

EXCAVACIÓN DE GALERÍAS DE INYECCIÓN, DRENAJE E INSPECCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ZIMAPAN

3

*Ing. Vicente Arévalo Mendoza
Cadereyta de Montes, Qro.*

RESUMEN

Actualmente se encuentra en proceso de construcción el Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, localizado en el límite de los estados de Querétaro e Hidalgo, el cual aprovechará el potencial hidroeléctrico del río Moctezuma para atender las demandas de electricidad de la región central del país.

Este proyecto prevé la construcción de una cortina de concreto tipo arco-bóveda de 200 metros de altura que se alojará dentro del cañón del "Infiernillo", aproximadamente a 300 metros aguas abajo de la confluencia de los ríos Tula y San Juan.

Dentro del contexto general del proyecto esta estructura tiene gran relevancia, ya que su finalidad es contener el agua almacenada en el embalse de la presa; por tal motivo es importante no sólo asegurar el buen funcionamiento estructural de la cortina, sino también el del macizo rocoso que la contendrá.

Vale la pena destacar que un macizo de roca es un medio no homogéneo que es afectado por una serie de factores, como son fallas, fracturas, carsticidad, etcétera, que provocan un determinado grado de permeabilidad, lo cual es indeseable en la zona cercana a la cortina; esto hace necesaria la creación de una pantalla impermeable, cuya finalidad sea evitar la filtración hacia la zona inmediata aguas abajo de la cortina, impidiendo así la posible inestabilidad de bloques en ese lugar por el incremento de presión hidrostática, además de la consecuente fuga de agua del embalse.

Para generar la pantalla impermeable se ha propuesto un tratamiento que persigue, además de reducir la permeabilidad, disminuir la deformabilidad e incrementar la resistencia del macizo; el procedimiento consiste en rellenar los huecos del medio en tratamiento mediante la inyección de mezclas cementantes que se conducen a través de una barrenación previa. Para llevar a cabo este tratamiento se requiere de ciertas vías de ejecución, denominadas galerías de inyección.

Debido a la imposibilidad de asegurar la total impermeabilidad de la pantalla de inyección es necesario conceder una vía de desalajo eficiente del agua que haya logrado atravesarla, esto se consigue mediante la excavación y realización de las galerías de drenaje.

Por otra parte, para llevar a cabo inspecciones periódicas que permitan vigilar el comportamiento de la cortina, ya sea por inspección ocular simplemente, o bien para monitorear el desarrollo de la misma, es necesaria la excavación de las denominadas galerías de inspección, las cuales se conectan directamente con las galerías alojadas en el interior de la cortina.

En este trabajo se presenta una descripción general del proceso de excavación de las galerías de inyección, drenaje e inspección del P.H. Zimapán.

I. GENERALIDADES

I.1 LOCALIZACIÓN

El Proyecto Hidroeléctrico Zimapán se encuentra ubicado en las inmediaciones del río Moctezuma (límite entre los estados de Querétaro e Hidalgo), en el cañón del Infiernillo, coordenadas geográficas 99°30' de longitud oeste y 20°40' de latitud norte. La zona de la boquilla es el lugar donde se concentra mayor cantidad de estructuras, como son la cortina, obra de toma, obra de excedencias, obras de desvío y también las galerías de inyección, inspección y drenaje que se tratan en este trabajo.

I.2 GEOLOGÍA DEL SITIO

En referencia a las condiciones geológicas del sitio donde se excavan las galerías descritas en este trabajo, se presenta una síntesis a continuación.

El cañón del Infiernillo está conformado por calizas dolomíticas y dolomías brechoides de la Formación El Doctor, que por contacto tectónico sobreyace a una alternancia de calizas arcillosas, lutitas calcáreas y areniscas de la Formación Soyatal. Ocasionalmente se presentan entre los estratos capas delgadas de material arcilloso.

Estructuralmente, el cañón es un homoclinal de 10° de buzamiento de margen derecha a izquierda y hacia aguas abajo. Tiene una altura de 400 m con ambas paredes casi verticales y una anchura de 9 m en el cauce y 270 m en su parte superior.

