos para la solución del problema de excavación. Estos nichos se construyeron para sustituir el cárcamo de bombeo y turbina auxiliar que se tendrían que haber excavado en la sección afectada. Las anteriores modificaciones se muestran en la Fig. III.4.1.

### III.5) Consideraciones Generales de Construcción.

Establecer en caverna la Casa de Máquinas de un proyecto hidroeléctrico, es una decisión que se ve afectada por innumerables consideraciones de carácter constructivo para su buena realización. La estabilidad de esta estructura debe tener un alto grado de aceptabilidad, y por consiguiente, para lograrlo, se tienen que optimizar fases como la ubicación de la estructura, -- una adecuada consolidación del macizo rocoso y de los elementos de soporte, -- un inmejorable rendimiento en los trabajos de excavación, etc.

En lo que se refiere a la clasificación de las rocas de la zona proyecto, esta Casa de Máquinas del proyecto del Caracol se localiza en la primera unidad litológica, unidad que ya se mencionó en el capítulo No. II.

Cuando se definió la ubicación definitiva de la Casa de Máquinas, se llegó a la conclusión de que la localización topográfica se auxiliaría con los ejes de referencia del Túnel Auxiliar de Construcción No. 2 y que a partir de

éste se establecería el eje central de la misma.

Ya ubicada perfectamente esta estructura, se procede al análisis de las componentes mecánicas y comportamientos estructurales para poder especificar los trabajos de soporte que son necesarios antes de atacar el frente. Inicialmente este soporte es a base de inyecciones de consolidación, auxiliadas de buenos elementos de drenaje en la zona y, posteriormente, la acción se complementa con el anclaje de las formaciones geológicas.

Después de estos ajustes constructivos, se inicia la excavación y para ello se consideran una secuencia de acciones que principian con la realización de un túnel piloto central (primer elemento de ataque), más tarde se ejecutan las ampliaciones laterales y se finaliza con los banqueos. Estas tres acciones secuenciales establecieron los cadenamientos y niveles requeridos por la Casa de Máquinas del P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa.

En la optimización de las actividades constructivas de un proyecto, se debe estimar la ejecución de nichos y galerías de pequeñas dimensiones que cumplirán la función de suministro y extracción de aire, así como de elementos que establezcan el espacio de transporte necesario para los buses de conducción de la energía eléctrica generada. En la Fig. III.5.1 se muestra la forma como se ubicaron algunas de estas pequeñas adecuaciones.

Los elementos primarios de trabajo para la realización de los objetivos, son parte fundamental del buen desarrollo de la obra, y por tal se deberán manejar con las precauciones concernientes al caso.

# VENTILACION EN CASA DE MAQUINAS

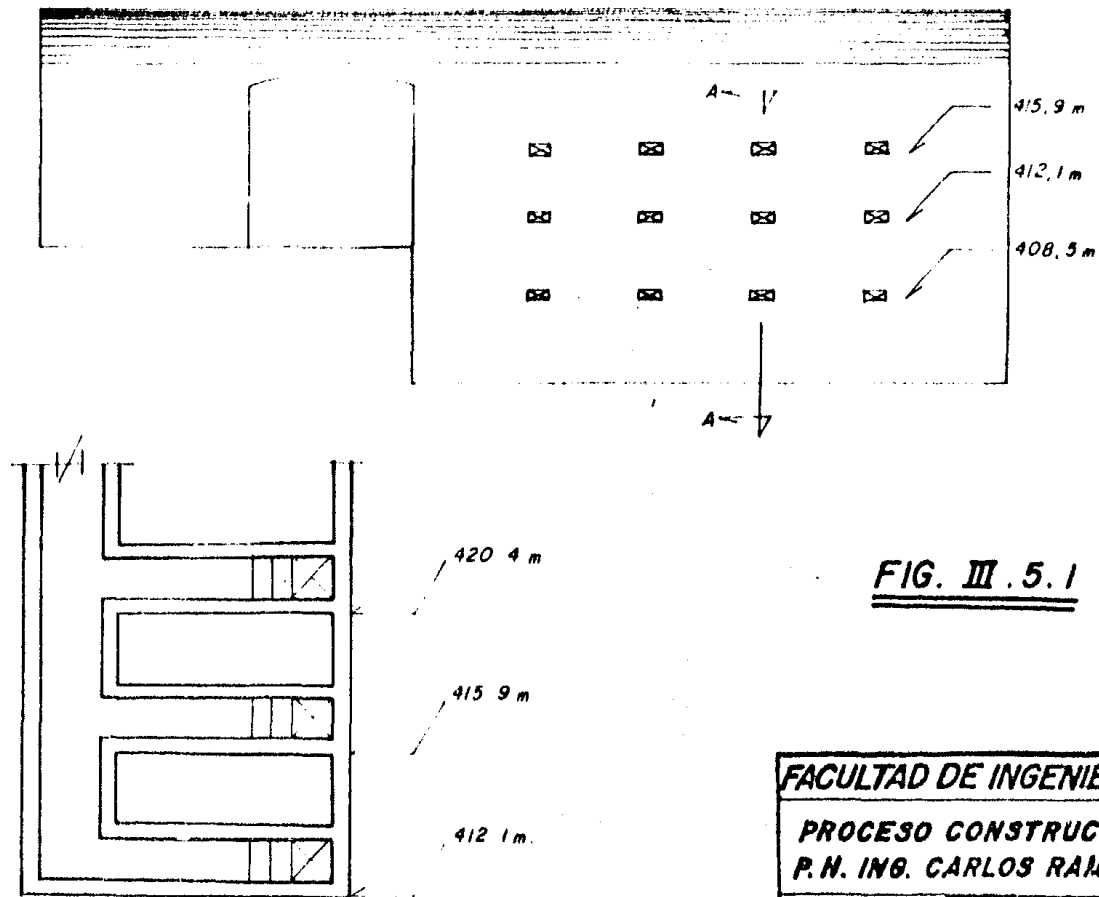


FIG. III.5.1

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

CORTE A-A

El agua de enfriamiento para los equipos de barrenación es uno de los elementos primarios principales de trabajo a que nos referimos, y el suministro de este requerimiento fue por medio de la conducción de agua desde un tanque colocado a la elevación 500 metros sobre nivel del mar. Esta conducción se efectuó mediante mangueras de 2 pulgadas de diámetro y llegó hasta el túnel No. 2, donde se ramificó para su utilización.

De los trabajos propios de excavación se tiene un desperdicio de agua de enfriamiento, independientemente de que como se trabaja subterráneamente, se tienen también una serie de infiltraciones. Esto hace que en el frente de trabajo se vaya acumulando agua que es perjudicial para el buen desarrollo de las actividades constructivas. Por este motivo se tienen que construir pequeños pozos receptores de agua de donde se pueda bombear la que se acumule; realizándose también pequeñas canalizaciones de conducción hacia estos pozos. Esta es una medida sencilla de prevención, pero cuando la actividad aumenta en un frente como el de una Casa de Máquinas, también crece el volumen de agua a bombear, por lo que será necesaria la adecuación de un cárcamo de bombeo que auxilie eficientemente en esta labor. Se sugiere situar este cárcamo de bombeo cerca de un túnel de acceso para la fácil exclusión del agua de la zona.

Elementos auxiliares de prevención que también se ponderan en los trabajos constructivos principalmente de excavación, son por ejemplo contar con un control adecuado de la contaminación en el túnel, y ésto se logra con una eficiente ventilación del lugar de trabajo. En este proyecto se hizo a base de extractores mecánicos que trabajaron por medio de un motor eléctrico.

co que desechaba polvo y aire viciado del túnel. También los portales de los túneles de excavación sirvieron como elementos de ventilación del área de trabajo.

Conforme se avanza en las excavaciones y de acuerdo a su envergadura, se deben colocar más tubos de ventilación adicionales a los ya existentes.

Respecto a la ventilación de la Casa de Máquinas de esta obra, en la Fig. III.5.1 tenemos un esquema que nos da una ligera idea de cómo quedaron distribuidos dichos elementos.

### III.6) Inyecciones.

Esta actividad preventiva tiene como objetivo consolidar e impermeabilizar la roca de la Casa de Máquinas, lo que genera una masa de roca con mejor consistencia geológica y mejor resistencia mecánica que impide la posible alteración por efectos de los trabajos de excavación. También se prevén acciones de drenaje con el objeto de eliminar presiones intersticiales e hidrostáticas sobre esta estructura. El drenaje de esta zona se caracteriza por el aumento en la dimensión de los barrenos y también mayor profundidad después del contacto con la roca.