Según estudios realizados en esta área, la roca presenta recuperaciones del 91% y RQD de 81% en promedio, en tanto que la velocidad compresional oscila entre los 5 000 y los 5 100 m/s, y la permeabilidad es de menos de 0.7 unidades Lugeon, es decir, se trata de una roca de buena competencia y baja permeabilidad. En la zona somera de las laderas se presentan fisuras finas casi paralelas a la superficie de la roca, éstas son provocadas por efectos térmicos y la descompresión de esta zona; sin embargo,

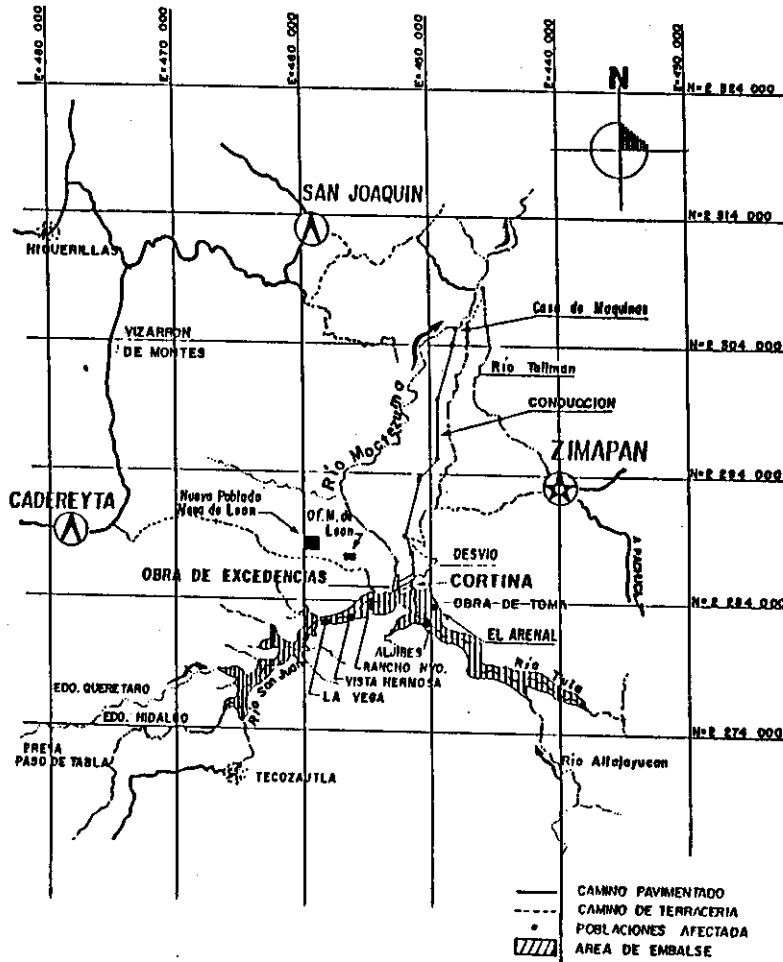


Figura 1. Localización del P.H. Zimapán.

dichas fisuras no se consideraron para el diseño de las galerías debido a que esta zona se eliminaría con las excavaciones para el empotramiento de la cortina.

Existe otro sistema de fisuración que aparece en dirección diagonal al eje del río, que al combinarse con el anterior, en la zona de aguas abajo del eje de la cortina, logra delimitar una serie de cuñas potencialmente inestables y propensas a la acción de presiones intersticiales de agua que pudieran ocasionarse en esta zona; uno de los objetivos del proyecto de inyección y drenaje es evitar o por lo menos disminuir la concentración de agua en dichas discontinuidades.

Por otra parte, en el macizo rocoso hay oquedades cársicas que, a pesar de no contar con un gran tamaño, sí representan una de las principales vías para la circulación de agua; por tal motivo es necesario rellenar mediante la inyección este tipo de ductos, evitando así la fuga de agua del embalse y la presencia de la misma en lugares indeseables.

Es evidente que en un macizo rocoso de estas características pueden escaparse a la inyección algunas oquedades cársicas que quedarían sin sellar; por ello se debe considerar la ejecución de las galerías de drenaje que permitan dar salida eficiente al agua que logre atravesar la pantalla de inyección.

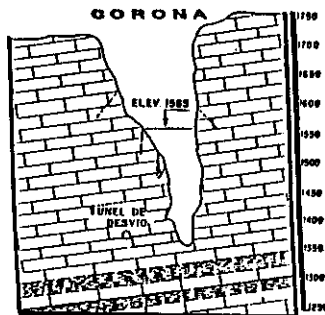


Figura 2. Perfil estructural de la boquilla.

1. Limitar las fugas de agua del embalse
2. Minimizar las presiones de agua abajo de la cortina y en la zona inmediata aguas abajo de la misma.
3. Asegurar la estabilidad de los apoyos de la cortina.

Con respecto al drenaje se perforarán barrenos de 3 pulgadas de diámetro, sin ningún revestimiento, los cuales se ejecutarán con máquinas de rotación y serán lavados con agua a presión para eliminar los residuos de lodo o de la perforación.

Es importante mantener los drenes llenos de agua para evitar el acceso de aire en ellos, lo cual ocasionaría la formación de carbonato de calcio, que podría tapar los drenes, por lo que es necesario que éstos tengan una inclinación mínima hacia el interior del macizo.

Por otra parte, para la creación de la pantalla impermeable será necesaria la inyección de tres series de barrenación intercaladas entre sí; los barrenos primarios deben tener una separación de 12 metros, mientras que los secundarios presentan la distancia media, asimismo los de la tercera serie; para decidir si es necesaria la inyección de los barrenos subsecuentes a la primera serie se debe analizar la cantidad de fluido que se inyectó en ésta, de tal manera que se revise si es forzosa la inyección de las siguientes series.

Las galerías de inyección están separadas cada 48 metros; con esto logran cubrir el área de inyección con barrenos de 24 metros que debido a su longitud tienen pocas posibilidades de desviación, lo que facilita su ubicación y ejecutar eficientemente la pantalla.

La pantalla de inyección tiene dirección hacia aguas arriba a cada lado del cañón, de tal forma que el empuje de agua sea dirigido hacia el macizo. La orientación de las

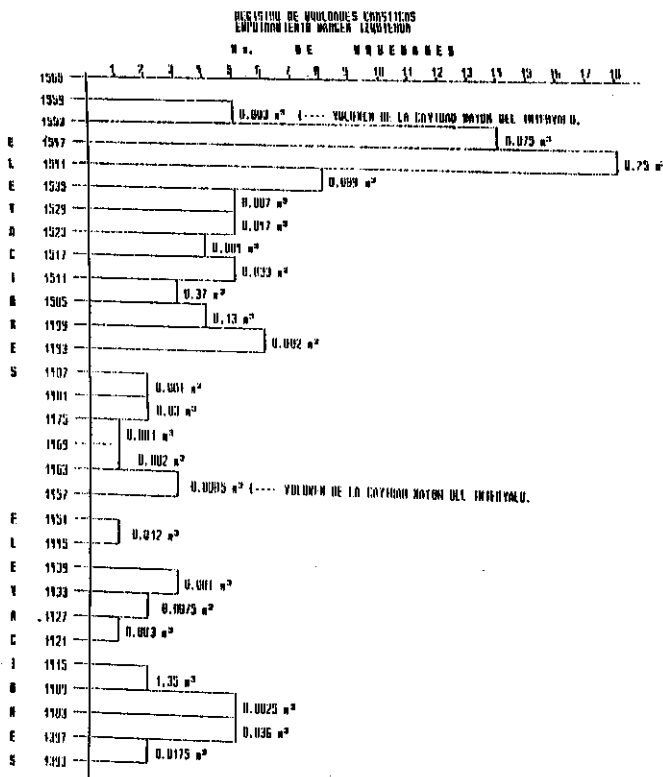


Figura 3. Registro de oquedades cársticas en empotramiento.

A continuación se muestra un registro de la carsticidad detectada en la zona, destacando los tamaños relativamente pequeños que se presentan.