La secuencia de realización de las inyecciones se inicia con el suministro de los materiales, equipo y personal necesarios para la ejecución de los barrenos componentes. Después se procede al lavado de los barrenos utili-

zando aire y agua a presión, siendo una actividad importante para que el desecho del material que se acumula durante la barrenación no altere el funcionamiento de la inyección. Ya lavado el barreno se instala la tuberfa por donde se conduce la revoltura, se toman las muestras requeridas para ensaye, y se realiza la inyección.

En la planta, la fabricación de la mezcla para inyección fue a base de materiales como el cemento tipo III proporcionado por la C.F.E., agua fresca y limpia en su totalidad, lodo bentonítico, que es un tipo de arcilla expansiva, y arena.

La dosificación y proceso de fabricación de las mezclas está asentada en la utilización de un recipiente graduado que permite determinar la cantidad exacta de agua a utilizar. Este recipiente tiene un agitador de baja velocidad para mezclar el agua con las cantidades de cemento, bentonita y arena que se requieran. El proceso exige que estas mezclas se trasladen a un turbomezclador de alta velocidad, de donde pasarán al agitador que tiene enlazadas una bomba que se utiliza sólo en la inyección de grandes cavidades a bajas presiones, y otra con capacidad de inyección variable. Independientemente se coloca una válvula de regulación de presión mediante un manómetro colocado en la tuberfa.

Para el control de calidad de las mezclas utilizadas para inyección en esta Casa de Máquinas, se efectuaron los siguientes ensayes:

Cono Marsh. -

La muestra utilizada para ensaye se vierte en el cono ya tapado, -

después se destapa y con un cronómetro se toma el tiempo en que se vacía totalmente. El tiempo que tarda se compara en unas tablas, y si se encuentra dentro del parámetro establecido se acepta o no la muestra. El volumen que se utiliza es de 1.0 a 1.5 litros.

#### Densidad. -

Con la ayuda del densímetro, que pesa el volumen que se vacía en un molde en el que previamente es fijada su capacidad, se establece la densidad (peso entre volumen) que tiene la mezcla.

#### Sedimentación. -

En un tubo de ensaye graduado se vierte la mezcla que se analiza, se deja reposar, y en un determinado lapso se observa la decantación (revolver un líquido sin que se alteren los sólidos), se refiere a unas tablas y se compara con los rangos permitidos para definir su aceptación.

En la zona de la bóveda, se efectuó el proceso de inyección con la finalidad de tener un adecuado contacto del concreto con la roca, pues siempre quedarán oquedades indeseables al realizarse el colado de esta sección. La forma como se realizó la inyección fue colar inicialmente la bóveda dejando ahogados unos conductos guía de 20 centímetros en la roca, mediante perforaciones con un diámetro de 2 1/4 de pulgada y se distribuyeron en forma radial con una separación de barrenos de 3.5 metros a cada 3 metros.

La presión de inyección en la bóveda fue de  $0.5 \text{ Kg/cm}^2$  y la mezcla para la inyección contenía 66 litros de agua, 50 kilogramos de cemento y -- 750 gramos de aditivo expansor.



En la inyección de consolidación se utilizaron los mismos tipos de barrenos que en las inyecciones de contacto, con la diferencia de que en la consolidación se llegó hasta una profundidad de 6 metros después de haber hecho contacto con la roca. En la inyección de consolidación, después del lavado de los barrenos, se inyectó la mezcla a una presión de  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  y contenía 59 litros de agua, 50 kilogramos de cemento y 25 litros de lodo bentonítico.

### III.7) Procedimiento de Excavación.

Los trabajos de excavación de la Casa de Máquinas del proyecto del Caracol, llevan la finalidad de cumplir el establecimiento de esta estructura con las siguientes dimensiones:

113 metros de longitud

23 metros de ancho en la bóveda

46 metros de altura máxima.

Estos trabajos se efectuaron, geológicamente hablando, en una unidad litológica con roca de buena calidad y red de fracturación poco alterada. Aún así, se requirió la colocación de soportes en bóveda y muros para tener mejor estabilidad del macizo rocoso en los trabajos de excavación, dado que fueron a base de perforaciones y uso de explosivos.

El procedimiento constructivo de excavación para la formación de las secciones de la Casa de Máquinas de este proyecto, estuvo guiado por la fabricación de un túnel piloto central, del cual se siguieron las ampliaciones la-

terales y se finalizó con el banqueo. Después de quedar conformada la sección, se hizo un tratamiento de soporte para estabilizarla.

A continuación se explicarán cada una de estas fases en la excavación de la estructura en cuestión:

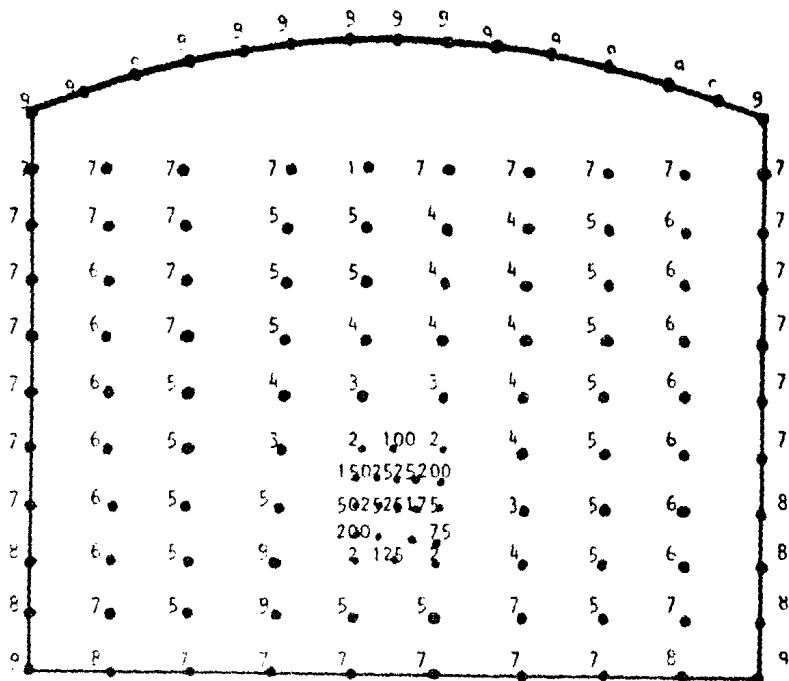
El túnel piloto central se atacó por el Túnel Auxiliar de Construcción No. 2, es decir, a partir de este túnel se iniciaron las excavaciones propias para la conformación de toda la Casa de Máquinas. Inicialmente se adecuó el acceso a la excavación ensanchando la sección del túnel No. 2, aumentando su profundidad y paredes laterales con el objeto de que el Jumbo utilizado en la perforación de barrenos tuviera mejor maniobrabilidad por sus considerables dimensiones.

El ciclo de excavación de esta fase fue iniciado con la utilización de aparatos topográficos para la marca de la localización de cada barreno siguiendo las indicaciones de las plantillas (Fig. III. 7.1). Las dimensiones generales de estos barrenos fueron de 2 pulgadas de diámetro y 3 metros de longitud.

Después de efectuada la barrenación se retira el equipo utilizado, se carga nuevamente cada barreno, se ejecuta la nueva detonación y se finaliza con la rezaga de material y ventilación del frente.

El diseño de una voladura para túnel piloto está en función de la formación de una cuña de barrenación, siendo posible al quemar (sin carga) 4 barrenos centrales colocados paralelamente y cuya finalidad es abrir el frente del

FIG. III .7.1



BARRENACION. INICIO. \_\_\_\_\_ TERMINO \_\_\_\_\_ BARR.LADO. TUNEL PILOTO

BARRENACION. CON JUNCO \_\_\_\_\_

PROFUNDIDAD Y/O DE BARRENO. 3m y 2" ø

TOTAL DE BARRENOS HECHOS. 128

TOTAL BOMBILLOS "TOVEX" 8 CAJAS DE 25 kgs.

TOTAL KGS. "SUPER (MEXAMOND) 4BULTOS

HORA DE LA TRONADA \_\_\_\_\_

NUMERO DE LA TRONADA \_\_\_\_\_

AVANCE. \_\_\_\_\_

ESTOPIN No.	CANTIDAD
2-25	4-4
3-50	6-1
4-75	11-1
5-100	20-1
6-125	13-1
7-150	33-1
1-175	6-1
9-280	19-2

INSPECTOR C.F.E. \_\_\_\_\_

FRENTE. TUNEL PILOTO \_\_\_\_\_

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.M. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

túnel para que el material que se detona tenga espacio de salida. La detonación se hace mediante un circuito eléctrico, poniendo más explosivo en el centro de la plantilla y disminuyendo hacia su exterior.