I.3 PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO DE LAS GALERIAS

El diseño del sistema de inyección y drenaje persigue los siguientes objetivos fundamentales:

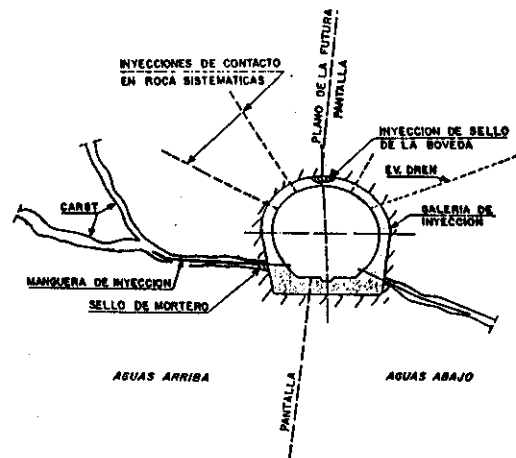


Figura 4. Esquema de inyección tipo.

galerías se determinó basándose en la intención de cortar el mayor número de discontinuidades posible, de acuerdo con los estudios geológicos realizados en la zona.

Las galerías de inyección se revestirán de concreto hidráulico con el fin de resistir la presión hidrostática exterior; no así las galerías de drenaje que se mantendrán sin revestimiento para funcionar como drenes adicionales.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE LAS GALERÍAS

II.1. ESTRATEGIAS DE EXCAVACIÓN

La zona en donde se localizan las galerías de inyección, drenaje e inspección del P.H. Zimapán se encuentra sujeta a una serie de restricciones, provocadas por otras obras que se desarrollan paralelamente a la excavación de éstas; tal es el caso de la excavación para el empotramiento en las laderas de la boquilla y la propia colocación de concreto en la cortina; por tal motivo, al llevar a cabo los programas para la excavación de las galerías, se propusieron varias estrategias que permitieran ejecutar la obra de modo que interfiriera lo menos posible con los trabajos antes descritos.

Debido a lo anterior, el programa de trabajo incluye la excavación de dos túneles de acceso en el nivel inferior 1 373 msnm, que permiten la comunicación con la zona de galerías sin interferir con los trabajos en la cortina; además de un par de contrapozos que se alojarán en cada margen, cuya finalidad es posibilitar el acceso a los niveles superiores de las galerías. A continuación se pueden observar dos esquemas que representan en forma general la distribución de éstas, vistos desde aguas arriba y en planta; cabe mencionar que en el perfil se observan proyecciones ortogonales de las galerías con respecto al eje de la cortina.

El primer frente de excavación fue el túnel de acceso de la margen derecha, el cual tuvo una longitud total de 333 m en sección portal de 3.3 x 3.3 m; a partir de este acceso se derivaron las galerías del nivel 1 373, todas ellas con sección tipo herradura de 2.8 x 3.3 - 3.4 m, así como un crucero que permitió la colocación de la rima para la máquina contrapocera que excavaría el pozo de esta margen. Posteriormente se procedió a ejecutar el acceso de la orilla izquierda y las galerías correspondientes al nivel 1 373, incluido el crucero para el contrapozo de la misma margen.

A partir de las actividades anteriores, la estrategia prevé el ataque de las galerías restantes del nivel más bajo al superior, con el fin de que la colocación de concreto en la cortina se realizara al concluirse la excavación de los niveles inferiores, como se puede apreciar en el programa presentado a continuación.

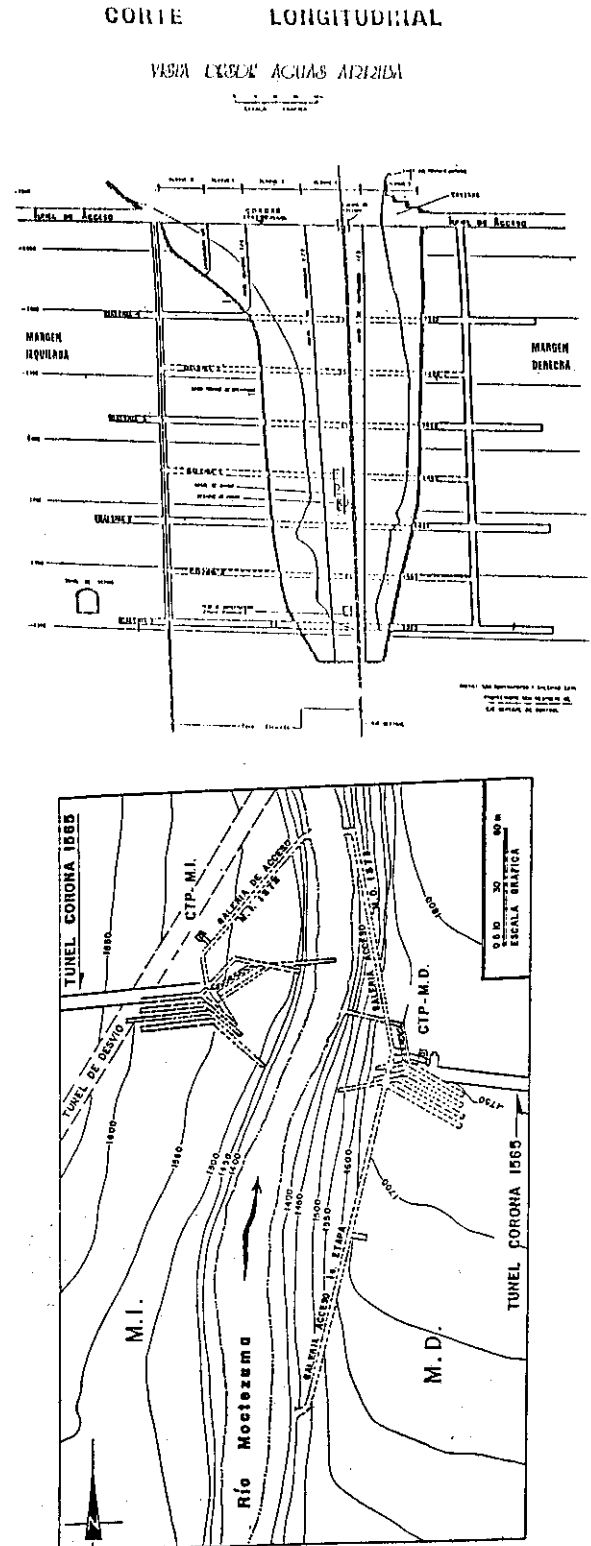


Figura 5. Esquema de las galerías.

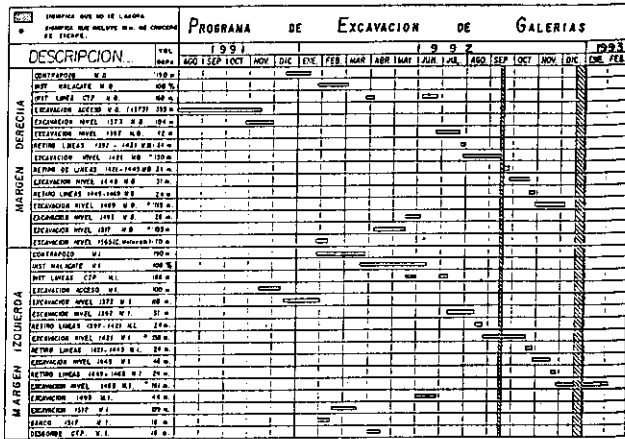


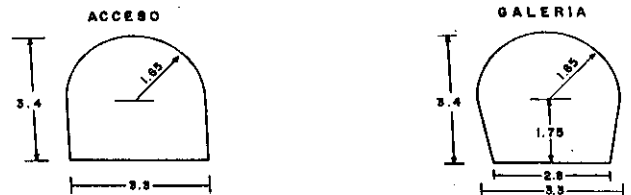
Figura 6. Programa general de obra.

II.2. PROCESO DE EXCAVACIÓN

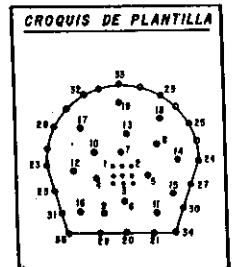
El procedimiento de excavación utilizado es el convencional, el cual se realiza a base de una barrenación mediante perforadoras neumáticas con pierna telescópica y el uso de explosivos. A continuación se presenta el ciclo de excavación en forma general.

- Amacise del frente y acomodo de rezaga.
- Marca topográfica de la sección.
- Arrimado de equipo.
- Barrenación de la sección superior.
- Rezagado del material producto de la voladura anterior.
- Marca de la sección inferior.
- Barrenación de la sección inferior (incluye la cuña).
- Sopleteado de los barrenos.
- Carga de alto explosivo cebado (Emulsión).
- Carga de bajo explosivo (ANFO).
- Conexión de noneles.
- Retiro de equipo.
- Detonación.
- Ventilación.