Como ejemplo, se presenta la forma como fue estimado el coeficiente de barrenación de una plantilla para túnel piloto con los siguientes datos:

128 barrenos en plantilla

3 metros de profundidad

427 metros cúbicos de volumen extraído.

$$\text{Coeficiente de barrenación} = \frac{128 \times 3}{427} = 0,89 \text{ m/m}^3.$$

El ataque del túnel piloto fue a sección completa, pero en 2 frentes (derecho e izquierdo) y las voladuras se hicieron en 2 secciones (Fig. III.7.2), por no contar con espacio para efectuar principalmente la rezaga.

Como en todos los casos, la detonación se efectúa quemando primero el estopín de menor numeración, hasta llegar al que tenga la mayor.

Posteriormente a la conclusión del túnel piloto central, se comenzó el ataque de las ampliaciones laterales (Fig. III.7.3), o sea que ésta se realizó en cuatro frentes con clasificación derecha e izquierda. Como quedaron establecidos cuatro frentes de ataque a sección completa, se precisó la adecuación de un ciclo de excavación para que trabajaran secuencialmente, pues cuando en uno se iniciaba el trazo, barrenación o colocación de explosivos, en otro se detona-

# TUNEL PILOTO

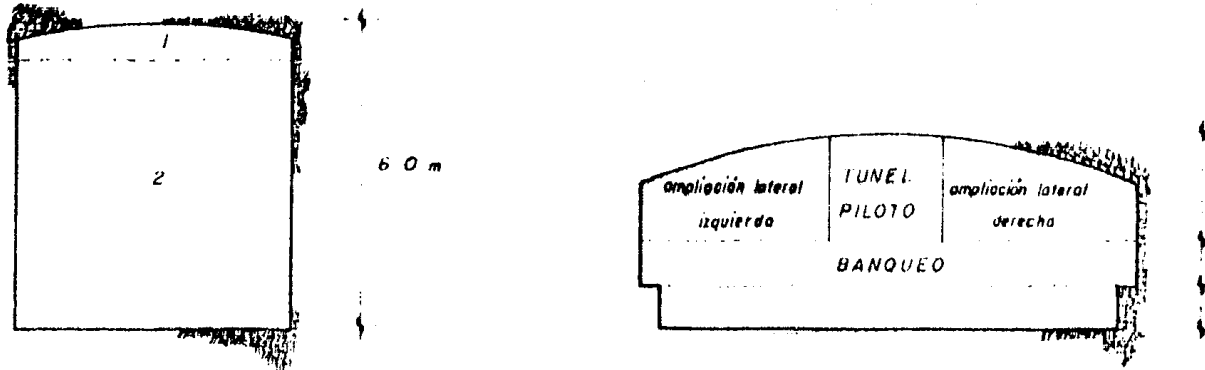


FIG. III. 7. 2

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

## AMPLIACIONES LATERALES

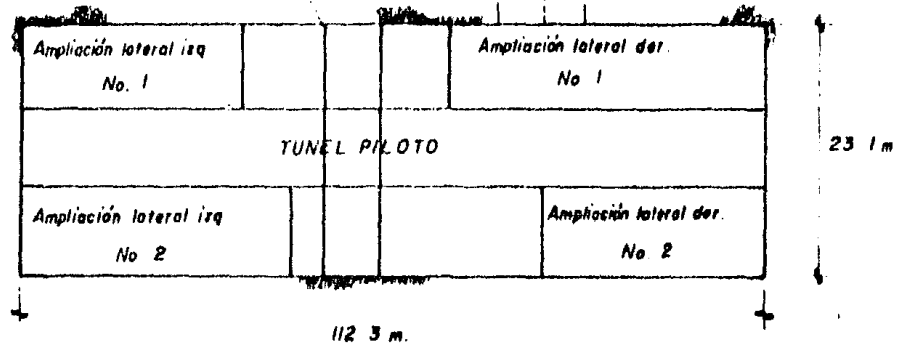


FIG. III. 7.3

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

ba o rezagaba.

En esta segunda fase se trabajó más rápido porque se tuvo más espacio libre, aprovechando ésto principalmente para efectuar los trabajos de rezagado.

En las ampliaciones no se trató de formar una cuña en la detonación, pues se tenía más espacio para que el material detonado saliera impulsado hacia el exterior.

El coeficiente de barrenación para las ampliaciones laterales fue estimado con los siguientes datos:

82 barrenos en plantilla

3 metros de profundidad

350 metros cúbicos de volumen extraído.

$$\text{Coeficiente de barrenación} = \frac{82 \times 3}{350} = 0.70 \text{ m/m}^3.$$

La actividad subsecuente a las ampliaciones laterales fue la excavación en forma de banqueo, se inició en el acceso por el túnel No. 2 y se caracterizó por un precorte perimetral con barrenación vertical. De tal forma que al detonarse el material, éste sufre una especie de volteo, derrumbándose al frente del móvil de barrenación.

Este tipo de barrenación permite el establecimiento de los niveles verticales de la Casa de Máquinas y en la Fig. III.7.4 se muestra una barrenación tipo.

Las anclas utilizadas para el soporte de esta estructura fueron de 8 metros de longitud, 1 pulgada de diámetro a cada 1.25 metros de separación en sentido del eje de la Casa de Máquinas y se colocaron en forma radial.

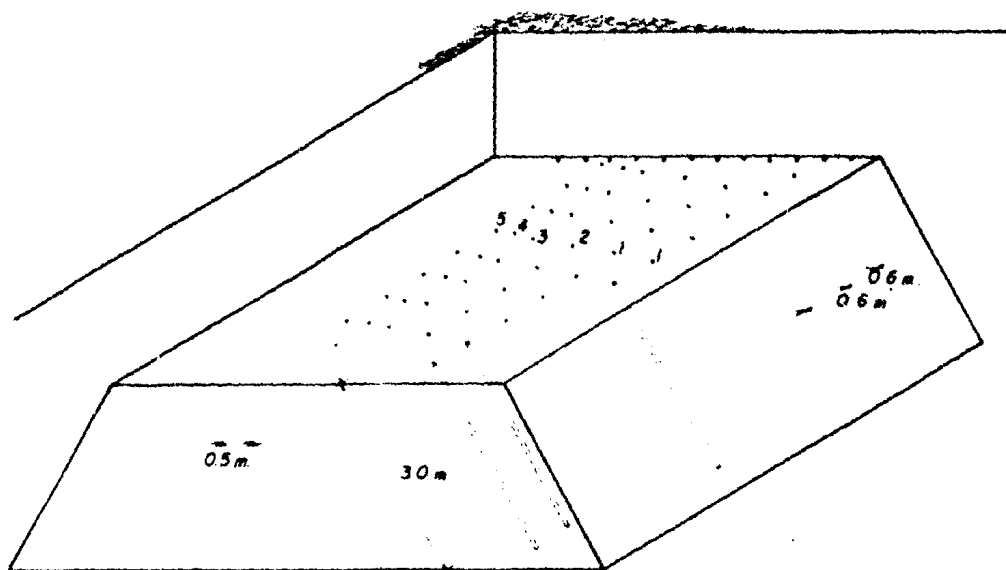
De los requisitos en la colocación de los elementos de soporte podemos mencionar los siguientes:

Para poder efectuar el tensado de las anclas a no menos de 10 toneladas, se colocó resina en el final de cada barreno y cuando se introdujeron las anclas en cada uno de ellos, se hacía rotándolas para que se batieran bien los bombillos de resina. Posteriormente a la colocación, se inyectaba la lechada constituida por 50 kilogramos de cemento, 26 kilogramos de arena, 28 litros de agua, 2 litros de aditivo expansor y estos elementos generaron una resistencia de  $80 \text{ kg/cm}^2$ . Para las paredes de excavación de aguas arriba y abajo se usaron anclas de 9.0 metros de longitud y para los tímpanos de 6.0 metros. Esto se ilustra en la Fig. III.7.5.

Anteriormente hablamos de unas modificaciones por efectos del dique geológico No. 4, es decir, en el establecimiento de los nichos de la turbina auxiliar y cárcamo de bombeo. Pues bien, el procedimiento constructivo de soporte de estos elementos, fue el anclaje de las paredes adyacentes y del macizo rocoso situado entre ellos, y las anclas que se usaron fueron de 1 1/2 pul-



## BARRENACION TIPO BANQUEO



\* Los números indican el No de estopín.

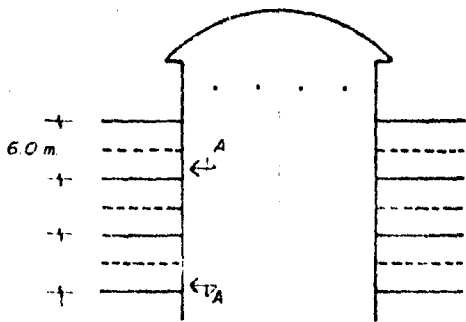
FIG. III. 7. 4

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM

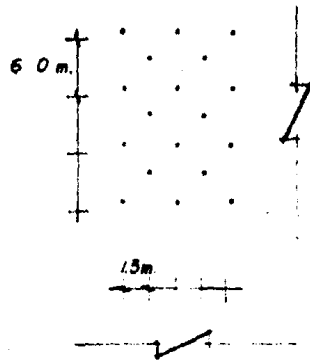
PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

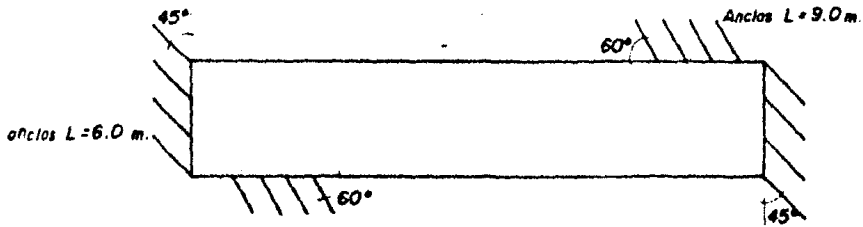
LOPEZ ARROYO



ANCLAS HORIZONTALES DE 1"Ø



CORTE A-A



PLANTA

FIG. III.7.5

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. INB. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO



TRACK DRILL BARRENANDO UN TRASCAVO Y  
DOS SCOOP-TRAM PARA LA REZAGA.

gadas de diámetro, longitud de 12 metros ascendente y 45 grados de inclinación con gancho. Esto se muestra en la Fig. III.7.6.

### III.8) Concreto en Casa de Máquinas.

La utilización de materiales para la fabricación de concretos que se utilizan en este tipo de obras, está basada en una serie de normas y especificaciones que se deberán seguir para ello. Por ejemplo, el cemento utilizado en este proyecto es proporcionado por la C.F.E. Con ésto la Comisión se exime de responsabilidad sobre este elemento, pero por norma deberá cuidar que el cemento se almacene en silos propiedad de los contratistas, los cuales también por especificación, tendrán que ser limpiados cada seis meses. Independientemente, todo cemento que se almacene tres meses o más tiempo, no podrá utilizarse a menos que se vuelvan a ensayar sus propiedades básicas.

En las estructuras de esta Planta Hidroeléctrica generalmente se usa cemento Portland tipo II, de bajo contenido de álcalis (0.60% máximo) conforme requisitos de especificación del ASTM C150 (American Society for Testing and Materials). Para obras provisionales o de segunda importancia se emplea cemento Portland tipo I.

El agua utilizada en todas las mezclas que se fabriquen debe ser de buena calidad, excenta de aceites, materia orgánica, ácidos, sales, etc, debiendo verificar la Comisión su calidad.

Los aditivos más comunmente utilizados, dependiendo de las circunstancias de uso, son :

SOPORTE NICHOS AUXILIARES

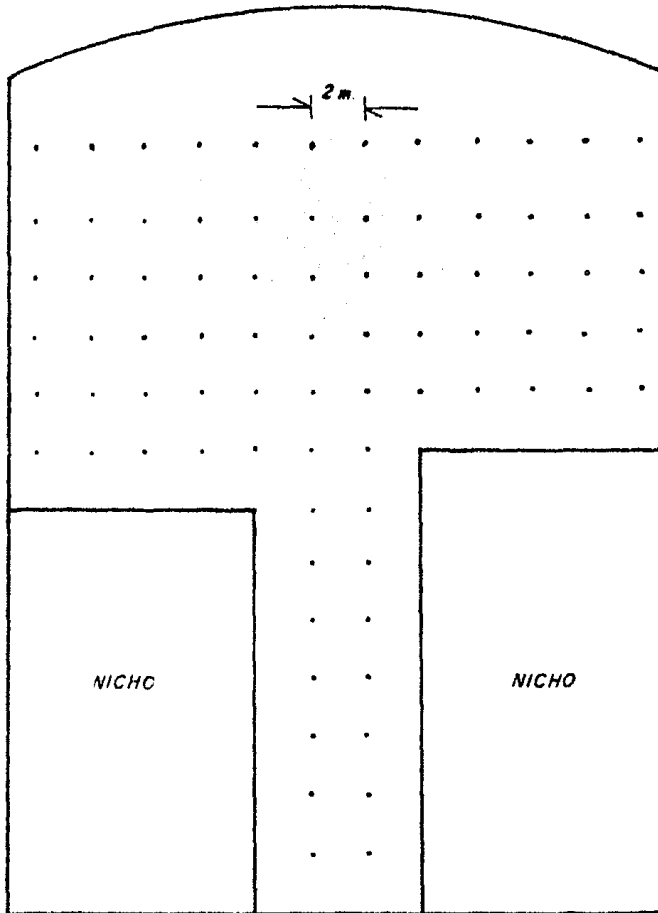


FIG. III 7.6

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

- a) reductor de agua y retardante de fraguado
- b) reductor de agua y acelerador de resistencia
- c) superfluidizante
- d) agente inclusor de aire
- e) estabilizador de volumen o expansor.

Estos aditivos también los suministra la C.F.E., asimismo debe efectuar la verificación de su calidad, siendo necesario que el contratista disponga de bodegas para almacenarlos.

Los agregados necesarios para la fabricación de mezclas son suministrados por los contratistas y para la producción se prepara un programa de explotación, clasificación y lavado para después apilarlo, trasladarlo para cribado y almacenarlo finalmente.

Las características y requisitos que tienen que cumplir los concretos están en función de las especificaciones de diseño. Los materiales utilizados deben satisfacer las necesidades de calidad requeridas en proyecto, para así poder fabricar las mezclas que serán responsabilidad del contratista. Los criterios para el diseño se fundamentan en las normas establecidas por el ACI (American Concrete Institute). Las especificaciones y los requisitos que deben cumplir son por ejemplo en la observación de lo siguiente:

tamaño máximo de agregados

granulometría

relación agua-cemento

contenido de arena

consistencia

revenimiento

empleo de aditivos

aire incluido

Los criterios de rechazo y aceptación de revenimientos que gobiernan en esta obra, son que las mezclas que se exedan del límite superior, o no lleguen a éste, no se permita al contratista ajustar el agua de la revolutura para modificar su consistencia. En general se tiene que verificar:

revenimiento

temperatura

contenido de aire

tiempo de fraguado

análisis de concreto fresco

resistencia acelerada

resistencia normal.

Las especificaciones sugieren el establecimiento de una planta de producción de concreto, cuidando la capacidad del equipo, distribución de tolvas y silos de almacenamiento. el equipo de dosificación, básculas, abastecedora de agua, cemento, agregados y aditivos. También cuidar el registro de datos, planta de hielo por las altas temperaturas, equipo de mezclado y protección de equipo.

El transporte y colocación del concreto es responsabilidad del contratista y la Comisión sólo interviene en la inspección y supervisión con fines únicamente de aprobación o rechazo de los trabajos de cimbrado, habilitación de formas adecuadas, buenas preparaciones, limpieza y constatar que cimbrado y descimbrado se efectúen en forma conveniente. Asimismo - deberán comprobarse líneas, niveles y dimensiones conforme a los planos de especificación, sin dejar de estimar las tolerancias permitidas en ellos.

El acero de refuerzo debe revisarse para que cumpla con lo indicado en planos y especificaciones en cuanto a colocación, diámetro, grado de dureza, traslapes, etc.

Tiene que verificarse la capacidad de producir concreto con los volúmenes requeridos, calidad, proporcionamiento correspondiente y que su transporte se efectúe con equipo adecuado. Respecto a la colocación, se vigila dar la compactación y homogeneidad requerida, cuidar la segregación por la forma y equipo de colocación, los vibradores que sean del tipo necesario y cuidar la repartición de modo que no se produzcan juntas frías en la estructura. Siempre se deben checar e inspeccionar los elementos ahogados de manera que siempre cumplan con su cometido. Las juntas tendrán que verificarse cuidadosamente, ya sean de construcción, expansión o contracción en cuanto a su posición, geometría, preparación, limpieza y procedimiento de colocación.

Durante el colado el personal de supervisión debe permanecer atento a todos los aspectos del proceso a fin de evitar errores u omisiones.



En el sitio de colado se verifica lo siguiente:

- Que se cumpla el revenimiento.
- Nota de remisión del concreto.
- Vigilar que no ocurra segregación.
- Tomar una muestra representativa.
- Manera de colocación.
- Registros minuciosos del colado.