La extracción de la rezaga se realiza ya sea mediante cargadores mineros de bajo perfil de 0.7 m³ de capacidad o cavos de aproximadamente 1 m³, según lo permitan las circunstancias del frente.



- DIAMETRO BARRENOS - 38 MM
- ALTO EXPLOSIVO - EMULSION EXPL
- DENSIDAD ALTO EXP. - 1.20 gr/cc
- BAJO EXPLOSIVO - ANFO
- DENSIDAD BAJO EXP. - 0.95 gr/cc
- AREA - 9.62
- CARGA ESPECIFICA - 3.2 kg/m³
- CARGA/T. MAX. - 6 kg/t máx.
- PROF. PERFORACION - 2.3 M
- N° BARRENOS PERF. - 47
- N° BARRENOS CARG. - 35



TIEMPOS DE INICIO

BNO.	TIEMPO	BNO.	TIEMPO
1	1	21	10
2	1	22	10
3	1	23	11
4	2	24	11
5	2	25	12
6	3	26	12
7	3	27	13
8	4	28	13
9	4	29	13
10	5	30	14
11	5	31	14
12	6	32	14
13	6	33	15
14	6	34	15
15	7	35	15
16	7		
17	8		
18	8		
19	9		
20	9		

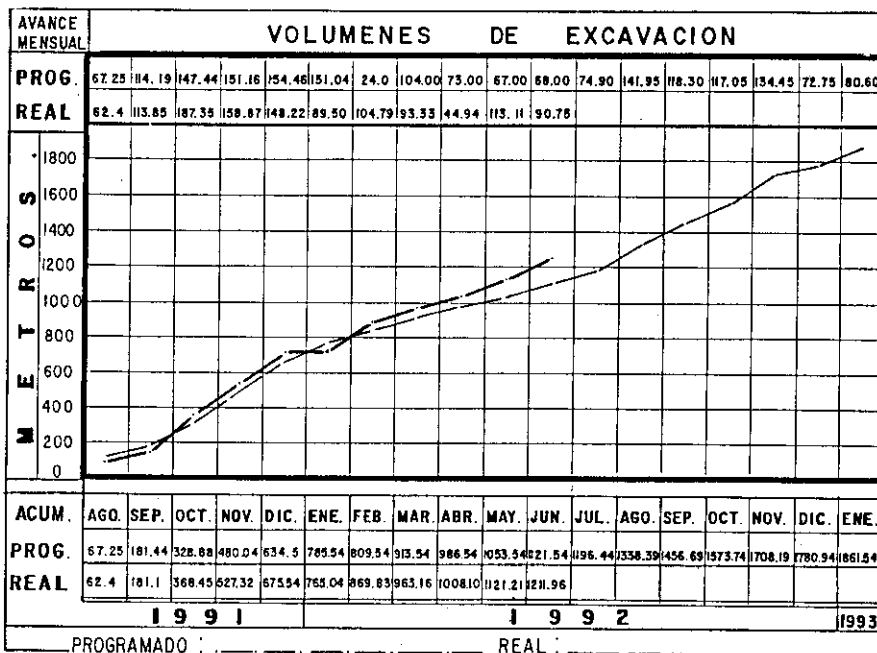
Figura 7. Secciones tipo y diagrama de voladura.

En seguida se presentan las secciones de excavación correspondientes a los accesos y las galerías, así como el patrón general con el que se ejecutan las voladuras.