Las inspecciones que se hace posteriormente son:

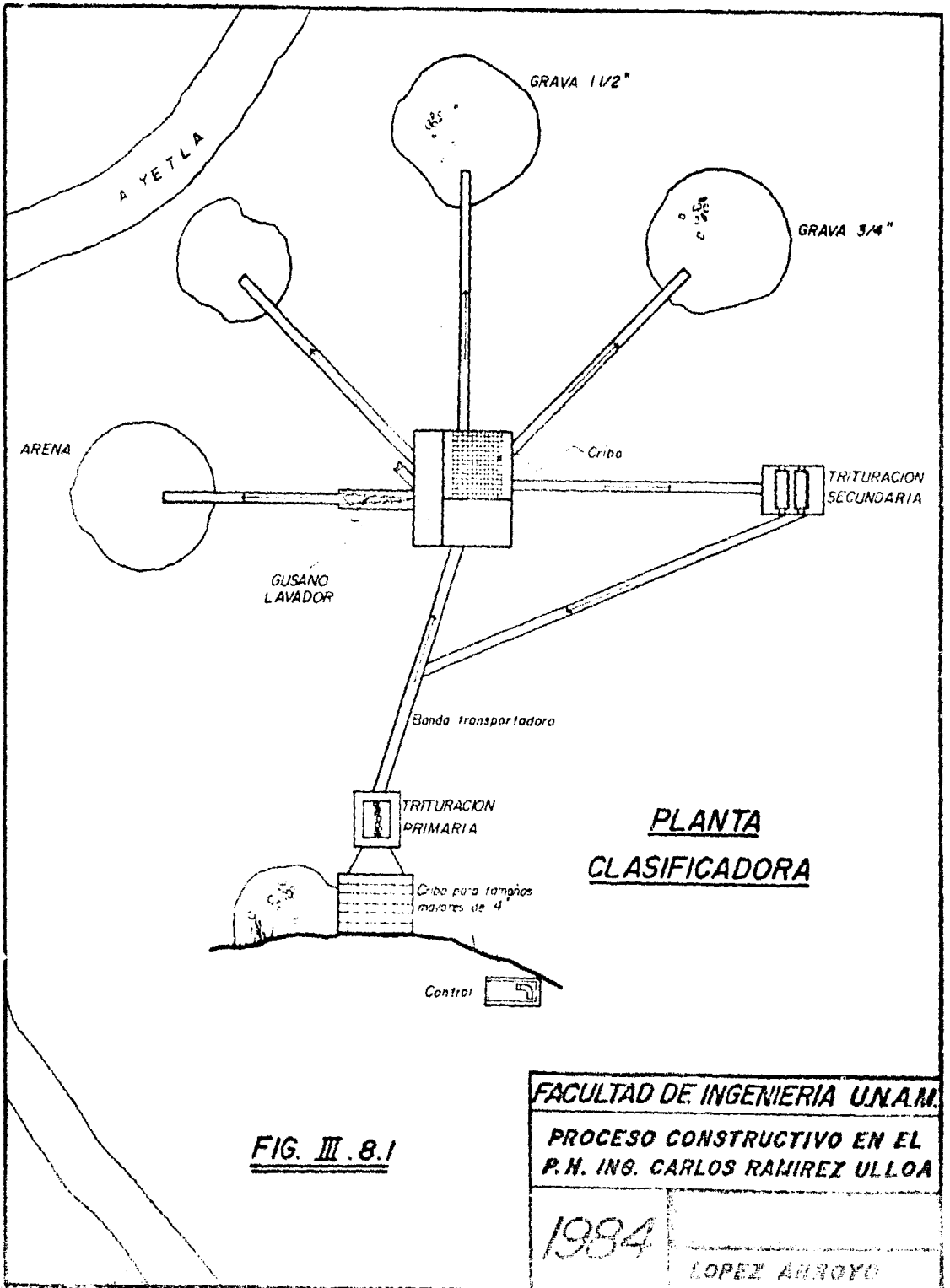
- Tratamiento cuando se utilice como junta.
- Remoción de cimbras con herramienta adecuada que no perjudique la estructura.
- Hacer el curado con el método aprobado.
- Las líneas, niveles y dimensiones tendrán que estar intactas después del colado.
- Defectos de construcción al retirar principalmente cimbras.

Hasta aquí la generalización y comentario de las normas y especificaciones de todo lo relacionado con los concretos de la Casa de Máquinas de esta Planta Hidroeléctrica. Enseguida mencionaremos someramente el proceso de fabricación de las mezclas utilizadas para estas estructuras:

Primero, la acción inicial de este proceso es la clasificación y definición de los bancos de materiales que sirven de abastecedores de agregados como materia prima para la fabricación de concretos. En el frente que esta-

mos tratando, se utilizó material de un playón que quedó seco con el cierre del cauce del río, se encuentra ubicado en la margen izquierda y se consideró de suficiente calidad para estos trabajos, aunque está situado a una distancia de 5 kilómetros de la planta de dosificación de mezclas.

La granulometría de esta zona es muy variada, aparte de los efectos que produce el estatismo de la draga Linden, pues sólo extrajo el material que tenía a su alcance y ésto hizo que se obtuvieran diferentes tipos de granulometría. Para corregir este contratiempo se depositó el material lo más extendido posible para poder tener buenas mezclas. Por último, este material fue conducido a la planta clasificadora en camiones de volteo de  $6 \text{ m}^3$  de capacidad que fueron llenados mediante un cargador frontal. Cuando llegaban a la planta dosificadora se vaciaba el material en una malla de alimentación de 10 centímetros de ancho de abertura. El material que pasó las aberturas de la malla, fue conducido a una trituradora primaria de quijadas que cumplió con el requisito de especificación para dar forma adecuada a las partículas producto, ya que se pretendía que fueran lo más proporcionales posible y con otro tipo de trituradora no se lograría. Posteriormente este material se condujo a 3 cribas vibratorias que clasificaban en arena, grava tipo I (entre las mallas No. 4 y  $3/4$  de pulgada) y grava tipo II (entre la  $3/4$  y  $1 \ 1/2$  de pulgadas). Se pretendía eliminar las partículas finas y se hizo mediante una rigurosa operación de lavado, independientemente de que la arena se volvió a lavar por medio de un gusano sinfín que eliminó las partículas con espesor inferior a 75 micras. Las gravas que fueron de dimensión más grande que  $1 \ 1/2$  pulgadas, se reciclaron por medio de una trituradora secundaria de rodillos. La planta clasificadora se muestra en la Fig. III. 8. 1.



**FIG. III. 8.1**

<b>FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.</b>	
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL</b>	
<b>P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA</b>	
<b>1984</b>	<b>LOPEZ ALEROYO</b>



**NICHOS PARA EL CARCAMO DE BOMBEO Y TURBINA AUXILIAR.**

La fabricación de los concretos se hizo en una planta dosificadora ubicada junto a la de clasificación. La conducción de los materiales fue por medio de tolvas alimentadoras que clasificaban y almacenaban los materiales en 3 silos para cada uno de los tipos mencionados en el párrafo anterior. Estos silos o tolvas de almacenamiento estaban equipados con básculas y compuertas inferiores que descargaban la proporción necesaria a una transportadora de banda común sobre la cual se vació también el cemento, pero éste mediante sacos de 50 kilogramos. La banda transportadora común vaciaba los materiales a las ollas revoledoras de 5 metros cúbicos de capacidad de transporte y ahí mismo se proporcionaba el agua necesaria (Fig. III.8.2). El rendimiento de esta pequeña planta era del orden de los  $15 \text{ m}^3/\text{hora}$ , cantidad suficiente para los requerimientos de trabajo de la Casa de Máquinas.

La colocación del concreto es un proceso en el que tiene que haber una preparación inicial para ejecutarla. Se inicia con el habilitado, corte y doblado de acero de refuerzo, colocación de cimbra, limpieza de la roca mediante agua y aire a presión, que se usa también para los vibradores, y se concluye con el colado.

Las cimbras utilizadas para la trabe carril y muros fue prefabricada y se constituía por placas formadas de ángulos de acero estructural de 2 pulgadas y triplay de  $7/8$  de pulgada de espesor. Esta cimbra modular se unía mediante ganchos que se introducen en las perforaciones para la fusión de las placas del ángulo y se muestra en la Fig. III.8.3. El apuntalamiento de la cimbra se realizó con tubos telescópicos y polines de 4 X 4 pulgadas (Fig. III.8.4).

# PLANTA CLASIFICADORA

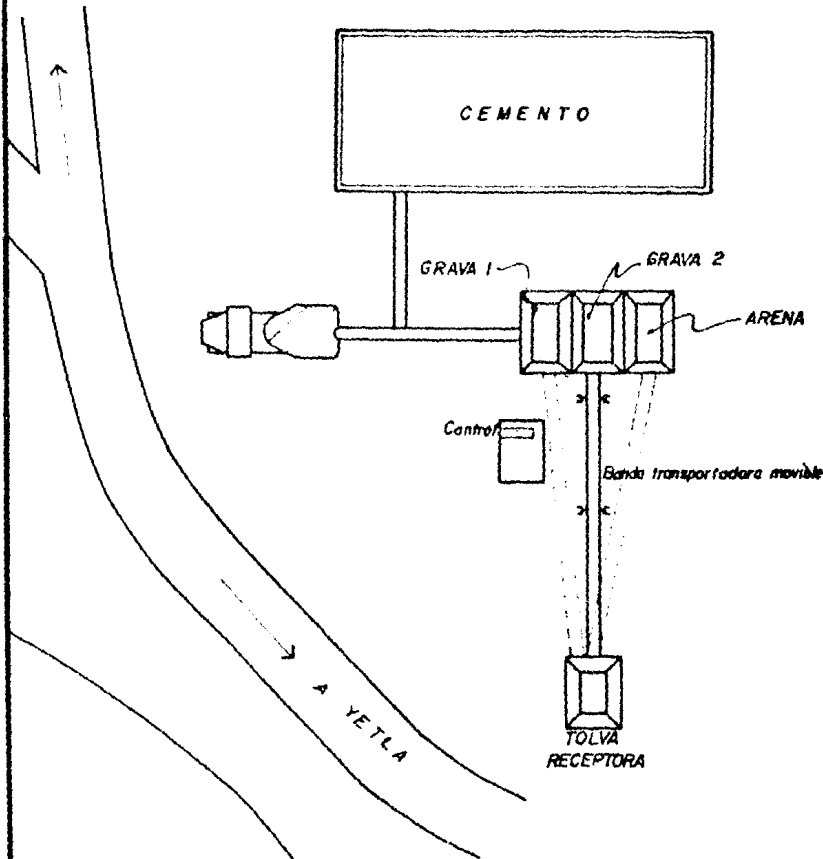


FIG. III.8.2

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

## CIMBRA MODULAR

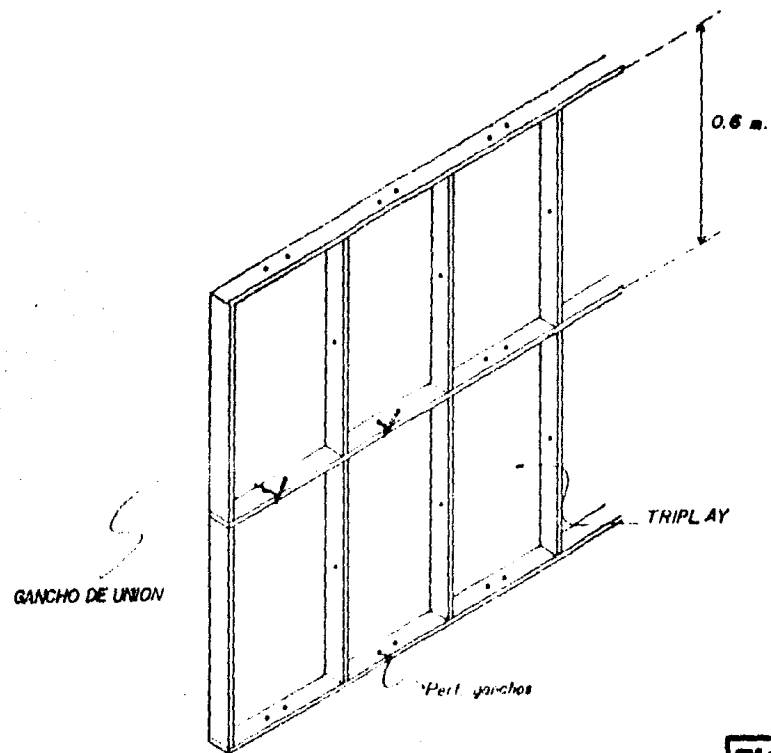


FIG. III.8.3

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

# APUNTALAMIENTO

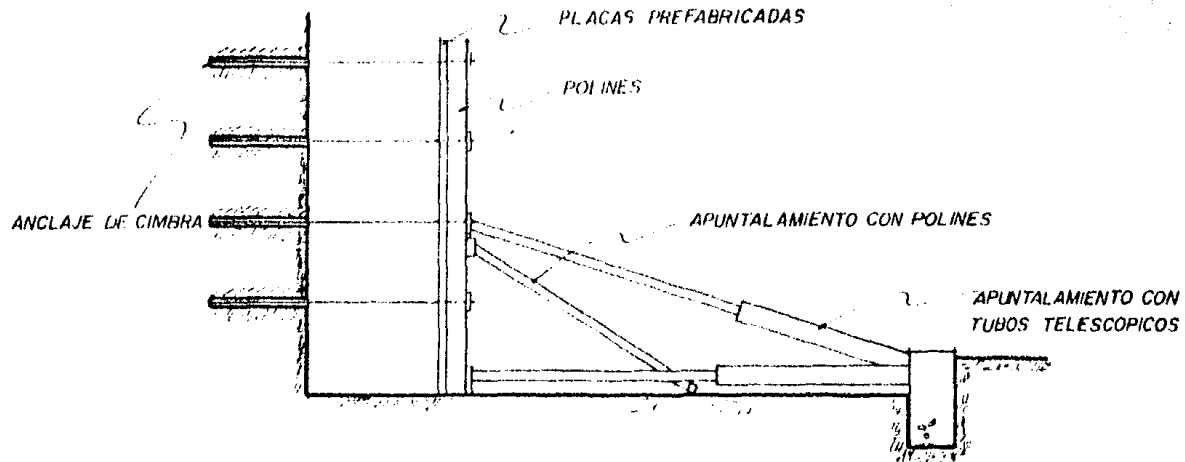


FIG. III. 8. 4

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P. N. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO



La cimbra que se utilizó en la bóveda de la Casa de Máquinas fue una estructura metálica prefabricada deslizante (Fig. III.8.5). Para que el deslizamiento de la cimbra fuera uniforme, se colocaron rieles donde corrían las ruedas de la estructura y ésta fue empujada por una motoconformadora o un buldozer.

Ya colocada la cimbra se verifica por medios topográficos que esté perfectamente alineada en todos sus puntos y este alineamiento se apoya en el conocimiento de cotas de mojoneras establecidas en la cercanía de la cimbra. Después de lubricar la cimbra, se comienza el colado de la estructura. En la trabe carril, que es donde se transportará una grúa viajera para el auxilio en la colocación de los mecanismos electromecánicos, se hizo el colado mediante bombeo y en la bóveda también, pero ahí se hizo una instalación especial de tubería que trabajó con la secuencia mostrada en la Fig. III.8.6. Obviamente se realizó el vibrado necesario y acabando el colado, se curó con membranas de curacreto.

El control de calidad del concreto utilizado se hizo mediante pruebas que ya se mencionaron al principio de este inciso, pero sin pasar por alto que los ensayos de compresión simple se efectuaron a los 7 y 28 días.

En realidad lo más importante para que se tenga una realización óptima, es contar con una adecuada supervisión en el momento de la realización de los elementos, y que también esté fundamentada en las especificaciones que se fijan antes de la ejecución de todo proyecto.