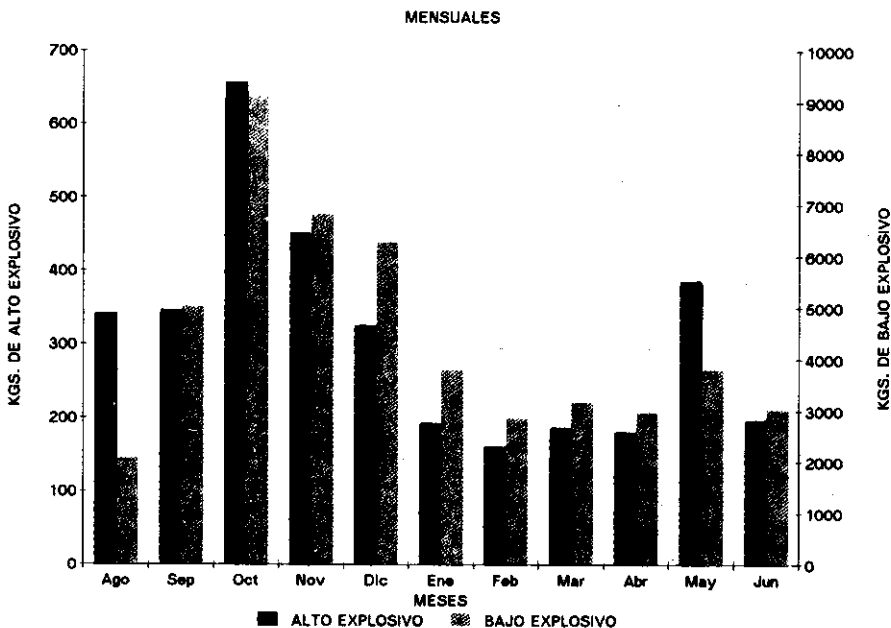
II.3. AVANCES, CONSUMOS Y TIEMPOS

Los rendimientos reales obtenidos hasta la fecha de elaboración de este trabajo se pueden apreciar en las siguientes gráficas, así como la distribución de tiempos y consumos.

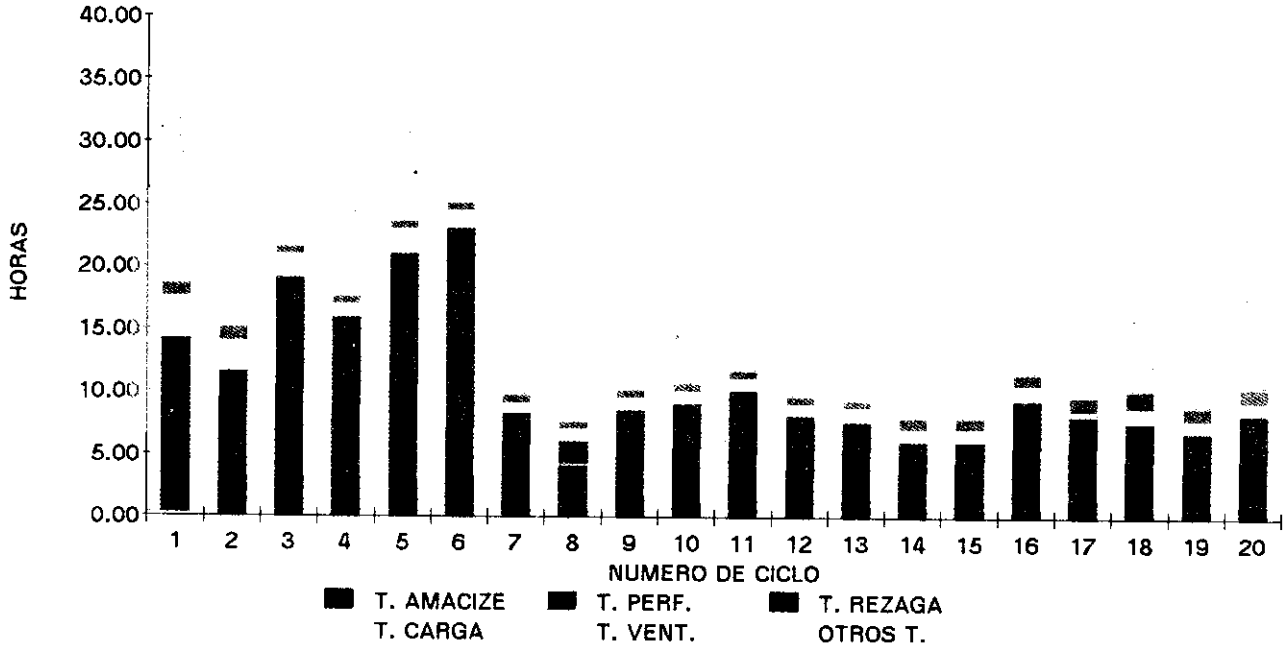
VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN



CONSUMOS DE EXPLOSIVOS



TIEMPOS DE EXCAVACION GALERIA 1495 M.I
(TIEMPOS POR CICLO)



TIEMPOS DE EXCAVACION GALERIA 1397 M.D
(TIEMPOS POR CICLO)