# CIMBRA DESLIZANTE .-

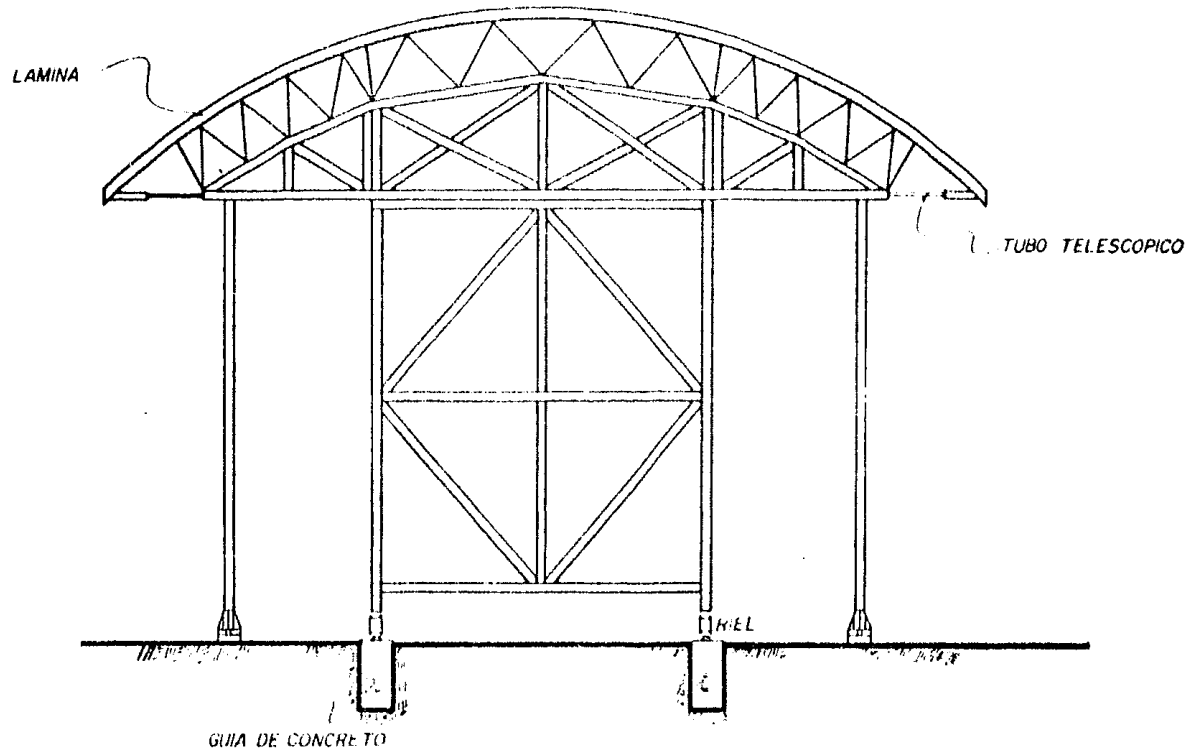


FIG. III. 8.5

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P. H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

SECUENCIA DE COLOCACION DEL  
CONCRETO EN LA BOVEDA .-

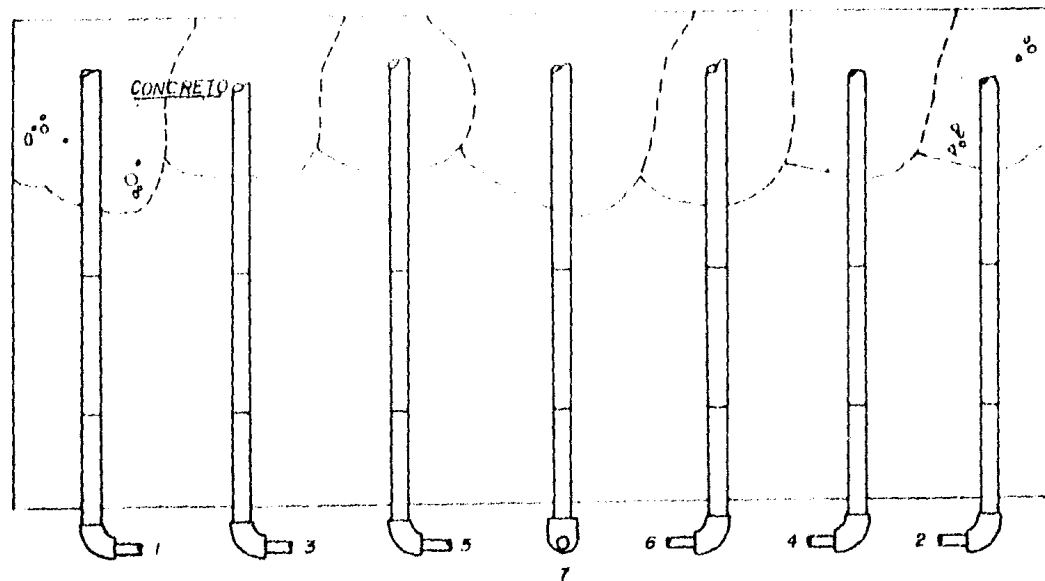


FIG. III.8.6

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

1984

LOPEZ ARROYO

### III.9) Equipo.

La utilización de equipo subterráneo especial es muy importante para la optimización de rendimientos en la construcción de estructuras con condiciones geológicas desfavorables, ya que aunque se deben buscar las adecuaciones posibles de acuerdo a la existencia del equipo, en este tipo de procesos constructivos es difícil hacer versátil su aplicación. Es definitivamente, más rigurosa su utilización.

El ataque a base de perforadoras de pequeña y gran capacidad es en función del espacio para maniobras, y de las posibilidades en el uso de explosivos que conformen las secciones proyectadas de la Casa de Máquinas de cualquier proyecto con condiciones de roca como las del P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa.

En el ataque del frente de la Planta Hidroeléctrica se combinó la utilización del equipo con el fin de formar las plantillas de barrenación en el menor tiempo posible, y para poder atacar las siguientes plantillas con más rapidez y frecuencia.

Los equipos de perforación son herramientas que en todo proyecto de este tipo tienen que manejarse de una manera adecuada para cumplir con los requisitos de avance de obra, y también para obtener buena calidad en los trabajos que se efectúen, por esto se deben buscar rendimientos aceptables que permitan un avance lo más semejante posible con lo especificado en la programación. En síntesis, este equipo especializado lleva un papel importante en -

los trabajos de construcción. En este trabajo sólo se menciona el que se utiliza en las actividades principales de ataque y ejecución del proyecto del Caracol.

Dentro del equipo que se usó para la inyección de la roca de la Casa de Máquinas de este proyecto, podemos citar la utilización de perforadoras (track-drill) de 2 1/4 de pulgada que sirvieron en la realización de barrenos para la inyección de consolidación. Las mezclas utilizadas en las inyecciones se prepararon en un mezclador de 60 revoluciones por minuto, para lo que se colocó tubería de conexión con medidores de gasto, manómetros y obturadores que hacían posible el uso de las bombas para inyección.

En las actividades de excavación, se empleó equipo con características singulares que posibilitó su ejecución y cuando se hizo el túnel piloto, ampliaciones laterales y banqueo, se utilizó el siguiente equipo para el ataque:

1) 5 compresores eléctricos de 600 pies cúbicos por minuto de capacidad y una presión manométrica de 100 lb/plg<sup>2</sup>. Estos se encargaron de suministrar aire al equipo de perforación.

2) 1 compresor diesel de 600 pies cúbicos por minuto de capacidad y fue el que adicionalmente suministró aire al equipo de perforación.

El consumo total de aire en todo el frente fue de 2800 pies cúbicos por minuto.

3) Jumbo de 4 brazos para las barrenaciones. El consumo de aire que tuvo fue de 2000 pies cúbicos por minuto.

4) Track-Drill para barrenación y también auxiliar en la colocación de anclas. Este equipo tuvo un consumo de aire de 500 pies cúbicos por minuto.

- 5) Pistola de piso usada para perforación y precorte, con un consumo de aire de 150 pies cúbicos por minuto.
- 6) Pistola de pierna utilizada para la perforación, con un consumo de aire de 150 pies cúbicos por minuto.
- 7) Traxcavo que se encargaba de cargar los camiones de volteo.
- 8) Scoop-Tram, utilizado en el acarreo de la rezaga.
- 9) Camiones de volteo de 6 metros cúbicos de capacidad para el retiro de la rezaga.
- 10) Bomba para la colocación de concreto equipada de una pluma - conductora del mismo.
- 11) Vibradores accionados por compresores que con su utilización permiten eliminar los vacíos del concreto antes de fraguar.

### III.10) Aspectos Sobre el Avance de Obra.

Partiendo del análisis del programa general de construcción de la Planta Hidroeléctrica del P. H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa (programa de concurso), podemos hacer varias conclusiones respecto a la programación inicial y la consideración de una serie de factores que fueron alterando ésta.

Primero, de la duración que se fijó en este programa (3 años), se puede concluir que muy probablemente se estableció en base a los estudios de anteproyecto, puesto que no se efectuó de la forma planeada y se estableció antes de generalizar los estudios de todas las condiciones económicas, de asignación, geológicas, disponibilidad de mano de obra y equipo, etc.



**PLANTA CLASIFICADORA.**

Definitivamente como se mencionó en incisos anteriores, para la elaboración de este programa no se contó con todos los problemas que se presentaron y que hicieron de esta residencia de Casa de Máquinas la que - tal vez tuvo mayores dificultades constructivas para su ejecución, originando por ésto constantes modificaciones al programa y también haciéndolo totalmente incompatible con el real, o mejor dicho, con el más actual.

Como este frente estuvo caracterizado por diversas formas - de ataque en la realización de los trabajos de excavación, creemos conveniente presentar a manera de ejemplo, un ciclo de excavación tipo de una -- plantilla para la realización del túnel piloto, y hacer la aclaración de que -- los tiempos que se tomaron en cuenta para el análisis son tiempos promedio. Este ciclo está enumerado de acuerdo a la evolución de actividades consecutivas que definieron la conclusión del ataque en un frente con estas características:

a) De acuerdo a una plantilla tipo se manejaron para la barrenación los siguientes datos con el fin de fijar el tiempo de esta actividad:

95 barrenos

3 metros de longitud de cada barreno

5 minutos de ejecución de cada uno de ellos

4 unidades perforadoras

$$\text{tiempo de barrenación} = 24 \times \frac{5}{60} = \underline{\underline{2 \text{ horas.}}}$$

b) La carga de explosivos para los mismos datos se analizó en una forma similar y se fijó el tiempo de carga así:



95 barrenos

5 minutos en cargar cada barreno

4 trabajadores como pobladores de explosivo

$$\text{tiempo total de carga} = \frac{95 \times 5}{4 \times 60} = \underline{\underline{2 \text{ horas.}}}$$

c) El retiro del equipo duró 25 minutos:

$$\frac{25}{60} = \underline{\underline{0.42 \text{ hora.}}}$$

d) La conexión y tronada de esta plantilla se ejecutó en 10 minutos:

$$\frac{10}{60} = \underline{\underline{0.17 \text{ hora.}}}$$

e) La ventilación que se efectuó en este frente fue del orden de los 60 minutos para cada tronada:

$$\frac{60}{60} = \underline{\underline{1 \text{ hora.}}}$$

f) Para la rezaga del material de desecho se manejaron los siguientes datos con la finalidad de fijar, por medio de un análisis tipo, el tiempo que se tardó en retirar este material producto de los trabajos de excavación:

427 metros cúbicos de volumen extraído

6 metros cúbicos de capacidad de camiones

5 minutos de tiempo de carga y maniobras

$$\text{tiempo de rezagado} = \frac{427 \times 5}{6 \times 60} = \underline{\underline{5.93 \text{ horas.}}}$$

g) La limpia y trazo topográfico para la siguiente plantilla se llevó un tiempo de 30 minutos:

$$\frac{30}{60} = \underline{0.5 \text{ hora.}}$$

Concluyendo, el tiempo total de todo el ciclo fue de aproximadamente:

$$\underline{12:02 \text{ horas.}}$$

Es decir, el tiempo que tardaron en realizar dicho ciclo fue en casi 1.5 turnos.

Como comparación, las ampliaciones laterales fijaron un promedio de tiempo de realización de:

$$\underline{8:15 \text{ horas.}}$$

El banqueo estableció un tiempo promedio de ciclo de:

$$\underline{7:45 \text{ horas.}}$$

El motivo por el que se redujeron notablemente los tiempos de las ampliaciones laterales y banqueos, fue que en estas dos últimas fases ya se tenía mayor espacio para maniobras, lo que redundó en mejores rendimientos, principalmente en los tiempos de rezagado del material producto.

### III.11) Precios Unitarios.

Elementos de éxito para el buen desarrollo en una obra de Ingeniería Civil, son sin lugar a dudas la reducción del tiempo de ejecución y principalmente la realización al menor costo posible de cualquier actividad componen

te de un proyecto del tipo del P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa.

Para poder optimizar estas dos condiciones, se tiene que hacer un minucioso estudio de todas las alternativas en la construcción de cada estructura proyectada y la base de ello es la estimación de los precios unitarios de estas actividades a desarrollar. Fijar estos precios unitarios de una manera congruente, es un gran problema por las constantes diferencias entre constructores y los órganos encargados de la realización de las obras, puesto que éstos se establecen en función de algunos elementos en los que influye el rendimiento humano y otros factores de producción variable.

Por lo tanto, si se definen con anterioridad las normas y especificaciones que regirán el cálculo de los precios unitarios, se pueden evitar divergencias posteriores, debido a que se tiene la información específica de cómo y con qué se deben ejecutar determinadas estructuras.

### III.12) Comentarios.

La subestructura de Casa de Máquinas, como todas las demás que complementan todo el P.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa, son muy importantes para el óptimo funcionamiento de éste, puesto que todas y cada una de ellas deberán tener características y funciones intrínsecas a su naturaleza y que en conjunto cumplan con la finalidad de generar energía eléctrica por medio de un aprovechamiento hidroeléctrico.

Originalmente en la definición de las condiciones geológicas de una zona de cualquier proyecto, se deben hacer una serie de estudios para - conocer sus características generales. Aquí, en el proyecto del Caracol, sí se realizaron los estudios con un sentido netamente general, pues inicialmente no se conocían las condiciones realmente representativas de la zona y por consiguiente se tuvieron que ir conociendo conforme se iban conformando las estructuras. Así pues, ésto tuvo efectos que originaron modificaciones, atrasos y alteraciones de las condiciones globales de todo el proyecto.

A manera de lo que se pretende en este último inciso (comentarios), sin escepticismos y por no tener pleno conocimiento de la asignación - de recursos para estudios, ejecución y medidas de otra índole, creemos que cuando se ejecuta una obra en condiciones subterráneas, se deben realizar estudios más detallados antes de arrancar en la construcción de cualquier unidad. También creemos indispensable que si se encuentran alteraciones geológicas, se trate de seguir su conformación y composición a detalle, puesto que a lo largo de la ejecución, se podrán tener alteraciones emanadas por una falla que no se estudió a fondo.

Del mismo modo creemos importante resaltar que los métodos de ataque para los frentes de excavación, no se hicieron atacando simplemente para tener un mayor avance, sino que se hizo de una forma secuencial (como por ejemplo en túnel piloto, ampliaciones laterales y banquero), que las secciones que se conformaron al utilizar convenientemente los explosivos fueron de bastante calidad. Asimismo la secuencia de tronada es un elemento que merece un énfasis especial pues la formación de las secciones típicas se efec-

tuó sin alterar la estabilidad de los elementos adyacentes.

Alternamente, creemos que todas las especificaciones y normas para la utilización de concretos en la Casa de Máquinas de este proyecto fueron establecidas con un inmejorable conocimiento y basándose en una infinidad de estudios y experiencias anteriores que redundaron en un óptimo rendimiento en su colocación, aunque no se pueda equiparar con las dificultades geológicas de que hablabamos anteriormente. Aún así, consideramos que es uno de los elementos que se están manejando con el pleno conocimiento de sus condiciones de comportamiento en base a especificaciones.

Por último, estamos totalmente conscientes de que en este tipo de obra no solamente los problemas geológicos influyeron para seguir a semejanza el programa inicial de obra, pues como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, hay imponderables que influyen en la buena realización y son elementos totalmente ajenos al proyecto.

## IV.- REFERENCIAS.

- \* DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS.  
United States Department of the  
Interior Bureau of Reclamation,  
CECSA (1982).
- \* OBRAS HIDRAULICAS.  
Francisco Torres Herrera,  
LIMUSA (1981).
- \* MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES.  
Comisión Federal de Electricidad,  
A. 2. 8 (1983).
- \* LA INGENIERIA EN MEXICO.  
Hiriart y Mersal,  
Revista Ingeniería U.N.A.M. (1979).
- \* LA CONSTRUCCION EN MEXICO.  
UNA VOCACION Y UN RETO.  
Rafael Aburto Valdés,  
Revista Ingeniería U.N.A.M. (1982).
- \* GRANDES PROYECTOS DE INVERSION  
UN ENFOQUE INTEGRAL.  
Fernando Espinoza Velasco,  
Revista Ingeniería U.N.A.M. (1982).
- \* GENERALIDADES DE ANTEPROYECTO.  
SISTEMA HIDROELECTRICO DEL RIO BALSAS.  
ELC - Electro Consult de Milán, Italia,  
C.F.E. (1975).
- \* INFORMACION GENERAL DEL PROYECTO  
HIDROELECTRICO ING. CARLOS RAMIREZ  
ULLOA.  
Subdirección de Construcción,  
C.F.E. (1983).
- \* APLICACIONES PRACTICAS DE LA  
INGENIERIA INDUSTRIAL.  
Odón de Buen Lozano,  
Revista Ingeniería (1978).

- \* COSTOS Y PARAMETROS DE REFERENCIA  
PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS  
DE INVERSIÓN EN EL SECTOR ELECTRICO.  
C.F.E. (1983).
- \* TRABAJO DE INVESTIGACION  
SOBRE TUNELES.  
Facultad de Ingeniería (1982).
- \* TRABAJOS DE CONSTRUCCION EN ROCA.  
R. Crimminf, R. Samuels and B. Monahan.  
Editorial LIMUSA (1978).
- \* MECANICA DE SUELOS I, II y III.  
Juárez Badillo y Rico Rodríguez.  
Editorial LIMUSA (1980).
- \* GEOLOGIA FISICA.  
Longwell and Flint.  
Editorial LIMUSA (1979).
- \* TECNOLOGIA DEL CONCRETO I y II.  
A. M. Neuille.  
IMCYC (1980).